

Treball final de grau

Estudi: Grau en Arquitectura Tècnica

Títol: Anàlisi teòrica i experimental dels connectors emprats en el reforç de sostres de fusta

Document: Resum Treball Final de Grau

Alumne: Dantí Blanchar, Oriol

Sala Viñolas, Mireia

Tutor: Llorens Sulivera, Miquel

Departament: Enginyeria mecànica i de la construcció industrial

Àrea: Mecànica de medis continus i teoria de les estructures

Convocatòria (mes/any): Setembre/2016

1. OBJECTIUS

Els objectius principals d'aquest projecte, i amb els quals hem definit el nostre treball, són els següents:

- Estudiar, definir i relacionar els orígens dels forjats mixtes.
- Estudiar els diferents esforços rasants aplicats a bigues mixtes (segons Codi Tècnic, Eurocodis, normatives UNE, etc).
- Definir les diverses propietats i els diferents condicionants dels materials que s'utilitzaran per realitzar l'estudi.
- Recull d'informació sobre l'estat de l'art sobre assaigs orientats a l'avaluació de connexions mixtes.
- Dissenyar i projectar el "setup" del assaig, incloent procediment a seguir, paràmetres a avaluar, definició d'utilitatges, etc.
- Discussió de resultats i conclusions.
- Futurs desenvolupaments i línies de treball.

Aquest estudi, formarà part dels treballs realitzats per l'Associació de Consultors d'Estructures de Catalunya (ACE), recollits en forma de llibre, com a part del "Monogràfic 2" de l'IEE (Institut d'Estudis Estructurals) dedicat als reforços en estructures mixtes de formigó-fusta.

2. ESTAT DE L'ART

La creixent situació problemàtica actual, relacionada amb la rehabilitació d'edificis antics, fet generalment amb forjats de biguetes de fusta, ha fet necessari incrementar la capacitat portant d'aquests, al mateix temps que es manté la tipologia de l'estructura original d'aquests forjats. Aquest fet, ens porta directament a l'estudi de les tècniques per reforçar aquests forjats, tant des d'un punt de vista teòric, com pràctic.

En aquest camp, sovint es planteja la recuperació d'un forjat format per biguetes de fusta i un entrebigat de solucions constructives fetes amb formigó.

Així doncs, les causes que generalment obliguen a utilitzar aquest mètode són les següents:

- La degradació de la fusta; provocant una disminució de la seva secció i com a tal, una reducció de la seva resistència.
- El canvi d'us de l'edifici; fet que normalment equival a un increment de càrregues de servei.
- Els motius funcionals; com podrien ésser les deformacions, vibracions, etc.
- L'adaptació a normatives recents; aquests forjats, poden quedar fora de l'àmbit estructural en el qual es planteja el tipus de treball en qüestió que estem valorant. Aquestes normatives podrien ésser per exemple, insonorització, protecció d'incendis, etc.

Així doncs, aquestes causes es resumeixen al requeriment d'intervencions i/o reforços en aquests forjats.

Una solució que s'ha aplicat en l'actualitat, i que actualment és la més estesa sobre tots els edificis antics del nostre entorn, és rehabilitar aquests forjats, mitjançant una xapa de formigó armat que es solidaritza amb les biguetes de fusta.

Aquesta solució, actua de tal forma que garanteix una estabilitat en el conjunt del forjat, podent suportar noves sol·licitacions i complint les normatives vigents.

El treball d'aquest conjunt de materials, com a parts d'una mateixa estructura, requereix d'un sistema de connexió, capaç de transferir els esforços rasants entre l'element de formigó i la biga de fusta.

Aquest sistema és el que estudiarem nosaltres, però, el CTE no contempla unions fusta-formigó. Així doncs, per definir i justificar la connexió mecànica utilitzarem la classificació de connexions que realitza el CTE amb elements de fusta-fusta, i elements de fusta-acer, diferenciant-los entre:

- Elements tipus connector
- Elements tipus clavilla
- Altres elements de fixació

Aquest últim apartat, no és considerat en el CTE, però els elements classificats en aquest grup, s'han de tenir en compte, ja que, aquests s'utilitzen usualment a obra per connexions de fusta-fusta i podrien ser útils per fusta-formigó, tot i no ésser contemplats per el CTE com a tal.

3. FASE EXPERIMENTAL

3.1 Càlcul

En general per dur a terme el càlcul seguim per una banda l'Eurocodi 5 i la UNE 26891 i per l'altre el llibre "*Estructuras de madera: diseño y cálculo*" i un estudi realitzat per un grup d'investigació de la universitat de Valladolid

La connexió fusta-formigó a la realitat no és rígida sinó que existeix un lliscament entre els dos materials i aquest lliscament és funció del mòdul de lliscament K_{ser} .

$$K_{ser} = 0,125 \times d \times E = 0,125 \times 12 \times 11600 = 17400 \text{ N/mm}$$

Per el càlcul dels estats límits últims s'utilitzarà $K = 2 \times K_{ser} / 3 = 11600 \text{ N/mm}$

Un cop calculat aquest lliscament "k" es penalitza la rigidesa del formigó amb un coeficient γ que va lligat a aquest lliscament, per tal d'introduir en el càlcul el fet de que la connexió entre els dos materials no es perfectament rígida sinó que existeix un desplaçament entre ells i es busca una rigidesa eficaç (EI)ef de la secció.

$$\gamma = 1 / (1 + ((\pi^2 \times E_1 \times A_1 \times s) / (K \times L^2))) = 1 / (1 + [(\pi^2 \times 27264 \times 35000 \times 100) / (11600 \times 5000^2)]) = 0,24$$

$$(EI)_{ef} = E_1 \times I_1 + \gamma \times E_1 \times A_1 \times a_1^2 + E_2 \times I_2 + E_2 \times A_2 \times a_2^2 = 27264 \times 5,21 \times 10^6 + 0,24 \times 27264 \times 35000 \times 51,55^2 + 11600 \times 3,94 \times 10^7 + 11600 \times 21000 \times 48,45^2 = 1,77 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

Per calcular la capacitat de càrrega dels tirafons, com que no hi ha càlcul específic d'unions fusta-formigó, s'han tingut en compte dos premisses: per una banda com si estigués treballant a tallant simple, ja que aquests no uneixen les tres capes sinó que uneixen dues i dues i multiplicarem el tallant simple per 2, i per altre banda agafarem l'efecte de la capa de formigó com si es tractés d'una placa d'acer gruixuda, ja que el càlcul no especifica cap fórmula per formigó i creiem que la placa gruixuda d'acer és la que més es pot assimilar al comportament del formigó.

Les formules utilitzades són les següents:

$$R_d = 1,1 \times f_{h,1,d} \times t_1 \times d \times \left(\sqrt{2 + \frac{4 \times M_{y,d}}{f_{h,1,d} \times d \times t_1^2}} - 1 \right)$$

$$R_d = 1,5 \times \sqrt{2 \times M_{y,d} \times f_{h,1,d} \times d}$$

On:

- $f_{h,1,d}$ és la resistència de càlcul a l'aixafament de la fusta en N/mm².
- t_1 és el gruix de la peça de fusta en mm.
- d és el diàmetre del tirafons en mm.
- $M_{y,d}$ és el moment plàstic característic del tirafons en Nmm

En el nostre cas no creiem que sigui necessari aplicar coeficients de seguretat, ni el factor de modificació de la resistència per la classe de servei i duració de càrrega, ja que analitzem una mostra/proveta i ho analitzem en condicions desfavorables.

$$R_{d1} = 1,1 \times 29,95 \times 150 \times 12 \times \left(\sqrt{2 + \frac{4 \times 63.360}{29,95 \times 12 \times 150^2}} - 1 \right) = 25.217,82 \text{ N} \times 2 = \mathbf{50.435,64 \text{ N}}$$

$$R_{d2} = 1,5 \times \sqrt{2 \times 63.360 \times 29,95 \times 12} = 10.122,85 \text{ N} \times 2 = \mathbf{20.245,7 \text{ N}}$$

3.2 Descripció de la campanya

Per tal d'avaluar l'assaig, es realitzarà una campanya experimental amb una sola tipologia de proveta, que seguirà els següents esquemes:

- 12 provetes formades per dues capes exteriors de fusta de 300x150x140mm² i una capa interior de formigó de 300x150x140mm², amb unió mecànica entre ells.

Cada unió mecànica es compondrà de dos elements de fixació per a cada element de fusta en contacte amb el formigó, de tal forma que a cada proveta s'utilitzaran 4 elements de fixació. Les distàncies entre els dos elements de fixació de cada costat de cada proveta, són els que defineixen la proveta diferenciant-les de la següent manera:

- 3 mostres de PT1 (amb distància entre elements de fixació de 4,2 cm)
- 3 mostres de PT2 (amb distància entre elements de fixació de 6 cm)
- 3 mostres de PT3 (amb distància entre elements de fixació de 10 cm)

- 3 mostres de PT4 (amb distància entre elements de fixació de 15 cm)

De totes les unions mecàniques especificades en el CTE i les que s'utilitzen a obra normalment i que no estan contemplades en el CTE, utilitzades en estructures mixtes compostes de fusta i formigó, escollim el tirafons.

Creiem que es tracta de la millor solució a la connexió mecànica per fusta-formigó perquè al tenir una primera part de canya roscada, la mateixa forma del tirafons, ajudarà a que el clau quedi ben travat dins la fusta, i tot i que la part restant sigui llisa, el seu cap hexagonal també mantindrà unit el tirafons amb el formigó, ja que, el cap farà de límit per evitar que la unió no faci la seva funció.

A part, com que l'objectiu de l'estudi per l'assaig és acostar-nos al màxim a la realitat a l'hora d'aconseguir resultats, el diàmetre de tirafons escollit, es tracta al diàmetre corresponen a 12 mm. Aquests, són els que normalment s'utilitzen per solucionar problemes de rehabilitacions, en casos de forjats amb bigues de fusta.

3.3 Assaig de les provetes

Avaluant totes les possibles opcions, creiem que per la realització d'aquest projecte, és necessari dur a terme el següent assaig:

- Assaig per a estructures de fusta, la UNE EN 26891: Uniones realizadas con elementos de fijación mecánica; Principios generales para la determinación de las características de resistencia y desplazamiento.

Tot el "set-up" utilitzat per assajar les provetes, l'hem definit, dissenyat i projectat a partir de l'estudi d'altres investigacions realitzades sobre el tema, valorant i avaluant quina podria ésser la millor solució, en funció del sistema d'aplicació de la força i de la posició de la proveta.

4. RESULTATS

A continuació, es mostren els resultats obtinguts en el projecte. Per tal de valorar els resultats finals de l'estudi, aquests els hem classificat segons tres factors rellevants:

- Interpretació del gràfic desplaçament-càrrega: Per tal d'interpretar el comportament del conjunt de la proveta respecte la seva posició inicial, hem considerat valorar aquesta gràfica seguint el procediment de l'assaig de la UNE EN 26891. D'aquesta manera, hem obtingut el desplaçament del element de formigó, respecte els elements de fusta per a cada Newton de força aplicada. Així doncs, de cada proveta hem observat el seu comportament, observant els fets ocasionats en cada procés (sincronia dels elements de fusta, planeïtat de la proveta, càrrega de trencament...).
- Interpretació del mode de falla del formigó: A l'hora de realitzar els estudis previ a l'assaig, vàrem arribar a la hipòtesis que el formigó aguantaria les forces i que per tant, la fusta seria l'element que fallaria. Al utilitzar una fusta laminada GL24 i amb la suma que el formigó no ha arribat mai a la resistència esperada, el resultat ha sigut a la inversa. El formigó ha fallat i ha sigut l'element de fusta el que ha resistit. És per aquest motiu, tal i com s'ha comentat anteriorment, que hem hagut d'aplicar una resistència per a la compressió del formigó.

- Interpretació del mode de falla dels tirafons: Per interpretar el desplaçament de la connexió mecànica respecte la posició inicial, així com el seu comportament durant l'assaig, hem considerat observar i comparar les fletxes produïdes en els tirafons degut a les forces oposades rebudes i comparar també, l'estat inicial amb el que han estat clavats a la fusta amb l'estat final.

A mode resum de resultats, considerant totes els valors i condicionants de l'assaig, en podem realitzar la següent taula:

Proveta	Càrrega trencament	Desplaçament proveta	Precompressió formigó	Fletxa tirafons	Resistència formigó	Duració assaig
PT1.01	43.181,94 N	11,73 mm	Si	4,44 mm	13,68 N/mm	522,1 s
PT1.02	41.243,56 N	15,84 mm	Si	4,85 mm	13,68 N/mm	503,1 s
PT1.03	43.969,79 N	6,01 mm	No	4,82 mm	13,68 N/mm	525,1 s
PT2.01	50.397,68 N	9,45 mm	No	3,26 mm	19,42 N/mm	611,1 s
PT2.02	48.223,66 N	7,02 mm	No	4,06 mm	16,27 N/mm	596,1 s
PT2.03	42.581,66 N	6,74 mm	No	4,03 mm	13,68 N/mm	511,1 s
PT3.01	43.031,86 N	4,67 mm	No	6,21 mm	11,78 N/mm	505,1 s
PT3.02	48.884,50 N	9,95 mm	No	4,89 mm	19,42 N/mm	581,1 s
PT3.03	57.990,48 N	11,59 mm	Si	4,11 mm	16,27 N/mm	711,1 s
PT4.01	41.343,61 N	8,39 mm	No	4,99 mm	11,78 N/mm	1.177,1 s
PT4.02	52.423,60 N	9,39 mm	No	3,92 mm	11,78 N/mm	615,1 s
PT4.03	51.085,49 N	16,06 mm	Si	4,56 mm	11,78 N/mm	621,1 s

5. CONCLUSIONS

Aquest projecte s'ha realitzat com a inici i/o avaluació de l'estudi d'un procés o mètode, que permeti avaluar i valorar el comportament de la connexió en forjats de fusta-formigó, ja que, el comportament d'aquests encara és matèria d'estudi. No buscàvem, ni esperàvem resultats concloents en si, sinó simplement aconseguir dissenyar, projectar i formar un procediment capaç de avaluar les connexions mecàniques realitzades en forjats mixtes de fusta-formigó.

Així doncs, creiem que hem pogut concloure el treball, amb un procediment realitzat i vàlid per valorar i avaluar aquestes connexions.

Tot i així, hem intentat avaluar aquests resultats (extrets dels assajos realitzats), en funció d'aquestes variables. Això, s'ha realitzat, no només per veure si el procediment funcionava, sinó també per poder extreure'n més informació, de cara a la recerca de futures línies d'investigació. Ens hem basat en els següents factors o punts de referència per poder concloure la anàlisi del projecte:

- Desplaçament: Hem pogut observar que les provetes confinades, han resultat un desplaçament major, independentment de la resistència que hagi mostrat la mostra de formigó.
- Càrrega: No hem observat, una clara relació entre l'assoliment o superació de la càrrega i els dies de curat o resistència del formigó, segons mostres assajades.

- Desenvolupament càrrega-desplaçament: Respecte a les gràfiques es veuen tres comportaments diferents; el primer, la línia mitja gràfica puja i cau de cop fent un pic a la càrrega màxima assolida; el segon, la línia mitja gràfica puja i baixa suaument; i el tercer, la línia mitja gràfica puja i quan s'acosta a la càrrega màxima estimada, aguanta durant uns segons i finalment baixa.
- Duració de l'assaig: En gairebé tots els casos, la duració de l'assaig es troba entre els 8 i 11 minuts, per tant, els 15 minuts d'assaig establerts són excessius.
- Comportament formigó-fusta: Totes les mostres, han acabat fallant perquè el formigó es trencava esmicolant-se. També allà on residia la connexió mecànica realitzada amb tirafons ha quedat esmicolada.. Així doncs, no hem pogut determinar el comportament de les provetes. Concloem però, que el formigó utilitzat, no ha sigut l'adequat, ja que, en cap moment ha arribat a assolir els 25 N/mm desitjats per la realització del assaig, i per contra, el material utilitzat com a element de fusta (fusta laminada GL24h), podem dir que no és la òptima per a realitzar l'assaig, ja que, té massa resistència al tall (segons hem pogut comprovar).
- Mides del set-up: Respecte a les mides de les provetes, creiem que les dimensions d'aquestes s'assimilen bastant a la realitat, tant per l'element de fusta, com per l'element de formigó. La connexió mecànica també és la utilitzada en obra normalment.

6. FUTURES LÍNIES D'INVESTIGACIÓ

Segons els resultats obtinguts, hem observat que no tots els paràmetres tenen la mateixa influència sobre la unió. Així doncs, proposem que en les futures investigacions es creïn campanyes més nombroses de provetes i s'investigui sobre un sol paràmetre.

Tenint en compte lo prèviament comentat, creiem convenient seguir investigant en els següents aspectes:

- Buscar un mètode més eficaç alhora de realitzar la planeïtat de les provetes, per tal de perfeccionar, millorar i fer més exactes les lectures dels resultats, proporcionant una millor comparació entre aquestes, evitant la influencia d'aquest paràmetre.
- Indagar en la possibilitat de realitzar una campanya amb formigons més resistents i fustes menys resistents al tall, evitant el sistema de precompressió del formigó.
- Estudiar la reducció de la duració de l'assaig a 12 minuts màxim, ja que, només hem arribat als 15 minuts establerts, en dos ocasions.
- Possibilitat d'incorporar dues cèl·lules de càrrega, en el mètode d'assaig, sota cadascun dels elements de fusta, per tal de proporcionar una valoració de cadascun d'ells, junt amb la consideració de la fletxa dels tirafons.

S'haurà de prioritzar però, que es segueixi el nostre procediment, ja que, hem observat que és completament vàlid.

Treball final de grau

Estudi: Grau en Arquitectura Tècnica

Títol: Anàlisi teòrica i experimental dels connectors emprats en el reforç de sostres de fusta

Document: Treball Final de Grau

Alumne: Dantí Blanchar, Oriol

Sala Viñolas, Mireia

Tutor: Llorens Sulivera, Miquel

Departament: Enginyeria mecànica i de la construcció industrial

Àrea: Mecànica de medis continus i teoria de les estructures

Convocatòria (mes/any): Setembre/2016

Índex

1- Introducció.....	5
2- Objectius.....	6
3- Estat de l'art.....	7
3.1- Introducció.....	7
3.2- Evolució i historia dels forjats mixtes	9
3.2.1- Els forjats mixtes en el passat.....	9
3.2.2- Els forjats mixtes actualment	12
3.2.2.1- Comportament de les estructures amb forjats mixtes	13
3.3- Els forjats mixtes de fusta-formigó.....	13
3.3.1- Avantatges i desavantatges segons el material	14
3.3.2- Avantatges i desavantatges segons la connexió.....	14
3.3.3- Components del forjat mixte fusta-formigó.....	15
3.3.3.1- La Fusta	15
3.3.3.2- El Formigó.....	18
3.3.3.3- Unions mecàniques fusta-formigó	19
3.3.3.4- Solucions de forjats mixtes més habituals	28
3.4- Recull d'assajos i normativa	29
3.4.1- UNE EN 1994: EUROCODI 4	37
3.4.2- UNE EN 26891	40
3.4.3- UNE EN 1995: EUROCODI 5	44
3.4.4- CTE-DB-SE-M	46
3.4.5- UNE EN 383	46
4- Fase experimental	47
4.1- Càlcul.....	47
4.1.1- Conceptes de càlcul i consideracions prèvies	47
4.1.2- Procediment de càlcul de la secció mixta de fusta i formigó.....	50

4.1.3- Capacitat de càrrega del mitjà de fixació en sol·licitació de tallant Rd.....	53
4.2- Creació del “setup”	55
4.2.1- Proвета	55
4.2.1.1- Classificació	55
4.2.1.2- Condicions normatives	59
4.2.1.3- Evolució de les propostes:.....	60
4.2.1.4- Denominació i classificació de proposta escollida	69
4.2.2- Equip d’assaig	71
4.2.2.1- Classificació	71
4.2.2.2- Condicions normatives	74
4.2.2.3- Evolució de les propostes.....	74
4.2.3- Material.....	79
4.2.3.1- Proвета.....	79
4.2.3.2- Material auxiliar	81
4.2.3.3- Equip d’assaig.....	84
4.2.3.4- Equip Instrumental	86
4.2.3.5- Utilatge, eines i maquinària de suport.....	88
4.3- Producció del “setup”	96
4.3.1- Desenvolupament de la proveta.....	96
4.3.2- Desenvolupament de l’equip d’assaig.....	105
4.3.2.1- Col·locació dels elements.....	105
4.3.2.2- Canvis o suggeriments respecte l’original.....	111
4.3.2.3- Execució de l’assaig	114
4.3.2.4- Programació de l’assaig	115
5- Resultats.....	116
5.1- Provetes PT4	117
5.2- Provetes PT3	128

5.3- Provetes PT2	139
5.4- Provetes PT1	149
6- Conclusions	161
6.1- Respecte el desplaçament estimat.....	161
6.2- Respecte la càrrega màxima estimada.....	162
6.3- Respecte el desenvolupament càrrega-desplaçament	163
6.4- Respecte a la duració de l'assaig	166
6.5- Respecte les dimensions provetes	166
6.6- Respecte la relació entre les propietats de la fusta i el formigó	167
7- Línies de futura investigació.....	169
8- Agraïments	169
9- Recursos bibliogràfics.....	171
ANNEXOS	174

1- Introducció

Abans de començar amb el contingut del projecte, ens agradaria exposar els motius pels quals l'hem dut a terme.

Primerament, cal dir que ens vàrem plantejar treballar en parella per tal de compartir opinions, aportar idees des de diversos punts de vista o amb diferents formes d'expressar-se, i sobretot adaptar-nos al treball en equip, ja que, aquesta haurà de ser la nostra forma de treball en el futur professional.

També teníem molt clar que volíem dur a terme un projecte experimental, però que comptés també amb certa part teòrica recercada a partir d'una primera fase inicial de busca i cerca d'informació o treballs d'altres autors, per tal d'entendre en tot moment el com i el perquè del que estem fent.

Un tema bastant present, que està en boca de tots i que volíem tractar perquè creiem que actualment té una gran presència en el sector de la construcció, era el tema de la rehabilitació estructural. Però ho volíem realitzar amb un material no tan utilitzat com és la fusta.

En el món de l'edificació, per tal d'obtenir un millor rendiment dels forjats de fusta, s'utilitzen xapes de compressió de formigó (tal com en els forjats col·laborants). El treball d'aquest conjunt de materials com a parts d'una mateixa estructura, requereix d'un sistema de connexió, capaç de transferir els esforços rasants entre el formigó i la biga de fusta.

L'eficàcia d'aquest dispositiu, està sancionada per la pràctica en el cas dels sostres col·laborants acer-formigó. En el cas dels sostres fusta-formigó però, el comportament encara és matèria d'estudi.

Així doncs, proposem realitzar un estudi del comportament d'aquesta connexió entre biga de fusta i xapa de formigó, fent especial èmfasi en l'avaluació de la seva rigidesa, ja que, aquest és un aspecte crític en la distribució dels esforços al llarg de la biga.

Es realitzarà una campanya experimental amb una tipologia de proveta que seguirà els següents esquemes;

- 12 provetes formades per dues capes exteriors de fusta de 300x150x140mm³ i una capa interior de formigó de 300x150x140mm³, amb una unió mecànica (dos tirafons a diferents distàncies) entre ells.

Aquest estudi, formarà part dels treballs realitzats per l'Associació de Consultors d'Estructures de Catalunya (ACE), recollits en forma de llibre, com a part del "Monogràfic 2" de l'IEE (Institut d'Estudis Estructurals) dedicat als reforços en estructures mixtes de formigó-fusta. Tot aquest procés doncs, prèviament ha estat avaluat per aquesta Associació realitzant-ne la presentació i fent-ne una demostració del funcionament de l'assaig.

2- Objectius

Per dur a terme aquest estudi, dissenyarem l'assaig i proposarem un "setup" adequat per realitzar-lo. Aquest doncs, formarà part dels treballs de la comissió mixta "Associació de Consultors d'Estructures de Catalunya" (ACE) del sector.

El procés que hem definit per executar aquest projecte és el següent:

- Estudi, definició i relació dels orígens dels forjats mixtes.
- Estudi dels esforços rasants aplicats a bigues mixtes (codi tècnic, Eurocodis, etc).
- Definició de les propietats i condicionants dels materials.
- Recull de l'estat de l'art sobre assaigs orientats a l'avaluació de connexions mixtes.
- Disseny del "setup" incloent procediment a seguir, paràmetres a avaluar, definició d'utilitatges, etc.
- Discussió de resultats i conclusions.
- Futurs desenvolupaments i línies de treball.

Així doncs, es tracta de realitzar un recull de les solucions més habituals d'aquests tipus de forjats, cercar els diferents connectors de formigó/fusta que es troben al mercat, dur a terme l'anàlisi de quins assajos s'utilitzen per avaluar el comportament dels connectors i quines són les característiques i condicions que es consideren en aquests, així com conèixer els mètodes de càlcul que es realitzen.

Per tal de fer un estudi exhaustiu d'aquest assaig, durant la realització d'aquest, les provetes les sotmetrem a un esforç de compressió en el sentit de les fibres utilitzant una premsa hidràulica que, amb l'ajuda d'una sèrie d'aparells de mesura instal·lats a les provetes, ens proporcionaran les dades necessàries que seran recollides mitjançant un equip informàtic de lectura.

Per una banda, es disposaran sis transductors, dels quals col·locarem dos d'aquests a cada banda (les cares de més secció) de la proveta de formigó-fusta, mesurant el desplaçament vertical. Això ens permetrà determinar el corriment final de la connexió respecte la posició inicial.

D'altra banda, necessitarem de l'ajuda d'una cèdula de càrrega que es disposarà sobre el plat de reacció de la premsa hidràulica. Aquesta ens permetrà determinar la càrrega exacte aplicada en les provetes a cada moment i junt amb el desplaçament avaluat amb els transductors, podrem determinar la gràfica desplaçament-càrrega de la unió mecànica, obtenint informació del comportament d'aquesta.

3- Estat de l'art

3.1- Introducció

El creixent desenvolupament de problemes que s'estan produint en l'actualitat, relacionats amb la rehabilitació d'edificis antics, ha dut a una necessitat d'incrementar la capacitat portant dels forjats amb biguetes de fusta existents, al mateix temps que es manté la tipologia de l'estructura original. Això, ens porta directament a l'estudi d'aquestes tècniques de reforç, tant des del punt de vista teòric com pràctic.

En aquest camp, sovint es planteja la recuperació d'un forjat format per biguetes de fusta i un entrebigat amb solucions constructives molt diverses. Això, depenent de l'època i el lloc de construcció. En ocasions, aquesta situació respon a motius purament econòmics, o si més no a vegades correspon a motius històric-artístics del edifici, que justifiquen aquest reforç tot i ésser més costós que la pròpia substitució del forjat. Les causes que generalment obliguen a utilitzar aquest mètode són:

- La degradació de la fusta, que provoca una disminució de la seva secció resistent.
- El canvi d'ús de l'edifici. Aquest fet, normalment equival a un increment de càrregues de servei.
- Els motius funcionals, com podrien ésser les deformacions, vibracions, etc.
- Altres diverses raons, per tal d'adaptar-se a normatives recents, que queden fora de l'àmbit estructural en el qual es planteja el tipus de treball en qüestió. Aquestes normatives podrien ésser per exemple, insonorització, protecció contra incendis, etc.

Sumat a aquestes causes, i conseqüència directa d'una degradació o canvi d'ús de l'estructura, les creixents exigències en matèria de seguretat, fan que aquests forjats hagin de realitzar també funcions que no es consideraven prioritàries en la seva època de construcció. Ens referim a:

- La capacitat de treballar com un pla horitzontal, solidaritzat amb tots els elements verticals solidaris a ell, de tal forma, que tinguin un comportament que permeti absorbir les empentes horitzontals.
- La capacitat per distribuir les diferents càrregues que reben, entre els diferents elements lineals dels quals està compost el forjat, de tal manera que, si algun d'aquests resulta sobrecarregat, pot treballar conjuntament amb altres elements adjacents.
- Els problemes de fletxa o deformacions comentats anteriorment.

Una solució que tradicionalment s'ha estat aplicant en l'actualitat, i que en moltes ocasions no s'ha realitzat correctament, portant a una mala pràctica constructiva, és la col·locació d'una solera de formigó lleugerament armada, col·locada sobre el forjat existent prèviament sanejat, sense cap tipus de connexió entre ells.

Aquesta tècnica ha sigut poc utilitzada, i a més, gens o molt poc encertadament, sense cap tipus d'unió entre ambdós materials. Ambdues parts treballaven d'una forma independentment una de

l'altre, sense cap millora en les seves prestacions estructurals. En aquestes condicions, a més, el formigó incrementava el pes propi del sistema, de forma molt significativa en forjats amb desnivells importants, i en moltes ocasions això originava resultats inclús pitjors que els d'inici. Així doncs, la incorporació d'un sistema d'unió permet entendre el forjat com un conjunt de bigues mixtes de fusta-formigó, que millora considerablement el comportament del conjunt.

Aquest mètode de forjat, podria ser una solució vàlida per al problema plantejat en un número elevat de casos, però el fet de no estar més estès, pot ser degut a la falta de normativa clara i senzilla que faciliti el seu disseny de forma segura. Degut això, l'objectiu principal cap al que s'enfoca el nostre treball es el plantejament d'un mètode del càlcul per al disseny de forjats mixtes de fusta-formigó, centrant-nos en el càlcul de la resistència d'aquesta connexió entre la fusta i el formigó, mitjançant unes fixacions metàl·liques com són els connectors.

A Espanya, la fusta, com a material estructural, es troba òrfena de norma bàsica de referència, com la han tingut, en les seves successives versions, altres materials estructurals alternatius com serien el cas de l'acer, el formigó i inclòs la ceràmica.

La bibliografia alternativa, té dificultats evidents d'aplicació a la pràctica, ja que, o es tracta de normes estrangeres o bé perquè són tractats més o menys antics, i que són gairebé obsolets o ja ho estan directament. Aquesta situació, sumada a l'estat en que es troba la fusta com a material estructural en els plans d'estudi de la major part de les titulacions universitàries relacionades (Arquitectura, Arquitectura tècnica, Enginyeria d'edificació...), comporta a l'eliminació d'aquest material estructural, i com a conseqüència, a la seva substitució per alternatives més estudiades com l'acer i el formigó.

Com hem comentat, no consta cap normativa que ens especifiqui com realitzar aquest càlcul, però en el cas del formigó-acer, sí que hi ha una normativa més clara. Així doncs, intentarem fer una mica de comparació amb aquestes tipologies de forjats per comprendre-ho millor i arribar a una solució, fent un recull de les solucions més habituals, analitzant els diferents assajos trobats per forjats mixtes, avaluant el comportament dels connectors en aquests i observant les consideracions i característiques que ells valoren.

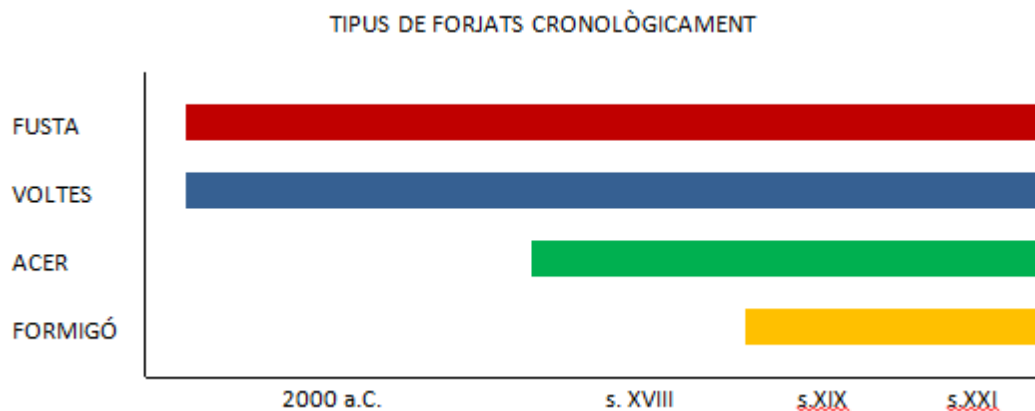
3.2- Evolució i història dels forjats mixtes

Per tal d'entendre el plantejament del nostre treball i entendre d'on provenen aquests tipus de forjats i el seu origen, trobem necessari fer una breu dissertació bibliogràfica.

3.2.1- Els forjats mixtes en el passat

Des de fa molts anys s'han construït forjats en les edificacions de vivenda. Aquests forjats, s'han construït de moltes diverses maneres i amb diferents materials al llarg de la història en funció de la tècnica i els materials que es coneixien en aquell moment.

La tècnica utilitzada per la construcció de forjats, durant cents d'anys, ha estat la de la viga simplement recolzada sobre uns murs de càrrega i l'ús de voltes entre murs de càrrega. El mètode d'anàlisi era l'experimentació, la prova i l'error portats a l'extrem. Actualment, gràcies als coneixements de les estructures, s'ha permès realitzar altres configuracions estructurals amb les que s'ha optimitzat l'ús dels materials i s'han augmentat les llums a cobrir.



Il·lustració 3.1. Representació cronològica de la utilització dels tipus de forjats

Així doncs, l'ús dels forjats va començar a ésser necessari amb els primers assentaments urbans per resguardar i cobrir els espais que l'home necessitava per viure. Però sobretot, aquest ús, va sorgir quan aquests recintes van començar a emmurallar-se i les guerres transcendien les petites baralles per la supervivència i es convertien en instruments d'expansió, domini i poder.

Al estar aquests recintes emmurallats, els espais interiors quedaven molt limitats i escassos. Així doncs, va començar a adquirir valor el construir espais sobre d'altres per un millor aprofitament. De fet, en ciutats de Mesopotàmia, com la ciutat de Ur (Irak), sobre l'any 2000 a.C, ja existien algunes vivendes de dos plantes dins les seves muralles, amb l'ús de forjats de bigues de fusta que es recolzaven sobre els murs de maons, com també s'ha pogut observar que passava a Tebas (Egipte), fins l'any 1500 a.C. Les vivendes d'aquesta segona ciutat, fins i tot, a més de tenir un forjat de la mateixa tipologia que les de Ur, constaven de planta baixa i dos plantes més.

Com hem comentat, el mitjà resistent més utilitzat era el de les biguetes de fusta simplement recolzades sobre murs de càrrega, tot i que també era freqüent l'ús de les voltes. Aquestes tipologies de forjat però, serien posteriorment substituïdes per formigó armat i pre-tensat en forma de lloses planes.

La tècnica va anar evolucionant i a la cultura micènica i grega les cases eren majoritàriament d'una o dos plantes amb suports interns de bigues i pilars. En general l'arquitectura de les grans ciutats era bastant pobre a excepció dels temples i edificis públics existents.

Ja en plena època d'esplendor romana, per pal·liar la concentració de població a la ciutat, ja que, existia un gran nombre d'habitants, es van construir apartaments de mala qualitat a base de murs de maons, forjats i escales de fusta (insules) que arribaven fins a les sis plantes d'alçada. Després del gran incendi de Roma l'any 64 d.C. es va intentar millorar la situació urbanística de la ciutat, però només es va assolir l'objectiu a Ostia.

Des de l'època romana fins al segle XX, l'arquitectura popular es va caracteritzar bàsicament per murs de càrrega i bigues de fusta simplement recolzades, exceptuant alguna construcció singular resolta amb forjats amb volta de pedra o de maons, que al necessitar murs més dimensionats, augmentant així el cost, feia que no fossin lo habitual.

Així doncs, el fet d'utilitzar els forjats de fusta abans que les voltes era perquè abaratien els murs verticals al no produir empentes horitzontals. Per competir amb la qualitat de l'aïllament que oferia el sostre amb volta, el forjat de fusta densificava els seus elements resistents per a que pogués suportar successives capes de reble i morter fins arribar al paviment final. El problema igualment però, era que els forjats de fusta, encara que els densifiquessin, proporcionaven una escassa resistència per aguantar sobrecàrregues i molt poca rigidesa horitzontal als edificis degut a la simplicitat i precarietat dels seus recolzaments que principalment seguien tres mètodes:

- Mitjançant la col·locació de la biga dins d'un forat en el mur executat per aquesta funció
- Recolzant sobre curtes mènsules de pedra, molt pròximes entre si, una jàssera on recolzar les biguetes, per tal d'evitar l'ús de tants forats.
- L'ús de forats al mur, però més separats, i col·locant unes jàsseres que recullen les biguetes de fusta.

Per tant, l'esquema estàtic utilitzat sempre, era el de la biga bi-recolzada. Ja fos dins el mur o sobre un altre element, com les mènsules sortints del mur o les jàsseres.

A finals del segle XVIII, l'arribada de la Revolució industrial va suposar l'ús del ferro en la construcció de forma industrial. Les indústries que van començar a construir-se exigien espais diàfans molt diferents dels rígids i opacs murs de càrrega i els pilars de maó. Amb el ferro es va aconseguir l'alliberació gradual dels murs de càrrega com a elements de suport vertical dels edificis.

Inicialment el ferro fos s'utilitzava amb combinació amb la pedra, el maó i els forjats de fusta indistintament. Més tard, les bigues i biguetes de ferro fos i les voltes van ser utilitzades per la construcció de les fàbriques. Les columnes de ferro fos van exercir un paper molt important a tot el gènere de la construcció i poc a poc, les estructures d'acer es van obrir camí gràcies a enginyers de ponts com R. Stephenson, Brunell, Telford, Eiffel...

Ja durant el segle XIX, paral·lelament amb el desenvolupament de les estructures d'acer, neix el formigó armat. L'evolució del formigó armat es produeix de forma gradual i simultània a molts llocs, així com evolucionava la tecnologia del ciment i els mètodes de posta en obra. No és entre

1880 i 1890 però, que un cop es van observar i donar a conèixer el seu funcionament resistent i les seves avantatges com a material constructiu (fonamentalment la resistència al foc i l'economia), que apareixen moltes patents destinades a l'explotació comercial.

A França, als 1880, François Hennebique, al acabar la seva primera obra de formigó armat, va emprendre un projecte d'investigació amb l'objectiu de trobar un sistema complet basat en la utilització del formigó armat. Aquest projecte, consistia en un sistema principalment de pilars i bigues rectes de formigó armat. No plantejava grans novetats, sinó que només substituïa els sistemes de bigues i pilars de fusta o acer, per elements de formigó armat, més econòmics i resistents al foc. Aquesta simplicitat va permetre introduir-se ràpidament al mercat de la construcció.

A altres llocs d'Europa com Alemanya, Àustria o fins i tot a Amèrica (EEUU) el desenvolupament del formigó armat es va catapultar. Es construïen forjats de lloses massisses recolzades sobre murs de càrrega, amb bigues metàl·liques i, després a bigues de formigó, que no es basaven en cap anàlisi estructural, simplement en proves de càrrega. No se sabia com calcular les lloses ni quins criteris aplicar per armar-les.

A Espanya, passada la Guerra Civil i entrats ja els anys 40, es disposava de formigó, acer i fusta, així com els coneixements necessaris per desenvolupar tecnològica i constructivament els forjats.

Els forjats de fusta, van anar deixant de ésser utilitzats, sobretot a les grans ciutats, on tot s'industrialitzava. El càlcul d'aquests forjats era molt senzill, ja que, al ésser biguetes recolzades sobre murs de càrrega o sobre jàsseres metàl·liques, el seu càlcul era i és, aplicant les fórmules següents:

$$M = \frac{pL^2}{8}$$

$$\sigma = \frac{M}{W} < \sigma_e$$

Il·lustració 3.2. Representació càlcul forjats de fusta

Les limitacions de fletxa es plantejaven segons el projectista. La distància entre eixos era de 50 – 100 cm i la diferència entre els forjats, la trobaven segons el tipus d'alleugeriment que utilitzarien.

L' introducció del formigó a l'edificació, va propiciar que els forjats es fessin mitjançant l'ús de formigó, sense entendre com funcionava el mecanisme resistent de les estructures mixtes. I encara que s'apreciava una major rigidesa i resistència, no s'evitava introduir un augment considerable del pes propi. Aquest fet, es va solucionar mitjançant l'aparició dels alleugeriments tipus revoltó i amb la comprensió i desenvolupament de les seccions compostes, en els 60 i 70, els forjats mixtes van tenir una certa adaptació a Espanya.

3.2.2- Els forjats mixtes actualment

Actualment, l'ús de forjats de biguetes metàl·liques no es requereix gaire, però sí que s'utilitza per solucionar perfectament un gran número de casos singulars, que amb el formigó, són molt difícils d'executar. En el camp de les reparacions i/o rehabilitacions, aquest tipus de forjats són molt utilitzats, on també hi apareixen les rehabilitacions en forjats amb bigues de fusta.

L'interès per aquest tipus d'estructura es va originar segons l'observació als anys 20 de ponts realitzats amb bigues d'acer rematades; dissenyats i realitzats com estructures no mixtes, que en realitat demostraven tenir una rigidesa molt més elevada que una simple biga d'acer. L'increment de la rigidesa ho causava la fricció generada per l'encolat parcial del formigó a la biga d'acer, però, sobre tot, el cap d'uns grans remats de la part superior de la biga que impedia el lliscament entre els dos elements.

L'idea de generar artificialment aquesta fricció va dur a idear uns connectors a principis del 1930 per estructures d'acer (realitzats amb pernès cilíndrics i cap soldats a la biga) i posteriorment per a les estructures de fusta menys rígides i més elàstiques. Aquest acte, va portar a la reflexió de:

“Quan dos materials diferents es mantenen units de forma eficaç, es comporten, des d'un punt de vista estructural, com un sol element.”

Així doncs, en la construcció s'utilitza aquest principi per realitzar els forjats mixtes, avantatjosos des del punt de vista estructural perquè redueixen les tensions internes dels materials i permeten obtenir, amb espessors reduïts, elements molt rígids.

Si a les bigues portants es superposa i s'incorpora una llosa de formigó armat, s'aprofita al màxim les propietats característiques de cada material: a la part superior el formigó tindrà elevades prestacions per estar correctament comprimit i a la part inferior, les bigues de fusta o d'acer, estaran tensades eficaçment.

Actualment, en la construcció moderna, la utilització del formigó com a element d'acabat dels forjats s'utilitza molt, ja que, degut a la seva massa i rigidesa, constitueix un pla rígid, redistribueix les càrregues, limita les vibracions i la transmissió del soroll i proporciona una adequada resistència al foc.

En els forjats mixtes doncs, el formigó es comporta com un element estructural i no com un pes afegit, si s'incorpora de forma eficaç a la biga portant; els connectors, s'oposen al lliscament que es genera entre els dos materials degut a les càrregues; i per tant, l'estructura mixta aprofita les millors característiques dels materials, perquè el formigó treballa per compressió i les bigues subjacents per tracció.

3.2.2.1- Comportament de les estructures amb forjats mixtes

Un dels requisits fonamentals de les estructures que resisteixen al sisme, és el comportament de caixa, per el qual, els murs s'uneixen a un forjat rígid capaç de repartir la càrrega sísmica a les parets en la direcció de la seva màxima residència.

Els entramats poden considerar-se infinitament rígids al seu pla, sempre que siguin de ciment armat, o de revoltó-formigó amb llosa de formigó armat d'uns 40 mm o d'una estructura mixta amb llosa de formigó armat d'uns 50 mm connectada amb connectors de tall a les bigues d'acer o de fusta.

3.3- Els forjats mixtes de fusta-formigó

Els forjats vells de fusta sovint requereixen intervencions de reforç i enduriment, ja que, han sigut realitzats per suportar càrregues petites. Així doncs, sempre que s'intervé en un edifici existent, sobre tot en els edificis més antics del nostre entorn, es fa necessària aquest tipus d'intervenció en els forjats per tal de garantir l'estabilitat d'aquests, per suportar les noves sol·licitacions i complir la normativa vigent. Aquestes doncs, casi sempre presenten una deformació i unes vibracions excessives respecte a les exigències actuals.

Aquest tipus de forjats, que en un principi es contempen de fusta, han sigut dissenyats i construïts en base als mètodes tradicionals de construcció segons bases documentals on s'indiquen les seves característiques. Per tant, ens trobem amb un element poc conegut, que no s'adapta als requisits funcionals ni molt menys possiblement als legals. Actualment, la forma més estesa de rehabilitar aquests forjats (com hem comentat) és mitjançant una llosa de formigó armat, que solidàriament amb les biguetes, actua com a cap de compressió d'una secció en forma de "T" mixta i a l'hora com a cap de repartiment. Aquesta solució, està tan estesa, ja que, el formigó armat és el material per excel·lència en les construccions actuals i es té un ampli coneixement sobre les seves propietats.

La intervenció amb el formigó col·laborant és una solució ideal perquè evita haver de substituir per complet el forjat i permet que no s'hagi de modificar excessivament l'altura del pis en qüestió. Els forjats de fusta nous però, per a ésser suficientment resistents i rígids, necessiten seccions de bigues elevades.

En ambdós casos és possible sobreposar a l'estructura de fusta una llosa fina de formigó, armada i connectada de la forma adequada, obtenint així, un considerable augment de resistència i rigidesa dels vells forjats i permetent seccions sense cap mena de dubte, més petites per a les bigues dels nous forjats, permetent també utilitzar aquests sistemes mixtes de fusta i formigó per realitzar cobertes planes i inclinades.

La interposició dels connectors de pern i grampons entre les bigues de fusta i la llosa de formigó és necessària per a que els dos materials col·laborin entre si. El resultat doncs, és una estructura compacte on, degut a les càrregues verticals, el formigó està fonamentalment comprimit i la fusta tensa.

3.3.1- Avantatges i desavantatges segons el material

Si comparem l'estructura mixta de fusta-formigó amb la feta només amb fusta, sempre serà millor la estructura feta amb formigó i fusta, ja que, aquesta tindrà un comportament més rígid i resistent, degut en gran part al formigó. També amb aquest tipus de forjat, es preveu una millora del el comportament dinàmic (vibracions), en l'aïllament acústic i en la inèrcia tèrmica. Així doncs, la llosa de formigó constitueix una excel·lent solució tècnica en edificis situats en zones amb un nivell de sisme elevat, ja que, permet connectar entre si els murs de càrrega realitzant una superfície rígida, capaç de distribuir millor les accions sísmiques horitzontals.

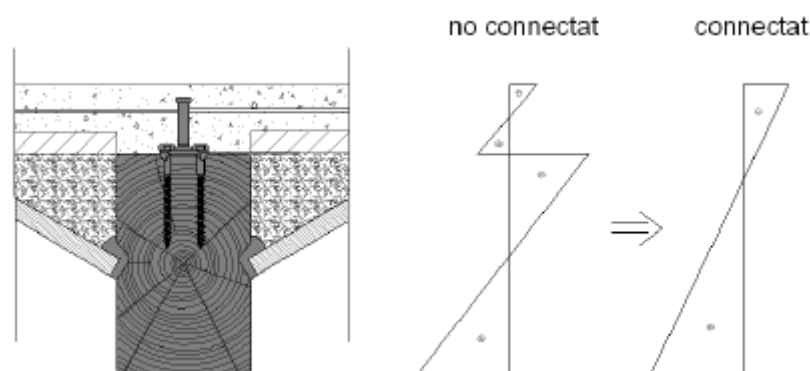
El pes dels forjats mixtes de fusta i formigó, és molt inferior respecte als forjats de rajoles de ciment, i per tant, és preferible en zones sísmiques. Considerem doncs, que els pernys i els grampons són una de les millors solucions per unir el millor possible la fusta i el formigó.

Les avantatges més evidents de l'estructura mixta de fusta i formigó són doncs, la gran capacitat portant, una menor altura total dels pisos, una major rigidesa i una millor resistència al foc.

No obstant, aquesta és una solució molt pesada, tot i que es poden utilitzar formigons lleugers que poden convertir-se en un problema, en comptes d'una solució, ja que, l'absorció acústica d'aquests i especialment l'aïllament acústic al impacte, s'han de millora com elements complementaris. A més, cal tenir en compte que aquest és un material impropri del tipus de construcció en el qual es van basar per executar l'edifici en qüestió, tenint en compte la deformabilitat i flexibilitat de la fusta. Tot i això, les intervencions en forjats de fusta amb formigó armat, donen millors prestacions.

3.3.2- Avantatges i desavantatges segons la connexió

En el cas de fer la comparativa entre fer un forjat mixta de fusta-formigó, sense connexió o amb connexió, podem afirmar que en els primers, els dos materials es comporten de forma independent, produint un lliscament entre materials, una major deformació i una menor rigidesa. Tots aquests fets, amb connectors degudament fixats amb les bigues del forjat, no succeeixen.



Il·lustració 3.3. Representació gràfica de comparació entre forjat connectat / no connectat

En la il·lustració de sobre on es mostra la comparació del tallant d'una conjunt connectat i un altre sense estar-ho, s'observa molt bé el que s'ha comentat en el paràgraf anterior:

3.3.3- Components del forjat mixte fusta-formigó

En aquest apartat, tractarem els diferents materials i elements que componen la biga mixta, és a dir, la fusta, el formigó i el connector. A més analitzarem les propietats mecàniques d'aquests elements i com es poden veure modificades quan treballen en conjunt.

3.3.3.1- La Fusta

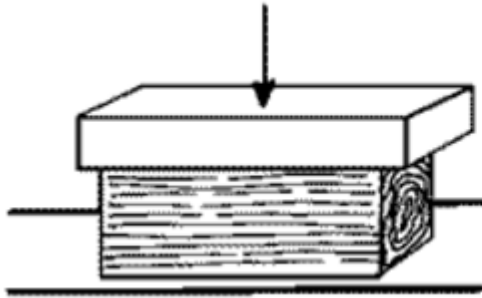
La fusta és un material orgànic vegetal, que en la seva composició hi trobem principalment carboni, oxigen i hidrogen. Es caracteritza, estructuralment, per la seva capacitat per absorbir tot tipus d'esforços, així com per la seva irregularitat i anisotropia. Són més resistents les zones més properes al peu de l'arbre que les que es troben a més altura.

Actualment, en estructures, s'utilitzen diferents tipus de fusta principalment coníferes (pi i avet). En rehabilitació de construccions tradicionals, es sol trobar fustes pròpies de la zona. Cada espècie té les seves característiques particulars: varia la seva densitat, la duresa i la resistència a diferents tipus de sol·licitacions. En el cas d'una rehabilitació, és important identificar la geometria i les característiques mecàniques de la fusta. En el cas de forjats nous es pot utilitzar fusta massissa o laminada.

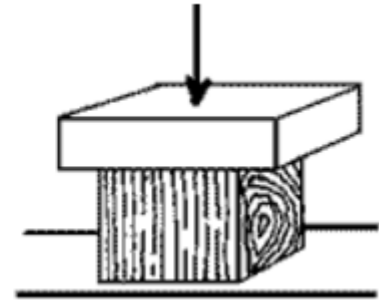
Propietats de la fusta:

- **Humitat/Higroscopicitat:** Capacitat que té la fusta per intercanviar aigua amb l'ambient. La fusta acabada de tallar conté un 60% d'aigua en relació al seu pes en sec. La que s'utilitza en la construcció, s'aconsella que per bigues exposades a corrents d'aire fresc, s'ha de col·locar a l'obra amb una humitat màxima del 20% i per fusteria exterior del 15%. També es comercialitzen fustes assecades en assecadors artificials, amb una humitat aproximada del 10%, aquesta humitat és recomanada per interiors. L'alteració de la humitat de la fusta, fa que aquesta pateixi modificacions en les seves dimensions i en les característiques resistents. També pot produir curvatures en les peces en el sentit de les fibres. Pel que fa a les característiques mecàniques, la fusta seca és més resistent que la humida, però la seva ruptura és més fràgil.
- **Anisotropia:** El comportament de la fusta és variable en funció de la posició de la fusta respecte l'orientació de les accions que actuen sobre ella. Les tensions màximes a compressió i tracció les absorbeix quan la direcció de l'esforç coincideix amb la direcció de les fibres. La resistència màxima a tallant es produeix quan l'esforç és perpendicular a les fibres. Es produeixen importants pèrdues de resistència quan, per problemes de tall, les fibres no són paral·leles a l'eix longitudinal del troc.
- **Mòdul d'elasticitat:** És la capacitat que té un material per tornar a la seva forma inicial un cop se li ha aplicat un força. A la fusta, degut a la seva anisotropia, el mòdul d'elasticitat en la direcció paral·lela a les fibres adopta diferents valors segons si es tracta de sol·licitacions de compressió o de tracció. A la pràctica s'utilitza un únic valor del mòdul en la direcció paral·lela a les fibres i un únic per la direcció perpendicular que és 30 vegades més petit que el paral·lel a les fibres.

- Resistències mecàniques: com hem dit anteriorment, el comportament de la fusta és variable davant les diferents sol·licitacions a les que pot estar sotmesa. Cada tipus de fusta té unes propietats diferents que s'han de verificar abans de calcular.
 - Compressió paral·lela i perpendicular a les fibres: Hi ha una variació molt gran entre la resistència a compressió en sentit paral·lel a les fibres i en el sentit perpendicular a aquestes. La resistència a compressió perpendicular a les fibres pot arribar a representar una quarta part de la resistència paral·lela a les fibres.

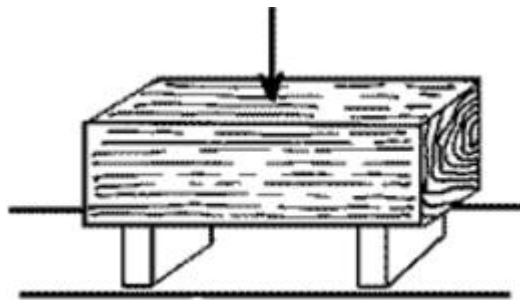


Il·lustració 3.4. Compressió perpendicular paral·lela



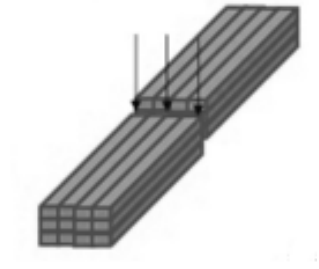
Il·lustració 3.5. Compressió

- Tracció paral·lela i perpendicular a les fibres: La resistència a tracció paral·lela a la fibra és elevada, mentre que perpendicular a les fibres és molt baixa, de l'ordre de 30 a 70 vegades menor que la paral·lela.
- Flexió: La peça treballa correctament a flexió (gran resistència a flexió) quan l'eix de la peça manté la direcció de les fibres, ja que estan formades per la combinació de tracció i compressió.



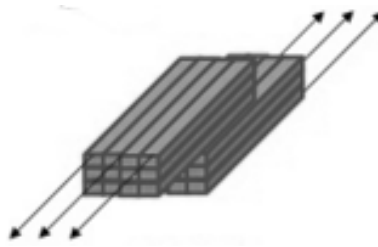
Il·lustració 3.6. Flexió

- Tallant: Capacitat de resistir forces que tendeixen a que una part del material llisqui sobre la part adjacent a ella. Aquest esforç origina tensions tangencials que actuen sobre les fibres de maneres diferents:
 - Tensions tangencials de tall/cisallament: les fibres son tallades transversalment per l'esforç. La fallada es produeix per aixafament.



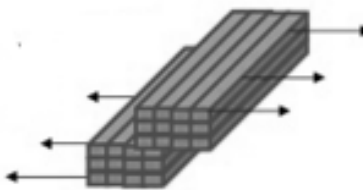
Il·lustració 3.7. Tensió tangencial de tall

- Tensions tangencials de lliscament: La fallada es produeix per el lliscament, en direcció longitudinal, d'unes fibres respecte a unes altres.



Il·lustració 3.8. Tensió tangencial de lliscament

- Tensions tangencials de rodament: La fallada es produeix per rodament d'unes fibres sobre les altres. Es produeixen en casos molt concrets, per exemple en unions encolades entre l'ànima i l'ala d'una bigueta.



Il·lustració 3.9. Tensió tangencial de rodament

3.3.3.2- El Formigó

El formigó és un material que sorgeix de la barreja de tres materials, que són el ciment, l'aigua i l'àrid, i a més es poden afegir a la barreja additius per modificar-ne les propietats i/o l'aspecte.

Propietats del formigó:

- Densitat: és una magnitud que indica la massa per unitat de volum d'una substància. La densitat del formigó depèn de la proporció que participa cada un dels diferents material que el componen.
 - Compacitat: va lligada a la densitat i es pot definir com la quantitat de material sòlid contingut en el conjunt de volum del material. Com més compacte sigui, més densitat tindrà.
 - Porositat: també va lligada a la densitat i és l'existència d'espais buits a la barreja. A més porositat, menys densitat i a la inversa.
- Resistència: és la capacitat dels materials per suportar tensions sense alterar l'estructura interna o trencar-se. Si es sobrepassen les capacitats resistents es produiran fractures que podran afectar la seguretat de l'estructura.
 - a compressió: és la capacitat que tenen els materials a no aixafar-se. El formigó és un material que treballa molt bé a compressió i la seva resistència màxima s'assoleix als 28 dies.
 - a tracció: és la capacitat que tenen els materials a no trencar-se quan es tiben els seus extrems cap enfora. El formigó no treballa gens bé a tracció i és per tal de millorar aquesta resistència que s'utilitza l'armat, ja que l'acer és un material que si treballa bé a tracció.
- Elasticitat: és la propietat d'alguns materials de patir deformacions quan estan sota l'acció de forces exteriors i recuperar la seva forma original quan aquestes forces deixen d'actuar. El formigó presenta tan comportament elàstic com inelàstic, és a dir, inicialment al aplicat la càrrega aquest presenta un comportament elàstic, a mesura que augmentem la càrrega es produeixen micro-fissures i aquest assoleix un comportament inelàstic fins arribar a un punt màxim on es comença a fracturar fins a la tensió de trencament que la peça es trenca totalment. El formigó per si sol no és gaire elàstic, però l'armat fa que adopti aquesta característica.
- Plasticitat: és la propietat d'alguns materials que es manifesta pel fet de mantenir indefinidament les deformacions produïdes per alguna força quan aquesta deixa d'actuar. El formigó, malgrat la seva fragilitat, presenta un comportament plàstic quan una càrrega determinada hi és aplicada durant un llarg període. La deformació produïda s'anomena fluència del formigó.
- Consistència: són quatre estats (seca, plàstica, tova i fluida) amb els que es pretén aconseguir que el formigó ompli completament el motlle i envolti completament les armadures sense formar buits.

- Durabilitat: és la resistència d'un material al pas del temps i alhora mantenir totes les seves propietats davant els atacs dels diversos agents mecànics, físic o químics. En el cas del formigó és la capacitat de comportar-se satisfactòriament enfront de les accions físiques i químiques durant la vida útil de l'estructura o element, així com també protegir les armadures i altres elements embeguts en el seu interior.

Per el tipus de forjat que estem estudiant, normalment s'utilitzen formigons estructurals de classe mínima C25/30 i amb un gruix mínim de 5 cm. S'aconsella també l'ús de formigons estructurals alleugerits per tal de reduir el pes del forjat mantenint les seves resistències mecàniques.

3.3.3.3- Unions mecàniques fusta-formigó

La rigidesa a flexió de la secció mixta fusta-formigó està lligada a la rigidesa de la connexió entre els dos materials, ha sigut molt pocs els autors que han estudiat i assajat aquests elements i que a més n'han publicat el resultat.

Hi ha varis tipus de connectors i alguns, amb vèries maneres de col·locar-los.

El CTE-DB-SE-M no contempla les unions fusta-formigó però seguint les agrupacions que fa per unions fusta-fusta o acer-fusta, distingim dos grups d'elements mecànics de fixació, per una banda els de tipus clavilla i per altre els de tipus connector. A més afegim un tercer grup per els que no es poden assimilar a cap dels anteriors.

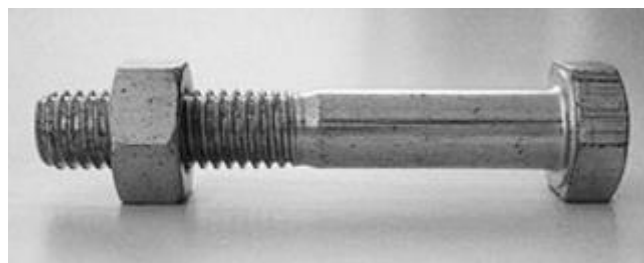
Així doncs, a continuació observem i valorem les solucions més freqüents d'unions mecàniques fusta-formigó que s'executen a obra.

Unió mecànica amb elements de fixació mecànica tipus clavilla:

Els elements de fixació tipus clavilla són mitjans d'unió mecànica que transmeten els esforços mitjançant elements metàl·lics a través de tensions d'aixafament sobre peces de fusta. Aquest grup engloba un conjunt d'elements metàl·lics com són; perns, passadors, claus, i tirafons, que travessen les peces de fusta i van agafats amb uns elements que treballen a tallant i flexió.

Perns:

Elements de fust cilíndric amb cap hexagonal o quadrat en un extrem, de cos llis i amb rosca a l'altre extrem. Aquesta rosca té la particularitat que l'arandela que porta ha de tenir ple contacte amb la superfície de la peça.



Il·lustració 3.10. Pern

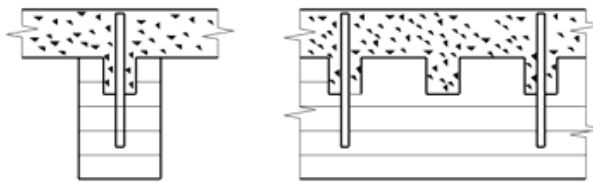
Passadors:

Els passadors, són barres llises d'acer, de secció circular i els seus extrems tenen el marge bisellat. Al contrari que els perns, no tenen cap, rosca ni arandelas. És a dir, el resultat és més estètic i més net.

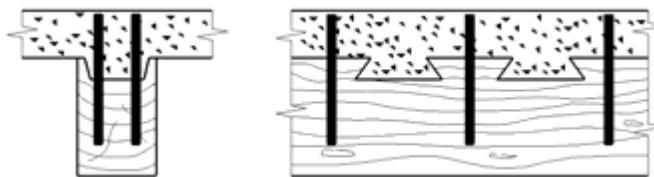


Il·lustració 3.11. Passador

Aquesta unió es realitza fent una encaixos circulars, quadrats o amb línies rectes a la biga de fusta perquè entri el formigó i al centre de cada encaix es fa un trepat i es col·loca un passador fixat amb resina a la fusta per tal de prevenir la separació de la fusta i el formigó. La mateixa solució també es pot realitzar amb barres d'acer corrugat. A més també es poden col·locar fent directament un trepat a la biga i introduint-los amb resina per evitar que es separi de la fusta.



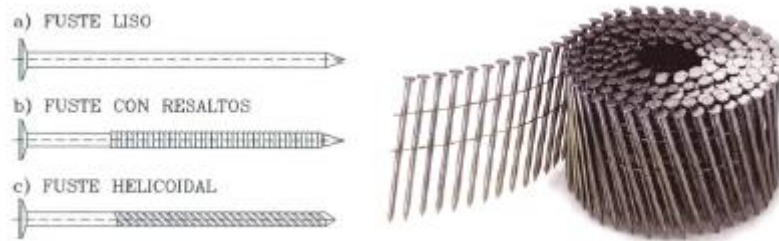
Il·lustració 3.12. Unió mecànica amb passadors i encaix circular



Il·lustració 3.13. Unió mecànica amb passadors i encaix línies rectes

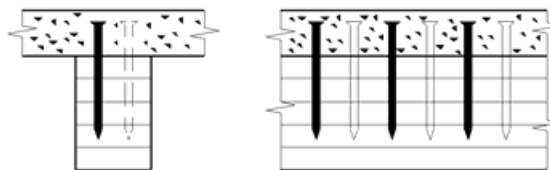
Claus:

Són la unió més comú i simple per unir peces de fusta en forjats i cobertes. Se'n distingeixen tres parts: cap, canya i punta. Tenen el cap cònic i els diferenciem segons si la canya és llisa, amb ressaltos o helicoidal.

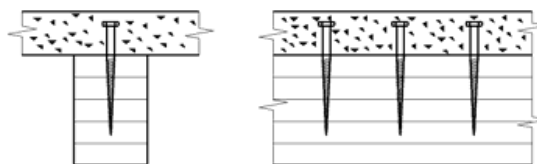


Il·lustració 3.14. Claus

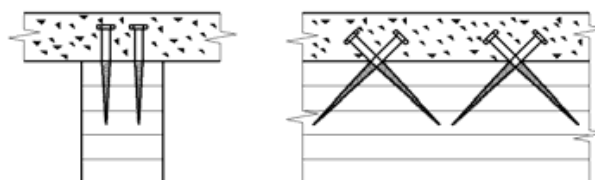
La unió es realitza amb els claus clavats verticalment a la fusta deixant que sobresurtin uns centímetres per cobrir-los de formigó. El mateix tipus d'unió també es pot dur a terme amb els claus col·locats en angle de 45° en configuració "X". Es col·loquen directament cargolats a la fusta sense pre-foradar.



Il·lustració 3.15. Unió mecànica amb clau de canya llisa



Il·lustració 3.16. Unió mecànica amb clau de canya amb ressaltos o helicoidal



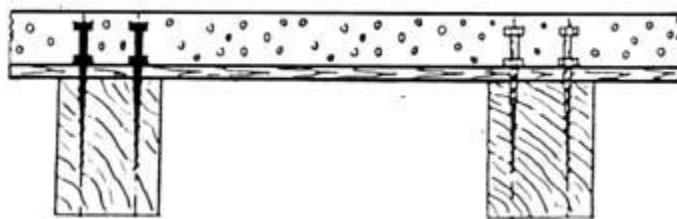
Il·lustració 3.17. Unió mecànica amb clau de canya amb ressaltos o helicoidal i inclinat a 45°

Tirafons:

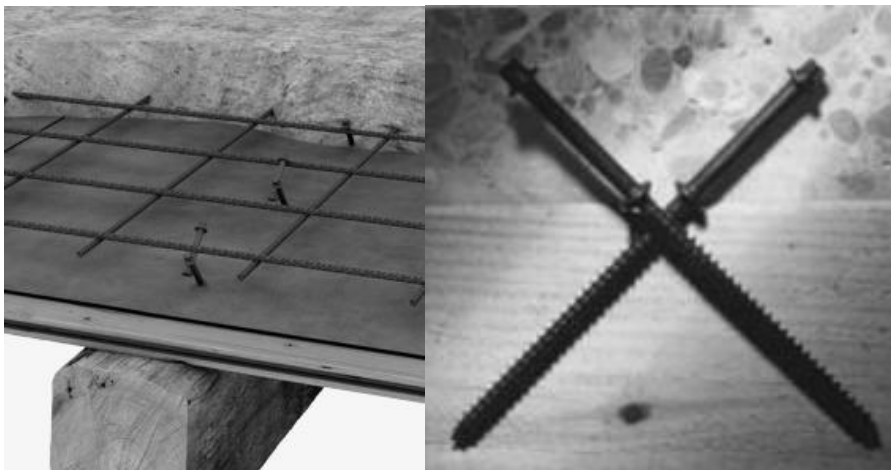
Es tracta de peces metàl·liques amb cap hexagonal i fust compost d'una part cilíndrica llisa (canya) i una zona helicoidal acabat amb punxa (corda). Aquests es col·loquen clavant-los directament a la biga, amb o sense pre-trepat, i deixant que sobresurti el cap uns centímetres, es poden col·locar perpendiculars a la biga o també amb inclinació.



Il·lustració 3.18. Tirafons



Il·lustració 3.19. Unió mecànica amb tirafons



Il·lustració 3.20. Representació de col·locació de tirafons inclinat a 45°

Una altre solució amb tirafons és abans de formigonar col·locar un tub metàl·lic, entrant-lo a la fusta lo just perquè el tub no es mogui de lloc, i posar un tap al tub de manera que no hi pugui entrar el formigó a dins. Un cop formigonat i amb un cert curat es traurà aquest tap i a través del tub podrem introduir un tirafons fins a cargolar-lo a la fusta.



Il·lustració 3.21. Procés de col·locació del tirafons dins tub metàl·lic

Barres d'acer corrugades:

Aquestes les hem col·locat dins del tipus clavilla perquè creiem que es pot relacionar amb un passador i que van clavades a la fusta i no creiem que pugui formar part d'algun dels tipus connector que ens presenta el CTE.

Aquestes es poden col·locar, com hem dit anteriorment a l'apartat de passadors, de manera vertical trepant la biga de fusta i introduint-hi la barra amb resina o bé amb el mateix mètode però amb la barra d'acer en forma de L.



Il·lustració 3.22. Unió mecànica amb barra d'acer corrugada



Il·lustració 3.23. Representació col·locació de barra d'acer corrugada

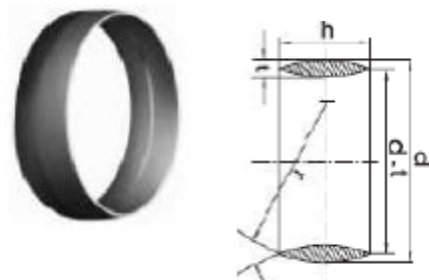
Unió mecànica amb elements de fixació mecànica tipus connector:

Els connectors són elements de fixació de tipus mecànic que transmeten els esforços entre les peces a través d'una superfície major que els elements de tipus clavilla. Així doncs, es tracta d'elements de fixació en forma circular o rectangular que s'introdueixen ajustats entre dos peces generalment de fusta (tot i que poden ser altres materials) i alguns collant-se mitjançant elements tipus clavilla que travessen aquestes peces.

Connectors d'anella o placa:

Els primers s'utilitzen normalment per fusta-fusta i es tracta d'unes peces en forma d'anella, que s'insereixen, en un encaix, entre les dues peces a unir allotjant la meitat de la seva altura a cada una d'elles. Els segons, molt utilitzats per unir fusta-acer, tenen una forma circular amb una pestanya en un dels seus costats que s'insereix en un encaix realitzat a la peça de fusta. A més tenen un orifici central on hi va col·locat el connector, completant així la unió entre les peces.

En el cas d'unió fusta-formigó, es col·loca l'anell en un encaix en forma circular que s'ha fet a la fusta i dins l'anell es sol col·locar un element tipus clavilla (clau o tirafons), al formigonar l'anell queda omplert de formigó i a més aquest té l'adherència amb l'element tipus clavilla. A més un altre tipus de connector que podem assimilar a l'anella, és amb tubs d'acer. Aquests tenen més longitud que l'anell i van col·locats dins forats circulars que s'han fet prèviament a la biga, deixant que sobresurtin per sobre la fusta amb la mateixa mida que ha entrat. Un cop col·locats es formigona i aquests tubs queden omplerts en el seu interior.



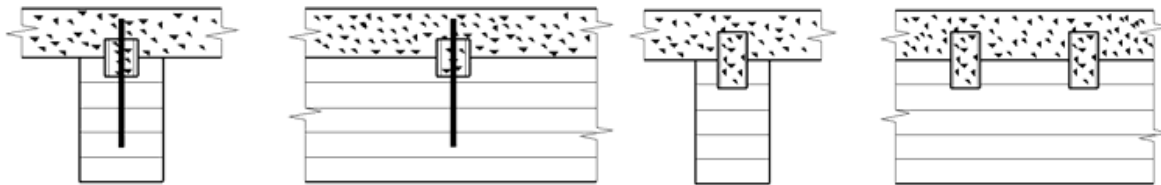
Il·lustració 3.24. Connector d'anella



Il·lustració 3.25. Connector de placa



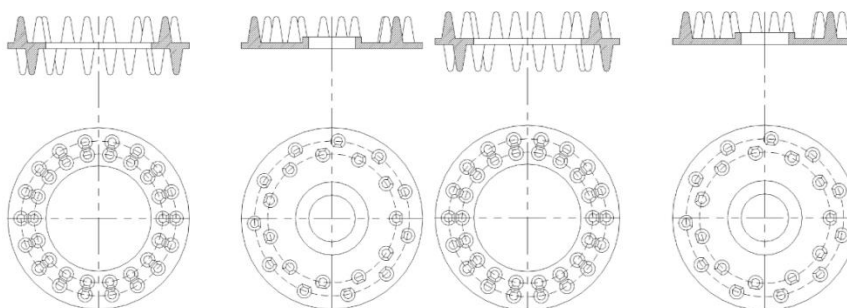
Il·lustració 3.26. Representació col·locació de connector de placa



Il·lustració 3.27. Unió mecànica amb anell metàl·lic (esquerra) i amb tubs metàl·lics (dreta)

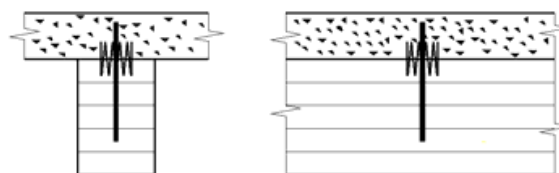
Connectors dentats:

Aquests connectors, es caracteritzen per contenir una espècie de pues o dents a incorporades a la placa. La norma en diferencia fins a 11 subtipus, segons forma circular, rectangular, quadrada, tipologia de pues... Tot i que aquests com a tal només s'utilitza en estructures de fusta, també els volem explicar, ja que hem trobat un tipus d'anella dentada que creiem que es podia assimilar a aquest tipus de connector.



Il·lustració 3.28. Connectors dentats per unió fusta-fusta

És un connector per unir la fusta amb el formigó que consisteix en una corona amb dents de manera que aquestes dents la meitat inferior es claven a la fusta i la meitat superior quedarà embeguda al formigó, a més igual que en el sistema anterior, el conjunt està subjectat per elements tipus clavilla (claus o tirafons).



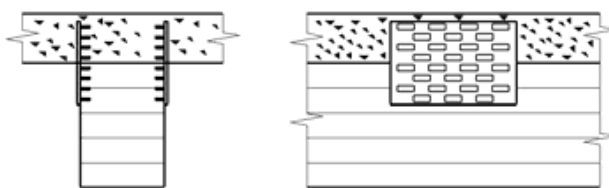
Il·lustració 3.29. Unió mecànica amb anells dentats de metall

Unió mecànica amb altres elements de fixació mecànica:

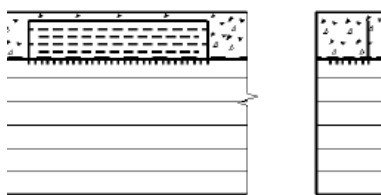
Les següents unions no es consideren en cap apartat dels anteriors, però s'han de tenir en compte, ja que, aquests s'utilitzen també per fusta-formigó, tot i no ésser contemplats per el CTE.

Connectors de placa perforada:

Consisteix en una placa de metall foradada en la qual el metall perforat sobresurt cap un dels costats per tal que es pugui clavar a la fusta. Aquesta tan es pot col·locar verticalment com en forma de L



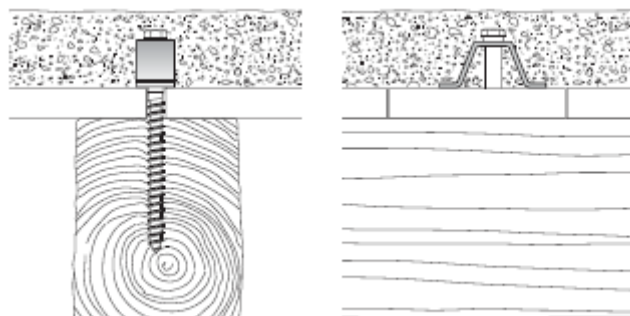
Il·lustració 3.30. Unió mecànica amb placa perforada vertical



Il·lustració 3.31. Unió mecànica amb placa perforada en forma de L

Connector Omega:

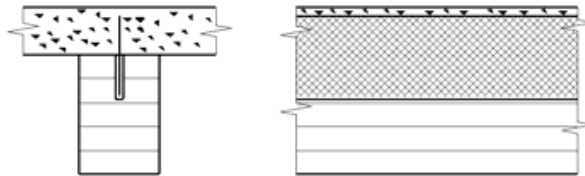
Un altre tipus d'unió mecànica és l'omega. Aquest s'utilitza per connectar biguetes de secció reduïda en els forjats de doble entrebigat i està format per un element mecànic tipus clavilla de diàmetre 10mm i una placa de 4 mm plegada en forma d'Omega, amb un orifici apropiat per introduir l'element d'ancoratge.



Il·lustració 3.32. Unió mecànica amb omega

Malla d'acer:

Consisteix en fer una ranura a la fusta en la que s'hi inserta la malla amb resines de manera que la malla sobresurti i quedi formigonada amb a la xapa. El mateix es fa però amb una placa d'acer en comptes d'una malla.



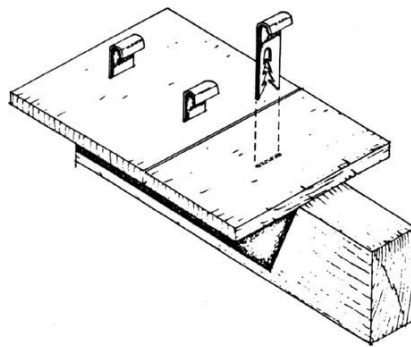
Il·lustració 3.33. Unió mecànica amb malla d'acer



Il·lustració 3.34. Unió mecànica amb placa d'acer

Xapa doblegada:

El següent tipus consisteix en un element format per una xapa metàl·lica doblegada en forma de J invertida, que queda parcialment clavada a la biga de fusta i embeguda a la capa de formigó.

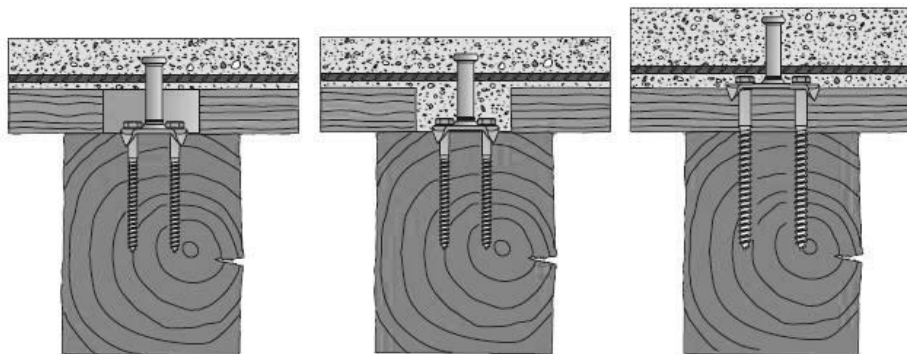


Il·lustració 3.35. Unió mecànica amb xapa doblegada

Connector de pern i grampó:

L'empresa "TECNARIA" ens presenten una tipologia d'unió que ens la defineixen com a connector de pern i grampó i aquest es colla a la fusta amb tirafons, és per això que no sabíem ben bé a quin apartat introduir-lo perquè per una banda té una placa i es podria considerar connector de placa, per altre banda té un cos llis que es podria assimilar a un passador però malgrat això aquest queda tot embegut al formigó i no va introduït dins la fusta, i finalment també es podria posar dins l'apartat de tirafons, ja que la placa va collada a la fusta amb aquests elements.

Concretament la unió està formada per una placa base 3,8mm que pot ser de dues mides diferents. Aquesta està doblada en els quatre extrems formant grampons per tal que es clavin a la fusta i a més està prevista de dos forats que permeten la introducció de dos tirafons. Té el cos llis, d'acer amb zinc, i està unit a la placa mitjançant el remat en fred. Tant el cos com els cargols poden ser de diferents longituds. Aquests es poden col·locar de tres maneres diferents: si hi ha entarimat entre les bigues, es pot o bé interrompre l'entarimat on hi ha la biga i clavar-lo a la biga, foradant l'entarimat allà on hi ha la biga i clavar-lo a la biga o bé clavant-lo sobre l'entarimat i que els tirafons travessin fins a cargolar-se a la biga. Sinó hi ha entarimat, es col·loca directament sobre la biga. S'ha de pre-trepar la biga, amb una broca 2mm més petita que el diàmetre del cèrcol, per inserir els cargols.



Il·lustració 3.36. Unió mecànica amb connectors de pern i grampó (tipus Tecnaria)

3.3.3.4- Solucions de forjats mixtes més habituals

Com hem explicat anteriorment, molts dels edificis antics tenen els forjats de fusta i presenten deformacions, ja que suporten unes càrregues limitades adaptades a les necessitats d'abans i no s'adapten a les necessitat d'avui, és per això que es té la necessitat de reforçar aquest tipus de forjats. Una bona solució és realitzar una llosa fina de formigó sobre la coberta de fusta existent, connectant-la adequadament a les bigues de fusta per obtenir un sistema mixta fusta-formigó.

A continuació explicarem quines són les tècniques de connexió més habituals que s'utilitzen per l'enfortiment dels forjats de fusta.

Una d'aquestes tècniques requereix l'eliminació parcial de l'entarimat/entrebogat per tal connectar la llosa amb la biga de fusta, a diferència de les altres tècniques que la llosa de formigó es fa

sobre l'entrebigat. Segons un dels estudis llegits, la contribució de l'entrebigat a la rigidesa i a la resistència del connector és molt baixa.

Una altre solució es basa en el manteniment del forjat original, incorporant una fina solera de formigó armat a la part superior i unint els dos sistemes entre si mitjançant el sistema de connexió adequat. Això fa que el conjunt adquireixi més resistència i rigidesa.

3.4- Recull d'assajos i normativa

En general, hi ha poca informació i pocs estudis del comportament dels connectors en bigues mixtes de fusta i formigó i no hi ha una normativa específica de com realitzar-ne els assajos amb aquest tipus de biga mixta, és per això, que des del punts de vista d'entendre el comportament d'una biga mixta i com són els assajos i aparells que utilitzen per assajar-les, hem utilitzat com a referència articles que estudien el comportament dels connectors en bigues mixtes de formigó-acer. A continuació descriurem una mica els articles trobats i la normativa que utilitzen per veure si en podem fer ús o podem agafar-ne unes pautes.

Strenght of Shear Studs in Steel Deck on composite Beams and Joists

El primer article titulat *Strength of Shear Studs in Steel Deck on composite Beams and Joists* tracta sobre la força dels perns a tallant en una coberta d'acer amb bigues i biguetes mixtes d'acer i formigó. Aquest utilitza unes especificacions de requeriments i disseny que vénen donades en un manual de construcció d'acer - de factors de disseny de càrrega i resistència fet per l'AISC (Institut Americà de la Construcció d'Acer). El que es fa en aquest estudi és per una banda assajar una biga mixta amb els connectors col·locats en dos posicions diferents (forta i dèbil), i per altre banda assaja provetes individuals, unes amb els connectors col·locats en posició forta i a les altres en posició dèbil. Això ho fa per comparar les forces experimentals de la biga amb el càlcul teòric que presenta l'AISC, així com amb els valors basats en les provetes individuals.

Influence of concrete material ductility on the behavior of stud shear connection

El segon article *Influence of concrete material ductility on the behavior of stud shear connection* és sobre la influència de la ductilitat del formigó en el comportament dels connectors a tallant. Ho fa utilitzant dues barreges diferents de formigó reforçat amb fibres i comparant-lo amb el formigó normal. Conclou que el mode de fallada, la ductilitat i la força ultima del connector a tallant presenta una millora significativa en els formigons reforçats amb fibres quan ho comparem amb el formigó. Aparentment en aquest article no es basen en cap normativa per les mides de provetes, es basa en altres articles experimentals sobre el tema.

The Effect of Bedding Layer on the Strength of Shear Connection in Full-Depth Precast Deck

El següent article, *The Effect of Bedding Layer on the Strength of Shear Connection in Full-Depth Precast Deck*, tracta sobre l'efecte d'una capa d'assentament en la resistència del connector en una coberta prefabricada. I basant-se en els resultats suggereix recomanacions per el disseny de la connexió en una coberta prefabricada. Aquí ens menciona l'Eurocodi 4 i ens diu que moltes pautes de disseny per els connectors són basats en equacions empíriques que s'obtenen d'assajos de models de bigues mixtes amb cobertes de formigó in-situ, però que en cobertes prefabricades això és diferent. A més ens diu que les mides de les provetes són similars a les que suggereix l'Eurocodi 4. Aquesta investigació es fa per tal d'avaluar la força última i les característiques càrrega-desplaçament dels connectors en una biga mixta amb coberta de formigó prefabricada. Per fer-ho, només utilitza un tipus de connector, investiga els efectes de tres paràmetres: el diàmetre del connector, la força de compressió del morter i el gruix de la capa d'assentament. Les propietats dels materials dels connectors les ha obtingut de ASTM (Societat Americana per el Tests i Materials), aquesta societat també presenta mètodes d'assajos estàndards. Com que els resultats obtinguts en investigacions anteriors amb lloses in-situ no es poden considerar aplicables al la coberta prefabricada, l'article suggereix una nova fórmula empírica considerant les característiques de les cobertes prefabricades.

Composite Shear Stud Strength at Early Concrete Ages

El quart article consultat, *Composite Shear Stud Strength at Early Concrete Ages*, ens parla sobre la resistència del connector mixta en edats joves del formigó. El que fa és veure el comportament de càrrega-desplaçament del connector quan assaja les provetes de formigó-acer que tenen un temps de 4h, 8h, 13h, 22h, 3 dies, 7 dies, 14 dies i 28 dies des de l'abocat del formigó. Els mètodes utilitzats anteriorment per la investigació del connector a tallant, no serveixen per les mostres amb formigó joves, és per això, que ha proposat un nou setup per l'assaig d'expulsió (push-out). Utilitza fórmules de la ACI (Institut Americà del Formigó) i també del manual de construcció d'acer de la AISC mencionat en un article anterior.

Experimental studies on shear connection between steel and lightweight concrete

El següent, *Experimental studies on shear connection between steel and lightweight concrete*, estudien la connexió a cisallament entre l'acer i el formigó lleuger. El principal objectiu d'aquestes estudi és descriure el comportament de diferents tipologies de connexió i analitzar la contribució dels diferents components, a la capacitat de càrrega i el lliscament entre el perfil d'acer i la llosa de formigó. La connexió entre l'acer i el formigó s'estudia amb la prova del "push-out" i la fa seguint les disposicions de l'Eurocodi 4, amb tres tipus de connectors diferents. Com a resultat de les proves amb els connectors de pern, es veu que la fallada es produeix per esquerdes que apareixen a les lloses de formigó i la trituració progressiva d'aquestes. També s'observa que la capacitat de càrrega augmenta amb el diàmetre del pern. Compara els resultats del seu estudi amb altres i observa que les provetes de formigó alleugerit d'alta resistència tenen valors superiors de deformació, però els valors de càrrega màxima són menors, cosa que ho lliga a les diferències entre el mòdul d'elasticitat del formigó i la resistència a tracció dels dos materials. Amb els

connectors T les mostres van fallar prop de la base de la T on apareixien esquerdes però no tantes com amb els perns, també observa que aquests connectors tenen bona capacitat de càrrega i deformació i mostren valors de lliscament superiors als anteriors, a més permeten una millor distribució de la tensió a la llosa. La connexió amb “perfobond” falla per aparició d’una esquerda longitudinal i que s’amplia a mesura que augmenta la càrrega. En aquesta hi ha presenta un malla de ferro que limita l’obertura d’esquerdes i en genera de més petites, presenta valor de lliscament menors, un comportament més rígid però valors de deformació molt grans. En general els valors de càrrega son una mica més petits que amb formigó normal i els de deformació son més alts, cosa positiva si es vol millorar la ductilitat.

Load-displacement relationship of plate shape shear connector in steel-concrete composite structures

El següent, *Load-displacement relationship of plate shape shear connector in steel-concrete composite structures*, ens parla del comportament d’un connector en forma de placa en una coberta tipus sandwich. Les mostres amb aquest connector van fallar de manera que primer van començar a esquerdar-se per l’extrem carregat i a mesura que s’anava aplicant càrrega es van generar més esquerdes que anaven fins l’extrem lliure, fins que la placa d’ancoratge a la biga va aconseguir la seva capacitat màxima i el formigó i la placa connectora es van separar de la mostra. Es va concloure que la capacitat de càrrega dels connector a cisallament és major si la separació dels connectors augmenta, així com, la placa més prima es desplaça més fàcilment sota la mateixa càrrega que la placa gruixuda que és més rígida.

Static behavior of a steel-concrete composite beam with an innovative horizontal connection

El penúltim article, *Static behavior of a steel-concrete composite beam with an innovative horizontal connection*, tracta del comportament estàtic d’una biga mixta acer-formigó amb una connexió innovadora horitzontal i evitant soldadures. Aquest estudi elimina l’ala superior de la biga de manera que queda col·locada com un T invertida i la connexió entre aquesta biga i la llosa es fa mitjançant barres d’acer col·locades horitzontalment paral·leles a l’ala de la biga, i es reforça la zona amb filferros per evitar la fallada prematura. L’inconvenient d’aquest mètode és que la biga no pot estar sola en cap fase constructiva perquè al ser una T invertida té inestabilitat de flexió. Els resultats mostren que la biga mixta amb aquests connectors horitzontals tenen un comportament similar a les bigues mixtes amb els connectors habituals. Durant la prova la connexió no va fallar i va permetre transmetre de manera eficaç les forces de tall de la llosa a la biga. L’estudi valida que la biga mixta amb aquesta nova connexió horitzontal, respon adequadament sota càrregues estàtiques i té un comportament satisfactori a flexió. Però aquest no permet explorar tots els aspectes mecànics d’un dispositiu d’aquest tipus de connexió.

Performance of shear connection in composite beams with profiled steel sheeting

L'últim article, *Performance of shear connection in composite beams with profiled steel sheeting*, descriu el comportament estructural de la connexió a tallant en bigues mixtes amb xapa d'acer perfilat. Aquest estudi ens descriu molts factors a tenir en compte que s'han dut a terme en altres investigacions, l'objectiu principal d'aquest però és desenvolupar un model d'elements finits no lineal tridimensional precís i eficient per investigar el comportament dels connectors de pern a tallant ancorats en bigues mixtes amb xapa d'acer perfilada perpendicular a la biga d'acer. Els resultats obtinguts es van verificar comparant-los amb resultats de proves fetes en altres investigacions, també es van comparar amb les resistències calculades segons les equacions de l'AISC, la norma britànica BS 5950 i l'Eurocodi 4. Els models d'elements finits no lineals que s'han desenvolupat tenen en compte les propietats no lineals de material de formigó, bigues d'acer, xapa d'acer perfilada, barres de reforç i connectors pern de tall. La capacitat de connexió de cisalla, comportament de càrrega-lliscament dels perns i els modes de falla estava previst des de l'anàlisi d'elements finits i és congruent amb els resultats experimentals. Un cop realitzat l'estudi dels resultats dels assajos, la comparació de les capacitats de connexió de tall obtingudes de l'anàlisi d'elements finits i les regles de disseny especificats en les 3 normes citades anteriorment han demostrat que, les especificacions americanes i britàniques han sobreestimat la capacitat de connexió de cisalla amb un valor màxim de 27% i 25%, respectivament. Les regles de disseny especificats en l'Eurocodi 4 van ser generalment conservadores, llevat d'alguns casos que va sobreestimar la capacitat de connexió de cisalla amb un valor màxim de 11%.

Com es pot observar els articles valoren aproximadament el mateix, el comportament de la connexió/ del connector a cisallament, però ho fan amb variants diferents, ja sigui amb diferents tipus/ dosificacions de formigó, variant els diàmetres dels connectors, amb diferents tipus de connectors,... Però la majoria tenen una cosa en comú i és que fan el mateix assaig per veure'n el comportament i aquest és el "push-out".

Les proves "push-out" s'utilitzen comunament per determinar la capacitat de la connexió a tallant i el comportament de la càrrega de lliscament del connector. En una prova d'expulsió (push-out test), una biga d'acer curta està connectada a dues petites lloses per mitjà de connectors de tallant. Les plaques són llavors suportades pel terra, mentre que una càrrega uniforme s'aplica a l'extrem superior de la biga d'acer. A continuació exposarem com alguns d'aquests articles duen a terme aquest tipus d'assaig i les diferències entre ells.

A continuació exposarem com alguns d'aquests articles duen a terme aquest tipus d'assaig i les diferències entre ells.

Taula 1: Comparació articles acer-formigó I

Article:	<i>Strength of Shear Studs in Steel Deck on composite Beams and Joists</i>	<i>Influence of concrete material ductility on the behavior of stud shear connection</i>	<i>The Effect of Bedding Layer on the Strength of Shear Connection in Full-Depth Precast Deck</i>	<i>Composite Shear Stud Strength at Early Concrete Ages</i>
Núm. mostres:	8 (4 per cada posició)	-	24 mostres: 2 amb cada diàmetre, per una mateixa compressió i gruix de capa 4 per cada resistència a compressió, amb el mateix diàmetre i gruix de capa 3 per cada gruix de capa, amb el mateix diàmetre i resistència a compressió	24 mostres: es trenquen 3 mostres per cada edat de formigó.
Mides llosa/es:	Llosa a les dos ales de la biga: 60,96x91,44x15,24 cm	Llosa a les dos ales de la biga: 30,5x30,5x15,2 cm	Llosa a les dos ales de la biga: 60x70x22cm	Llosa només a una ala de 91,5x61x20,3cm
Tipus de biga:	2 bigues tipus T que un cop fetes les lloses horitzontalment, s'uneixen per l'ànima per formar la mostra	1 biga HEB 30x30cm i 1,5cm gruix de l'ala	1 biga H que es talla per l'ànima per formigonar horitzontalment i després s'uneix de nou per soldadura	1 biga HEB i 1 U
Diàmetre del connector:	19mm	19mm	13mm, 16mm, 19mm majoritàriament i 22mm	19mm
Variants:	2 posicions del pern i amb xapa nervada	2 dosificacions de formigó amb fibres	Llosa prefabricada 4 Diàmetres de perns 3 Gruixos capa assentament 4 Resistències compressió del morter	Formigó de 8 edats diferents.

<p>Aparell d'assaig:</p>	<p>Màquina universal increments de càrrega del 10% de la capacitat esperada de les mostres fina arribar el 80% de la capacitat esperada. La càrrega s'aplica a l'extrem superior de la biga.</p>	<p>Aparell d'assaig Instron amb capacitat de 2224KN. La càrrega s'aplica a l'extrem superior de la biga.</p>	<p>Càrrega estàtica amb màquina d'assaig amb capacitat de 1000KN. S'aplica a l'extrem superior de la biga amb increments que varien de 19,6 kN a 39,2 kN.</p>	<p>La càrrega s'aplica amb un pistó directament a la llosa de formigó a través d'una biga U/C que reparteix la càrrega per igual. Aquest pistó va cargolat a una platina i es solda a un tros de biga i aquesta es cargola a la biga grossa.</p>
--------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Taula 2: Comparació articles acer-formigó II

<p>Article:</p>	<p><i>Experimental studies on shear connection between steel and lightweight concrete</i></p>	<p><i>Load-displacement relationship of plate shape shear connector in steel-concrete composite structures</i></p>	<p><i>Static behavior of a steel-composite beam with an innovative horizontal connection</i></p>	<p><i>Performance of shear connection in composite beams with profiled steel sheeting</i></p>
<p>Núm. mostres:</p>	<p>3 mostres per cada variable i 4 per el "perfobond" en total 19 mostres</p>	<p>9 mostres</p>	<p>3 mostres</p>	<p>44 mostres: dividides en 11 grups i cada grup té 4 mostres de dimensions iguals i resistències de formigó diferents</p>
<p>Mides llosa/es:</p>	<p>Llosa a les dues ales de la biga: 65x60x15 cm</p>	<p>Secció transversal de la llosa de 15x30cm</p>	<p>Llosa als dos extrems de les bigues: 64x30x18cm</p>	<p>Llosa: 60cm d'amplada i el gruix de l'altura del pern més 25mm de recobriments</p>
<p>Tipus de biga:</p>	<p>HEB 260 i els perfils T son mitja IPE 200</p>	<p>Biga H suportada per 2 blocs de formigó on s'hi fixa la mostra.</p>	<p>Dues bigues T formades per HEB 550 tallades per l'ànima.</p>	<p>Biga H</p>
<p>Diàmetre del connector:</p>	<p>19mm majoritàriament, 22mm i 25mm</p>	<p>Gruix del connector horitzontal 2,3 i 1,2 mm</p>	<p>6 barres horitzontals de Ø16mm i 26cm de longitud i 4 Ø 10mm</p>	<p>13mm, 16mm i 19mm (són els que n'hi ha més quantitat)</p>

<p>Variant:</p>	<p>4 tipus diferents de provetes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 4 connectors distribuïts en dues files de dos, això amb 3 Ø diferents (19, 22 i 25 mm) - 4 connectors de Ø 19mm col·locats en una fila agrupats 2 i 2. - Connector T - connector "perfibond" 	<p>El nombre de connectors col·locats</p> <p>El guix i l'amplada de la xapa d'acer és 6mm i 150mm respectivament, varia la llargada en funció del nombre de connectors previstos.</p> <p>La distància entre connectors es de 100mm excepte en una mostres que és 150mm.</p>	<p>Les lloses de formigó es troben als extrems de les bigues T i no a les ales. Després s'uneixen les dues ales de les bigues per formar les mostres</p>	<p>Diferents resistències del formigó: 25, 30, 35 i 40 MPa</p> <p>3 tipus diferents de forma de la xapa metàl·lica, de diferent gruix i profunditat de la nerva.</p> <p>diferent mides i llargades de connectors (13x75,16x75, 19x100 i 19x127mm)</p>
<p>Aparell d'assaig:</p>	<p>Màquina hidràulica amb capacitat de 5000 KN: consisteix en dues plaques rígides d'acer de 200 mm d'amplada, quatre cilindres buits d'acer de 275 mm de Ø, 25 mm d'ample i 1150 mm d'alçada. La unió entre els cilindres i les plaques és pretensat.</p> <p>25 cicles de càrrega i descàrrega, amb càrregues entre 5 i 40% de la càrrega màx. esperada. Es controla per la deformació i es mesura el lliscament a velocitat constant. La prova es fa fins el trencament de la proveta i la deformació es mesura fins que el valor de càrrega és d'almenys 80% de la càrrega màxima.</p>	<p>La càrrega s'aplica amb un pistó hidràulic manual i la magnitud de càrrega amb una cèl·lula de càrrega elèctrica.</p> <p>Per determinar la càrrega que assumeix cada connector i el desplaçament s'utilitzen 4 galgues extensomètriques.</p> <p>El desplaçament horitz. del connector més proper a l'extrem on no s'aplica càrrega es mesura amb 2 transductors.</p> <p>S'enregistren les dades en cada interval de càrrega de 2,5 KN.</p>	<p>Màquina de Losenhausen de 5000 KN. S'incrementa la càrrega fins que falla la mostra. Es mesura el lliscament en 12 punts amb LVDT i la possible rotació de la llosa durant l'assaig es mesura amb galgues horitzontals.</p> <p>Lliscament en falla és aprox. 2-3mm</p>	

Un cop observats i comparats els estudis realitzats en bigues mixtes formigó-acer, ens disposem a centrar-nos en la poca informació i estudis trobats sobre les bigues mixtes de formigó-fusta.

Informe de las pruebas efectuadas en juntas mixtas de madera-hormigón con conectores de perno i crampones

Informe de las pruebas efectuadas en juntas mixtas de madera-hormigón con conectores de perno i crampones, es tracta d'un informe d'unes proves realitzades a Itàlia, per determinar el comportament mecànic a tall pur i el registre de les corbes càrrega-deformació en juntes per estructures mixtes de fusta-formigó, realitzats amb connectors del tipus "Tecnaria conector base" i "Tecnaria conector maxi". Aquest informe utilitza el mètode d'assaig de la UNI EN 26891 i fa referència a la UNI EN 338, UNI ISO 3131, UNI EN 28970 i per tal d'observar el comportament en diferents tipologies de fusta, en fa una taula, assajant fins a un total de 5 unitats per tipologia seguint el mètode de càlcul de l'Eurocodi 5.

Estudio comparativo del comportamiento de forjados mixtos madera-hormigón y su simulación inforgàfica por el MEF

Estudio comparativo del comportamiento de forjados mixtos madera-hormigón y su simulación inforgàfica por el MEF. Es tracta d'un estudi on s'estudia l'esforç d'estructures de fusta mitjançant una solera de formigó, units entre si mitjançant connexions metàl·liques. Per tal de fer-ho, realitzen una comparació entre el mètode de càlcul teòric de l'Eurocodi 5 i l'estudi de Turrini l'any 1983. Aquesta comparació ofereix tres branques d'investigació, de les quals, escullen la valoració del coeficient de desplaçament de la fusta. A l'hora de fer l'estudi experimental, fan un estudi i anàlisi sobre els diferents paràmetres utilitzats (de diferents autors) per trobar la millor manera de calcular la resistència i rigidesa als forjats de fusta i en dibuixen una gràfica força-desplaçament dels resultats obtinguts en cada un d'ells. Així doncs, poden conèixer la influència de cada una de les variants proposades sobre el comportament del conjunt. Després de la comparació i la discussió dels resultats sense treure'n una conclusió clara, fan una aproximació pràctica utilitzant simultàniament la simulació inforgàfica a través d'un model informàtic per el Mètode d'Elements Finites (MEF) i la experimentació real sobre provetes de fusta-formigó, per obtenir dades per poder validar cada una de les proposades comparades en els apartats anteriors (de forma més rigorosa). Tampoc en treuen un resultat clar, i expliquen que com a futura investigació, faran uns assajos a tallant, per tal d'obtenir una nova anàlisi que conclogui en una valoració numèrica més encertada que les proposades.

A més hem fet referència a altres estudis i investigacions a les quals no hem pogut accedir però que gràcies a alguns estudis explicats anteriorment (algun en fa comparacions), podem tenir-ne certa informació parcial.

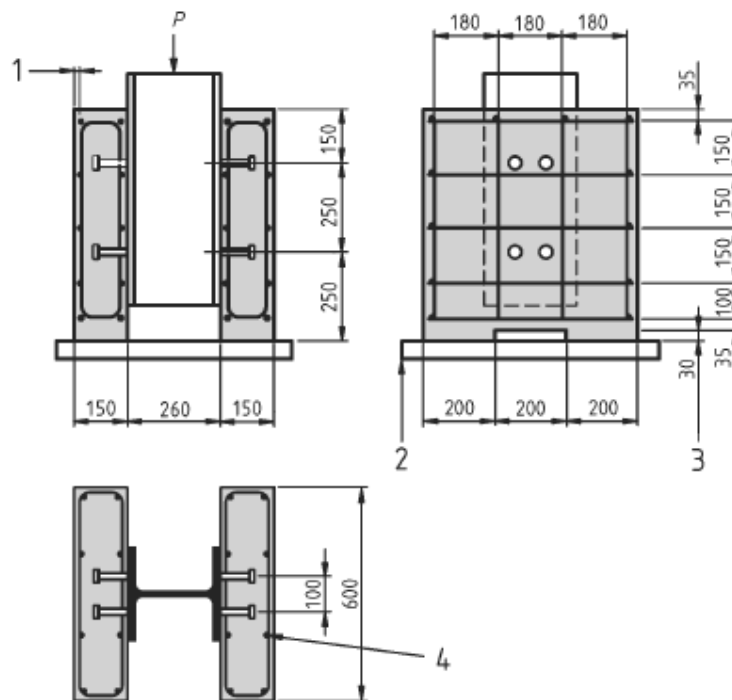
Un cop hem llegit i vist quins assajos realitzen en els articles, per quins motius i la normativa que utilitzen ens hem posat a llegir la normativa i veure quina és la que ens afecta en el nostre cas de biga mixta fusta-formigó i a pensar quin assaig podem dur a terme.

3.4.1- UNE EN 1994: EUROCODI 4

Es tracta de les regles per realitzar l'assaig tipus de connectors que figura a l'annex B.2 d'aquest document.

A continuació citem:

Disposicions:



Il·lustració 3.37. Disposició proveta d'assaig de connectors d'unió ferro-formigó segons norma

On:

1. Recobriment 15mm
2. Gruix de morter o guix
3. Rebaix opcional
4. Armadura: barres corrugades $\varnothing 10\text{mm}$ d'alta adherència amb $450 < f_{ck} < 550 \text{ N/mm}^2$
Secció d'acer: HE 260 B o UC 254x254x89

- (1) La resistència en front de les càrregues, diferents de la fatiga, poden determinar-se mitjançant assajos de cisallament d'acord amb aquest annex.
- (2) En els assajos de fatiga la proveta s'hauria de preparar també d'acord amb els requisits d'aquest annex.
- (3) Si els connectors s'utilitzen en bigues T amb una llosa de formigó d'espessor uniforme, es poden utilitzar els assajos de cisallament normalitzats.

- (4) Per els assajos de cisallament normalitzats, les dimensions de les provetes, la secció d'acer i l'armat haurien de ser com les presentades a la imatge superior.
- (5) Els assajos de cisallament específics s'han de dur a terme de tal manera que les lloses i l'armadura estiguin adequadament dimensionades en relació amb les bigues per a les quals s'ha dissenyat l'assaig. En particular:
 - a. La longitud l de cada llosa s'hauria de relacionar amb la separació longitudinal dels connectors en l'estructura mixta.
 - b. L'amplada b de cada llosa no hauria de ser més gran que l'amplada eficaç de la llosa de la biga.
 - c. El gruix h de cada llosa no hauria de ser més gran que el gruix mínim de la llosa a la biga.

Preparació de les provetes:

- (1) Per preparar les lloses de formigó, les formigonarem en posició horitzontal, ja que a la pràctica, s'executen així a l'hora de fer una estructura mixta.
- (2) S'hauria d'evitar l'adherència entre la superfície de contacte entre l'ala de la biga d'acer i el formigó untant les ales amb mitjans apropiats.
- (3) Curar les provetes de l'assaig a l'aire lliure.
- (4) Per cada amassada s'ha de realitzar mínim quatre provetes de formigó (cilíndriques o cúbiques):
 - a. Es curaran en les mateixes condicions i al mateix temps que les provetes de l'assaig. Es formigonaran a la vegada que les provetes de cisallament.
 - b. La resistència del formigó (f_{cm}), serà la mitja d'aquestes 4 o més provetes de cada amassada.
- (5) Quan es realitzi l'assaig de la resistència a compressió del formigó (f_{cm}), aquesta hauria de ser del 60-80% de la resistència especificada per al formigó (f_{ck}) de las bigues per les que s'ha preparat l'assaig.
 - a. f_{ck} : valor característic de la resistència a compressió del formigó en proveta cilíndrica als 28 dies.
 - b. f_{cm} : valor mig de la resistència a compressió del formigó en proveta cilíndrica.
- (6) S'ha de determinar el límit elàstic, la resistència a tracció i l'allargament de ruptura d'una proveta representativa del material del connector.

Procediment d'assaig:

- (1) S'hauria d'aplicar la càrrega en intervals fins arribar al 40% de la càrrega de ruptura esperada. Després d'això s'hauran d'aplicar 25 cicles amb una càrrega que variï entre el 5% i 40% de la càrrega de ruptura esperada.
- (2) Els increments de càrrega següents s'hauran d'aplicar de tal manera que la ruptura no es produeixi abans dels 15 minuts.
- (3) El desplaçament longitudinal entre la llosa de formigó i la secció d'acer es podrà mesurar de dos formes:
 - a. De forma continua durant el procés de càrrega
 - b. Per a cada increment de càrrega
- (4) El més a prop possible de cada grup de connectors, hauria de mesurar-se la separació transversal entre la secció d'acer i cada llosa.

Avaluació de l'assaig:

- (1) Si es porten a terme tres assajos en provetes idèntiques i la desviació del resultat de qualsevol d'aquests tres assajos individualment respecte el valor mig obtingut amb els altres 2 assajos, no supera el 10%, el valor de càlcul de la resistència pot determinar-se segons:
 - a. Valor característic de la resistència (P_{Rk}), s'hauria d'agafar com la càrrega de ruptura mínima (dividida per el numero de connectors), reduïda en un 10%
 - b. Valor de càlcul de la resistència (P_{Rd}) s'hauria de calcular amb l'equació:

$$P_{Rd} = \frac{f_u}{f_{ut}} \frac{P_{Rk}}{\gamma_V} \leq \frac{P_{Rk}}{\gamma_V}$$

On:

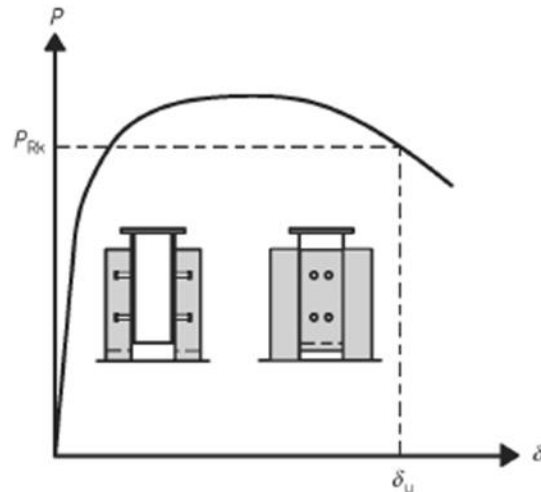
- f_u Valor mínim de la resistència última especificada del material dels connectors
- f_{ut} Valor mínim de la resistència última real del material dels connectors a la proveta
- γ_V Coeficient parcial de seguretat per a la connexió

Nota: El valor recomanat de γ_V és 1,25.

- (2) Si la desviació respecte el valor mig supera el 10% es faran tres assajos més del mateix tipus, segons annex D de la Norma EN 1990.
- (3) Si el connector, està format per dos elements separats, un per resistir el rasant i l'altre per resistir les forces que tendeixen a separar la llosa i la fusta, els tirants que resisteixen la separació han de ser suficientment rígids i resistents per a que la separació en els assajos de cisallament (mesurada quan els connectors estiguin per sota del 80% de la seva

càrrega última) sigui menor que la meitat del moviment longitudinal relatiu de la llosa respecte a la fusta.

- (4) La capacitat de desplaçament d'una proveta serà el màxim desplaçament mesurat en el nivell de càrrega característica, com es mostra a la figura B.2. El valor característic de la capacitat de desplaçament (S_{uk}) s'agafarà com el mínim de S_u , reduït un 10%.



Il·lustració 3.38. Determinació de la capacitat de desplaçament segons norma

Com es pot observar aquests assajos són per bigues mixtes acer-formigó, en el nostre cas el podem fer servir de guia.

3.4.2- UNE EN 26891

Estructures de fusta: unions realitzades amb elements de fixació mecànica.

Condicionament de les provetes:

- (1) S'ha d'efectuar de tal manera que les condicions de l'assaig en correspongui realment amb les condicions de les unions en les estructures, en el que respecta a la influència del contingut d'humitat en les propietats de resistència de la fusta.
- (2) Quan l'objectiu de l'assaig sigui comparar unions en condicions similars, s'haurà d'utilitzar per a la climatització de la atmosfera normalitzada 20/56, segons la norma ISO 554.

Formes i mides de les provetes:

- (1) Les unions que s'assagin han de ser dimensionades i formades de tal forma que realment s'obtingui la informació necessària de la resistència i desplaçament de les unions.
- (2) La informació detallada sobre la forma i dimensió de les mostres d'assaig adequades per a diferents tipus d'elements de fixació mecànica, s'oferiran a Normes Internacionals separades.

Aparells:

A més de l'equip per mesurar la geometria de les provetes d'assaig, el contingut de la humitat, etc, es necessitarà:

- (1) Una màquina d'assaig que pugui aplicar i descarregar la càrrega amb una precisió de +/- 1% de Fest
- (2) Un equip que mesuri el desplaçament de la unió sota càrrega amb una precisió de +/- 1% o superior, o per desplaçaments que siguin inferiors a 2 mm amb una precisió de +/- 0,02 mm. L'equip haurà d'assegurar que les excentricitats, torsions, etc, no influeixin en les mesures.

Procediment de càrrega:

- (1) Estimació de la càrrega: La càrrega màxima estimada, Fest, per al tipus d'unió que s'assajarà, haurà de determinar-se segons la base de l'experiència, càlcul o assajos preliminars. S'haurà d'ajustar com s'especifica al apartat (6)
- (2) Aplicació de la càrrega: Generalment, es seguirà el procés de càrrega que es mostra a la figura 1.
 - a. La càrrega s'haurà d'aplicar fins a $0,4F_{est}$ i es mantindrà durant 30 segons.
 - b. Després reduïm a $0,1F_{est}$ i es mantindrà durant 30 segons.
 - c. S'incrementa fins arribar a la càrrega final o lliscament de 15 mm

Per sota els $0,7F_{est}$, s'haurà d'aplicar un règim constant de càrrega o lliscament que correspongui a $0,2F_{est}/min$ (+/-25%). Per sobre de $0,7F_{est}$ s'haurà d'aplicar una velocitat constant de desplaçament, ajustada de manera que s'aconsegueixi la càrrega final o un desplaçament de 15 mm en un temps d'assaig addicional de 3 a 5 min (temps d'assaig de 10 a 15 min).

L'assaig pot aturar-se quan s'arribi a la càrrega final o quan hi hagi un desplaçament de 15 mm.

Per a determinats assajos el cicle de càrrega prèvi fins a $0,4F_{est}$ pot omitir-se amb ajustos que corresponguin al temps total d'assaig.

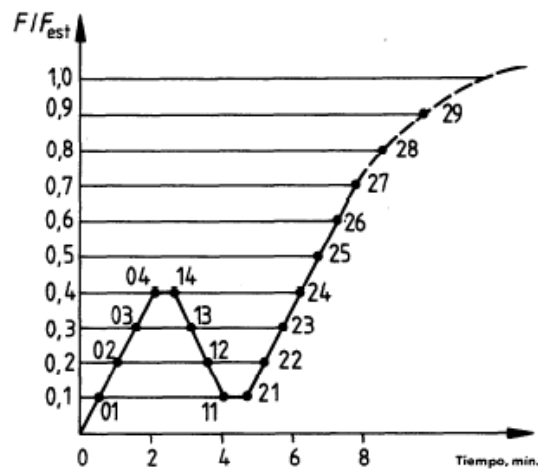


Figura 1 – Procedimiento de carga

Il·lustració 3.39. Procediment de càrrega segons norma

- (3) Mesurar del desplaçament: Per cada proveta d'assaig s'enregistraran els valors de desplaçament V_{01} , V_{04} , V_{14} , V_{11} , V_{21} , V_{24} , V_{26} i V_{28} , com es mostra a la figura 2.

També s'haurà d'enregistrar el desplaçament/lliscament corresponen a la càrrega màxima, $F_{màx}$.

Quan no es disposi d'un diagrama càrrega/desplaçament, les mesures de lliscament/desplaçament s'hauran de prendre a cada increment de $0,1F_{est}$ de la càrrega (figura 1).

- (4) Mesurar la càrrega: La càrrega obtinguda abans o en un desplaçament de 15 mm, s'haurà d'enregistrar com la càrrega màxima $F_{màx}$, per a cada proveta.

- (5) Càlculs: Per cada assaig es determinaran a partir de les mesures efectuades els següents valors:

- | | |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------|
| a. Càrrega màxima | $F_{màx}$ |
| b. Càrrega màxima estimada | F_{est} |
| c. Lliscament inicial | $V_i = V_{0,4}$ |
| d. Lliscament inicial modificat | $V_{i,mod} = 4/3 \cdot (V_{04} - V_{01})$ |
| e. Assentament de la unió | $V_s = V_i - V_{i,mod}$ |
| f. Lliscament elàstic | $V_e = 2/3 \cdot (V_{14} + V_{24} - V_{11} - V_{21})$ |
| g. Mòdul de lliscament inicial | $K_i = 0,4F_{est}/V_i$ |
| h. Mòdul de lliscament | $K_s = 0,4F_{est}/V_{i,mod}$ |

- | | | |
|----|-------------------------------------|----------------------------------------------|
| i. | Lliscament a $0,6F_{màx}$ | $V_{0,6}$ |
| j. | Lliscament modificat a $0,6F_{màx}$ | $V_{0,6,mod} = V_{0,6} - V_{24} + V_{i,mod}$ |
| k. | Lliscament a $0,8F_{màx}$ | $V_{0,8}$ |
| l. | Lliscament modificat a $0,8F_{màx}$ | $V_{0,8,mod} = V_{0,8} - V_{24} + V_{i,mod}$ |

(6) Ajustos: Si durant l'execució dels assajos, el valor mig de la càrrega màxima dels assajos ja realitzats es desvia més del 20% del valor estimat Fest, llavors Fest s'ajustarà convenientment per als assajos posteriors.

Els valors de càrrega màxima ja determinats poden acceptar-se sense ajustos com a part dels resultats finals. En aquest cas, els valors del lliscament i dels mòduls de lliscament determinats en els càlculs del 3) al 8) del apartat 5, s'ajustaran perquè es correspongui amb els valors ajustats de Fest.

Informe de l'assaig:

L'informe de l'assaig haurà de contenir la següent informació:

- (1) Espècie, densitat i propietats de resistència significativa de la fusta.
- (2) La qualitat, propietat de resistència i acabat de la superfície dels materials dels elements de fixació (incloent la protecció anticorrosiva)
- (3) Les dimensions de les unions, tamany i número d'elements de fixació, detalls de les folgances (holguras) que existeixen entre les peces.
- (4) L'acondicionament de la fusta i de les provetes abans i després de la fabricació, el contingut de humitat en el moment de la fabricació i del assaig, clivelles, etc.
- (5) Procediment de càrrega utilitzat (amb referència a aquesta Norma), així com totes les desviacions que puguin presentar-se
- (6) Resultats del assaig individual i qualsevol informació pertinent relacionada amb els ajustos, valors mitjos i desviacions normalitzades, així com la descripció de les formes de ruptura.

3.4.3- UNE EN 1995: EUROCODI 5

Aquesta normativa compleix els principis i requisits per la seguretat de servei de les estructures i les bases de projectes i verificació definides a la Norma Europea EN 1990:2002. S'aplica a projectes d'edificis i obres d'enginyeria civil amb fusta o amb taulers derivats de la fusta units amb adhesius o fixacions mecàniques. Afecta als requisits de resistència mecànica, l'adequació al servei, durabilitat i resistència al foc de les estructures de fusta.

El mòdul de lliscament instantani d'una unió en l'estat límit últim, K_u , s'hauria d'agafar com:

$$K_u = \frac{2}{3} K_{ser}$$

On K_{ser} és el mòdul de lliscament, que en el nostre cas per el tipus de connector que tenim K_{ser} és:

$$\rho_m^{1,5} d/23$$

Per unions de formigó-fusta, K_{ser} s'hauria de basar en la ρ_m (densitat mitja) determinada per la peça de fusta i pot multiplicar-se per 2,0.

El mòdul de desplaçament unitari (k) es defineix com el quocient entre el mòdul de lliscament de la fusta (K_{ser}) i la separació existent entre els connectors (S_{ef}).

$$k = K_{ser}/S_{ef} \quad S_{ef} = 0,75 s_{min} + 0,25 s_{max}$$

La separació mínima es calcula a partir de la taula 8.2 de l'eurocodi 5.

Tabla 8.2
Separaciones y distancias mínimas a los bordes y a la testa para los clavos

Separación o distancia (véase la figura 8.7)	Ángulo α	Separación o distancia mínimas a la testa o al borde	
		Sin pretaladro	Con pretaladro
		$\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$	$420 \text{ kg/m}^3 < \rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3$
Separación a_1 (paralela a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$d < 5 \text{ mm:}$ $(5+5 \cos \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm:}$ $(5+7 \cos \alpha) d$	$(7+8 \cos \alpha) d$ $(4+ \cos \alpha) d$

Per unions acer-fusta multiplicar les distàncies mínimes per un factor de 0,7.

Unions acer-fusta

El valor característic de la capacitat de càrrega per els claus, pernys, passador i tirafons, per pla de tallant i per mitjà de fixació, s'hauria d'agafar amb el valor mínim dels obtinguts en les següents fórmules:

- Per placa gruixuda en tallant simple:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (c) \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (d) \\ f_{h,k} t_1 d & (e) \end{cases}$$

On:

- $F_{v,Rk}$: és el valor característic de la capacitat de carrega per pla de tallant i per mitja de fixació
- $f_{h,i,k}$ és el valor característic de la resistència a l'aixafament en la peça de fusta i per tirafons fins a 8mm de diàmetre s'utilitzen les expressions definides per els claus.
 - Sense foradar prèviament: $f_{h,k} = 0,082 \rho_k d^{-0,3} \text{ N/mm}^2$
 - Foradant prèviament: $f_{h,k} = 0,082 (1 - 0,01 d) \rho_k \text{ N/mm}^2$
 - ρ_k és el valor característic de la densitat de la fusta i d és el diàmetre del clau.
- $f_{h,i,k}$, resistència a l'aixafament en direcció paral·lela a les fibres, per tirafons iguals o superiors als 8mm de diàmetre s'apliquen les expressions definides per els perns.

$$f_{h,0,k} = 0,082 (1 - 0,01 d) \rho_k$$

- On:

$f_{h,0,k}$ es el valor característico de la resistencia al aplastamiento paralelo a la fibra, en N/mm^2 ;
 ρ_k es el valor característico de la densidad de la madera, en kg/m^3 ;
 α es el ángulo formado entre la dirección de la carga y la fibra;
 d es el diámetro del perno, en mm.

- t_1 és el valor menor entre l'espessor de la fusta i la profunditat de penetració.

Tallant simple:



Il·lustració 3.40. Representació valors a tall simple

- d és el diàmetre del mitjà de fixació.
- M_y, R_k és el valor característic del moment plàstic del mitjà de fixació.
- F_{ax}, R_k és el valor característic de la capacitat d'arrencament del mitjà de fixació.

3.4.4- CTE-DB-SE-M

El camp d'aplicació d'aquest DB, és el de la verificació de la seguretat dels elements estructurals de fusta en edificació. Així doncs, és per aquest fet que es tracta d'una normativa a tenir en compte. Hem pogut observar que algunes de les fórmules surten de l'Eurocodi 5 és per això que els apartats del CTE dels quals farem ús, seran bastant semblants als de l'eurocodi. Farem ús de l'apartat 7.2 "Deslizamiento de las uniones", 8.3 "Uniones tipo clavija", segons el subapartat 8.3.1.1 per tal de poder-ne comprovar la capacitat de càrrega lateral dels elements metàl·lics de fixació que utilitzarem, ja sigui per tallant simple o doble

3.4.5- UNE EN 383

Aquesta norma especifica els mètodes de laboratori que permeten determinar la resistència a l'aixafament i el mòdul d'aixafament dels elements de fixació tipus clavilla, per fusta massissa, fusta laminada encolada i taulers derivats de la fusta.

4- Fase experimental

4.1- Càlcul

La majoria dels models numèrics estructurals disponibles es basen en els portats a terme per bigues mixtes d'acer i formigó. Nosaltres realitzarem el càlcul, associant-lo a la fusta-formigó.

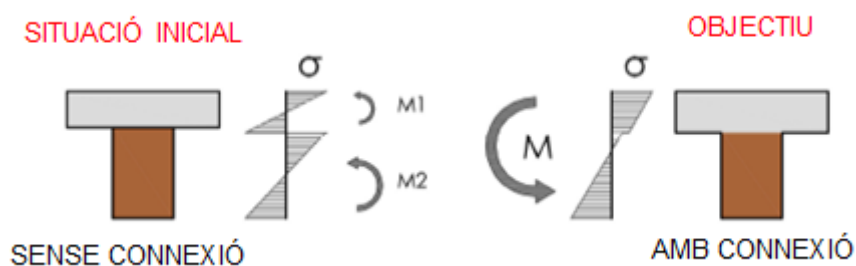
4.1.1- Conceptes de càlcul i consideracions prèvies

A l'hora d'explicar el càlcul, creiem que és important tenir-ne clars els seus conceptes, per tal de tenir clar tot el procés. Així doncs, tenint en compte aquest pretext, creiem que hem de tenir clar que en aquest procés d'intervenció que passa un forjat de fusta, passem de tenir un forjat exclusivament de fusta, a fusta-formigó:



Il·lustració 4.1. Representació del pas del forjat de fusta, al forjat de fusta-formigó

Així doncs, la situació inicial es tracta d'un forjat sense connexió, del qual l'objectiu seria col·locar-li una fixació mecànica entre els dos elements del forjat, per passar de tenir dos moments (M_1 i M_2), a un sol moment M :

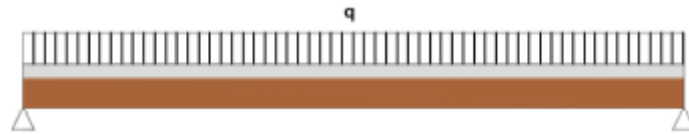


Il·lustració 4.2. Representació dels moments interns de la secció sense connexió i amb connexió

Així doncs, com més units estiguin els dos materials, major serà la capacitat resistent i la rigidesa del conjunt.

A l'hora de fer el càlcul de la connexió d'aquest forjat, s'ha de tenir en compte que trobem dos tipus de connexió; la primera es tracta de la connexió total, on no hi haurà cap tipus de desplaçament, i la segona, es tracta de la connexió semirígida. Amb aquest tipus de connexió, hi ha desplaçament, però aquest, a diferència del que podem torbar en un conjunt amb connexió nul·la, està controlat. A continuació s'aprecia el ja comentat en les següents il·lustracions.

Partint d'un conjunt amb una càrrega uniformement distribuïda, com aquesta:



Il·lustració 4.3. Representació d'una càrrega continua a un conjunt de fusta-formigó.

Podem diferenciar la connexió en connexió nul·la o sense connexió, connexió total o connexió rígida.

Connexió nul·la o sense connexió:



Il·lustració 4.4. Representació d'una connexió nul·la o sense connexió

Connexió total:



Il·lustració 4.5. Representació d'una connexió total

Connexió semirígida:



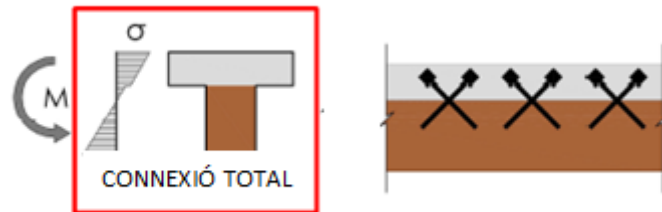
Il·lustració 4.6. Representació d'una connexió semirígida

A l'hora de realitzar el càlcul per justificar un forjat mixta de fusta i formigó, tenim diverses opcions:

- Programes de càlcul de cases comercials de connectors per fusta-formigó.
- Càlcul segons la normativa del CTE i del EUROCODI, o de les normes UNE.

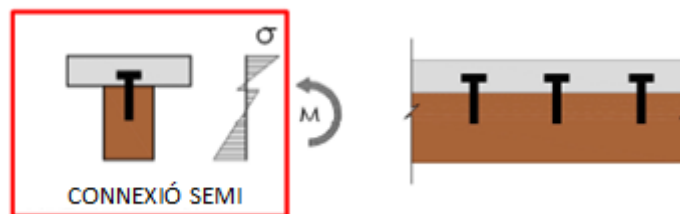
Segons la normativa actual, tenim possibilitat de calcular els dos tipus de connexió:

- Possibilitat de calcular els forjats amb connexió total (que es regeixen per connectors que treballen a tracció, col·locats de manera inclinada)



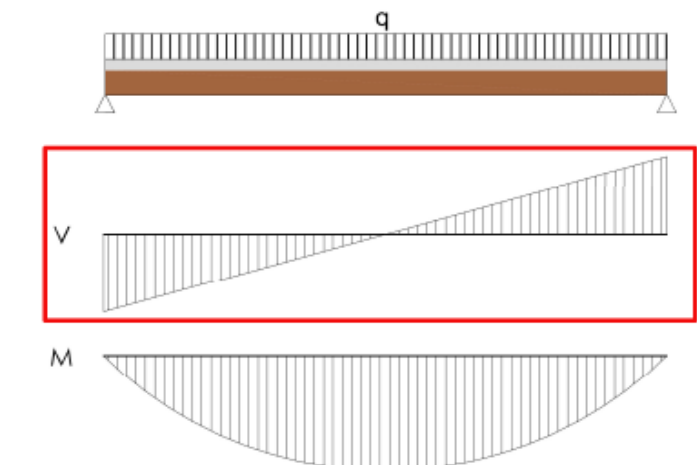
Il·lustració 4.7. Connexió total

- Possibilitat de calcular forjats amb connexió semirígida (que es regeixen per connectors que treballen a tallant, col·locats perpendiculars a la fibra)



Il·lustració 4.8. Connexió semirígida

La missió dels connectors, és cobrir l'esforç del tallant de la zona d'unió, de tal manera, que on el tallant és més elevat, hi hagi un número de connectors major que on el tallant és més baix.

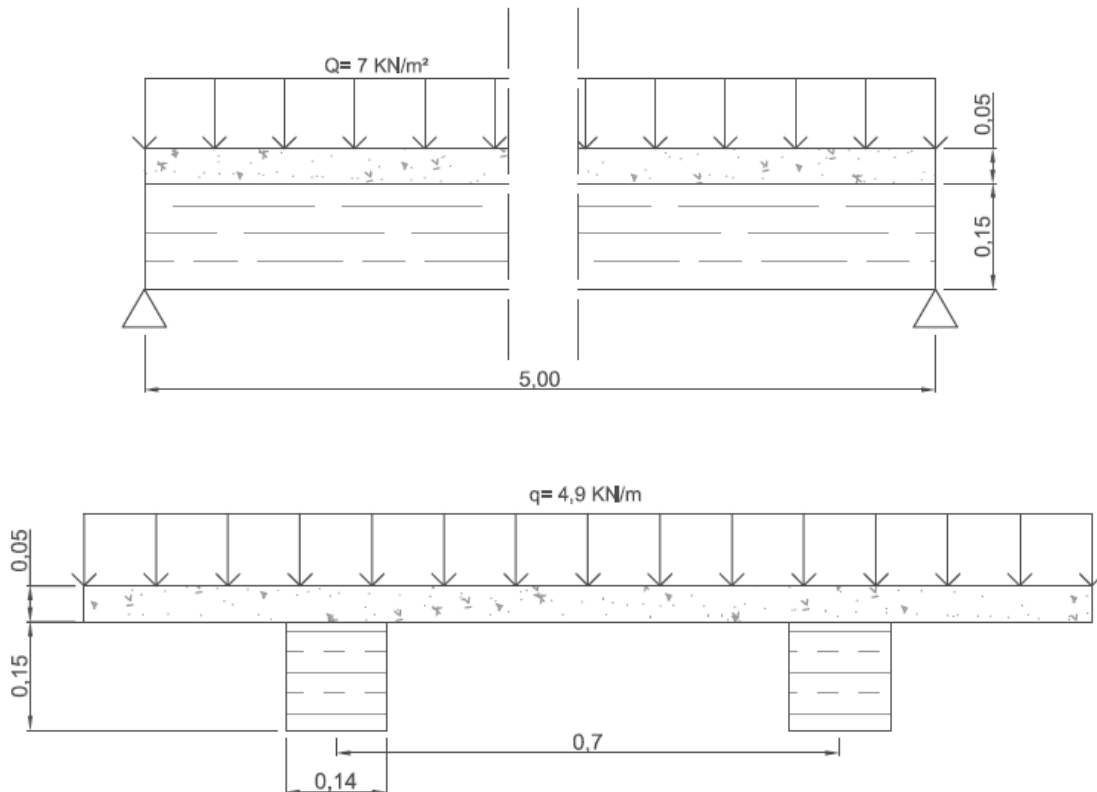


Il·lustració 4.9. Representació dels tallants i moments en el conjunt fusta-formigó

4.1.2- Procediment de càlcul de la secció mixta de fusta i formigó

Per tal de poder ordenar el càlcul, hem utilitzat el capítol 11 del llibre “Estructuras de madera” i també “Intervención en estructuras de madera”. Per tal de realitzar aquest càlcul ens basem en el mètode simplificat que s'exposa a l'annex informatiu de l'Eurocodi.

El problema plantejat consta d'un forjat constituït per biguetes de fusta separades 0,7m entre eixos, de classe resistent GL24, amb una secció de 140 x 150 mm i una llum de 5 m. El valor característic de les càrregues aplicades és de 7KN/m².



Il·lustració 4.10. Forjat de biguetes de fusta amb reforç de capa de formigó armat (cotes a m)

Comprovació de l'estat inicial.

Tallants de la biga

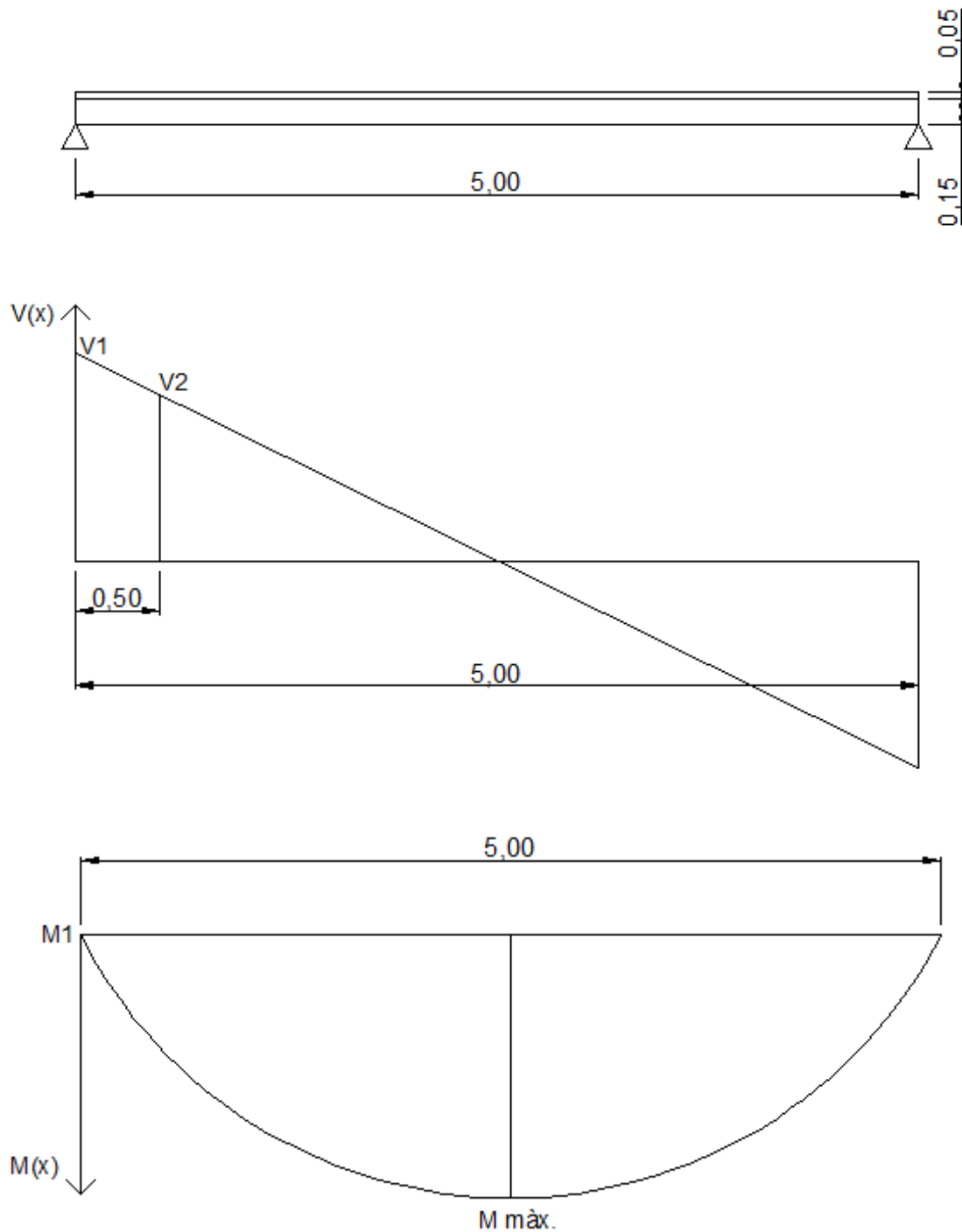
$$V1 = q \times L / 2 = 4,9 \times 5 / 2 = 12,25 \text{ KN}$$

$$V2 = V1 - S_{q;0-0,5} = 12,25 - (4,9 \times 0,5) = 9,8 \text{ KN}$$

Moments de la biga

$$M1 = 0 \text{ KNm}$$

$$M \text{ máx.} = q \times L^2 / 8 = 4,9 \times 5^2 / 8 = 15,31 \text{ KNm}$$



Il·lustració 4.11. Esquema biga i diagrama de tallants i moments de la biga

El mòdul resistent de la secció de fusta és el següent:

$$W = (b \times h^2) / 6 = (140 \times 150^2) / 6 = 525000 \text{ mm}^3$$

La tensió de flexió aplicada i la resistència de càlcul,

$$\sigma_f = M_{\text{màx.}} / W = 15,31 \times 10^6 / 525000 = 29,16 \text{ N/mm}^2$$

La fletxa considerant la càrrega i agafant el valor mig del mòdul d'elasticitat de la classe GL24 ($E=11600 \text{ N/mm}^2$):

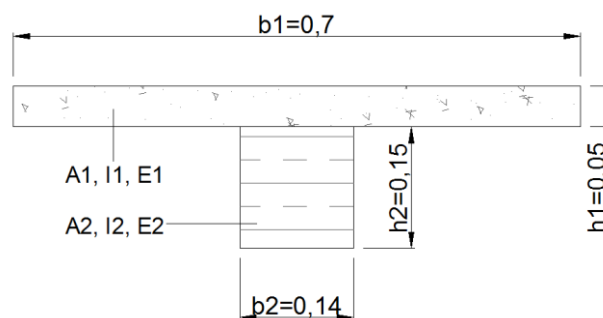
$$f = (5/384) \times (q \times L^4 / E \times I) = (5 \times 4,9 \times 5000^4) / (384 \times 11600 \times 140 \times 150^3 / 12) = 87,30 \text{ mm}$$

Per la connexió entre la fusta i el formigó, s'utilitzen tirafons de diàmetre $d=12 \text{ mm}$. Per el seu mòdul de lliscament K_{ser} utilitzarem la següent fórmula per una densitat mitjana de la fusta de $\rho_m=415 \text{ Kg/m}^3$.

$$K_{\text{ser}} = 0,125 \times d \times E = 0,125 \times 12 \times 11600 = 17400 \text{ N/mm}$$

Per el càlcul dels estats límits últims s'utilitzarà $K = 2 \times K_{\text{ser}} / 3 = 11600 \text{ N/mm}$

Els valors de les característiques mecàniques de la secció són els següents:



Il·lustració 4.12. Esquema biga i capa formigó

$$\text{Àrea formigó} = A_1 = 50 \times 700 = 35000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Inèrcia formigó} = I_1 = 700 \times 50^3 / 12 = 5,21 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\text{Mòdul d'elasticitat formigó} = E_1 = 27264 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Àrea fusta} = A_2 = 140 \times 150 = 21000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Inèrcia fusta} = I_2 = 140 \times 150^3 / 12 = 3,94 \times 10^7 \text{ mm}^4$$

$$\text{Mòdul d'elasticitat fusta} = E_2 = 11600 \text{ N/mm}^2$$

Com que la connexió de la fusta i el formigó no és rígida sinó que existeix un lliscament entre ells, es calcula un factor γ per penalitzar la rigidesa de la secció, suposant una separació dels connectors de $s = 100 \text{ mm}$

$$\gamma = 1 / (1 + ((\pi^2 \times E_1 \times A_1 \times s) / (K \times L^2))) = 1 / (1 + [(\pi^2 \times 27264 \times 35000 \times 100) / (11600 \times 5000^2)]) = 0,24$$

Distància a_1 i a_2 són les distàncies entre el centre de gravetat de la secció completa i el centre de gravetat de la figura de cada material.

$$a_2 = (\gamma \times E_1 \times A_1 \times (h_1 + h_2)) / (2 \times (E_1 \times A_1 \times \gamma + E_2 \times A_2)) = (0,24 \times 27264 \times 35000 \times (50+150)) / (2 \times (27264 \times 35000 \times 0,24 + 11600 \times 21000)) = 48,45 \text{ mm}$$

$$a_1 = ((h_1 + h_2) / 2) - a_2 = ((50+150) / 2) - 48,45 = 51,55\text{mm}$$

La rigidesa eficaç a flexió de la secció es dedueix de la següent equació:

$$(EI)_{ef} = E_1 \times I_1 + \gamma \times E_1 \times A_1 \times a_1^2 + E_2 \times I_2 + E_2 \times A_2 \times a_2^2 = 27264 \times 5,21 \times 10^6 + 0,24 \times 27264 \times 35000 \times 51,55^2 + 11600 \times 3,94 \times 10^7 + 11600 \times 21000 \times 48,45^2 = 1,77 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

Les tensions normals provocades per un moment flector es calculen de la següent manera:

$$\sigma_1 = \gamma \times E_1 \times a_1 \times M_{\max} / (EI)_{ef} = (0,24 \times 27264 \times 51,55 \times 15,31 \times 10^6) / (1,77 \times 10^{12}) = 2,91 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_2 = E_2 \times a_2 \times M_{\max} / (EI)_{ef} = (11600 \times 48,45 \times 15,31 \times 10^6) / (1,77 \times 10^{12}) = 4,86 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m1} = 0,5 \times E_1 \times h_1 \times M_{\max} / (EI)_{ef} = (0,5 \times 27264 \times 50 \times 15,31 \times 10^6) / (1,77 \times 10^{12}) = 5,89 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m2} = 0,5 \times E_2 \times h_2 \times M_{\max} / (EI)_{ef} = (0,5 \times 11600 \times 150 \times 15,31 \times 10^6) / (1,77 \times 10^{12}) = 7,52 \text{ N/mm}^2$$

La tensió màxima a la fusta és igual a la suma d'una tensió a tracció $\sigma_{m2} = 7,52 \text{ N/mm}^2$ i una altre de flexió $\sigma_2 = 4,86 \text{ N/mm}^2$. $7,52 + 4,86 = 12,38 \text{ N/mm}^2$

La tensió màxima de compressió del formigó serà igual a $\sigma_1 + \sigma_{m1} = 2,91 + 5,89 = 8,8 \text{ N/mm}^2$

La tensió tangencial màxima a la fusta per un tallant de càlcul de $V1 = 12,25 \text{ KN}$, s'obté:

$$T_{\max} = 0,5 \times E_2 \times h_2 \times V1 / (EI)_{ef} = (0,5 \times 11600 \times 150 \times 12250) / 1,77 \times 10^{12} = 0,0060 \text{ N/mm}^2$$

4.1.3- Capacitat de càrrega del mitjà de fixació en sol·licitació de tallant R_d

La capacitat de càrrega del tirafons de diàmetre $d = 12 \text{ mm}$, es pot determinar com si estigués treballant a tallant simple, ja que com he dit anteriorment com que aquests no uneixen les tres capes sinó que uneixen dues i dues multiplicarem el tallant simple per 2, i agafarem l'efecte de la capa de formigó com si es tractés d'una placa d'acer gruixuda, ja que el càlcul no especifica cap fórmula per formigó i creiem que la placa gruixuda d'acer és la que més es pot assimilar al comportament del formigó.

Les formules utilitzades són les següents:

$$R_d = 1,1 \times f_{h,1,d} \times t_1 \times d \times \left(\sqrt{2 + \frac{4 \times M_{y,d}}{f_{h,1,d} \times d \times t_1^2}} - 1 \right)$$

$$R_d = 1,5 \times \sqrt{2 \times M_{y,d} \times f_{h,1,d} \times d}$$

On:

- $f_{h,1,d}$ és la resistència de càlcul a l'aixafament de la fusta en N/mm^2 .
- t_1 és el gruix de la peça de fusta en mm.
- d és el diàmetre del tirafons en mm.

- $M_{y,d}$ és el moment plàstic característic del tirafons en Nmm

Primer de tot calculem la resistència de la fusta a l'aixafament:

$$f_{h,1,d} = K_{mod} \times \frac{f_{h,k}}{\gamma_M}$$

En el nostre cas no creiem que sigui necessari aplicar un coeficient de seguretat γ_M , ni el factor de modificació de la resistència per la classe de servei i duració de càrrega K_{mod} , ja que nosaltres fem una mostra/proveta, per tant, $f_{h,1,d} = f_{h,k}$. $f_{h,k}$ és el valor característic de la resistència al aixafament d'un fusta i ρ_k és la densitat mitjana de la fusta GL24

$$f_{h,k} = 0,082 \times (1 - 0,01 \times d) \times \rho_k$$

$$f_{h,k} = 0,082 \times (1 - 0,01 \times 12) \times 415 = \mathbf{29,95 \text{ N/mm}^2}$$

Tot seguit calculem el moment plàstic dels tirafons $M_{y,d}$

$$M_{y,d} = \frac{M_{y,k}}{\gamma_M}$$

$$M_{y,k} = 0,8 \times f_{u,k} \times d^3 / 6$$

$f_{u,k}$ és la resistència característica a tracció del tirafons i d el diàmetre del tirafons.

$$M_{y,k} = 0,8 \times 275 \times 12^3 / 6 = \mathbf{63.360 \text{ Nmm}}$$

Un cop tenim totes les dades necessàries podem resoldre les fórmules de la capacitat de càrrega dels mitjans de fixació de tipus tirafons.

$$R_{d1} = 1,1 \times 29,95 \times 150 \times 12 \times \left(\sqrt{2 + \frac{4 \times 63.360}{29,95 \times 12 \times 150^2}} - 1 \right) = 25.217,82 \text{ N}$$

$$R_{d2} = 1,5 \times \sqrt{2 \times 63.360 \times 29,95 \times 12} = 10.122,85 \text{ N}$$

La nostra proveta és doble però no és de doble tall a efectes de càlcul, ja que els tirafons no travessen el formigó de cap a cap. És per això que el càlcul és simple perquè son com dues parts simples. Per tant la R_d que ens ha sortit l'haurem de multiplicar per 2 ja que son dues simples juntes.

$$R_{d1} = 25.217,82 \times 2 = \mathbf{50.435,64 \text{ N}}$$

$$R_{d2} = 10.122,85 \times 2 = \mathbf{20.245,7 \text{ N}}$$

4.2- Creació del “setup”

4.2.1- Proveta

A l'hora de confeccionar un disseny per a les nostres provetes, ens basarem en provetes utilitzades en d'altres assajos realitzats. Aquestes ens serviran per tenir una referència a l'hora de confeccionar-les. Així doncs, els assajos dels quals hem trobat i dels quals ens basarem, seran els que al nostre entendre, tenen una millor explicació i són més fàcils d'entendre.

4.2.1.1- Classificació

Primerament cal diferenciar entre dos tipologies de provetes, segons hem observat en el CTE DB SE-M:

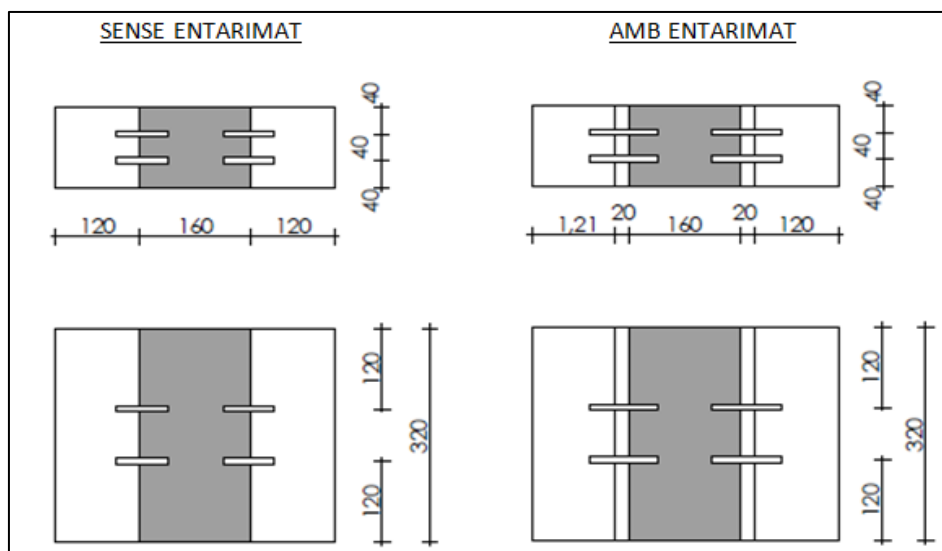
- Tallant simple
- Tallant doble

Tallant doble

Segons els articles i assajos trobats en estructures mixtes, amb el mètode de tallant doble, l'únic que trobem suficientment documentat per tal de treure'n profit de la seva informació, és el següent:

Estudio comparativo del comportamiento de forjados mixtos madera-hormigón y su simulación infografica por el MEF (Instituto de Ciencias de la Construcción “Eduardo Torroja”):

En aquest utilitzen dos tipologies de provetes fetes amb fusta-formigó. La diferència entre elles, és simplement l'entarrimat de 2 cm que col·loquen de separació entre seccions de diferent material:



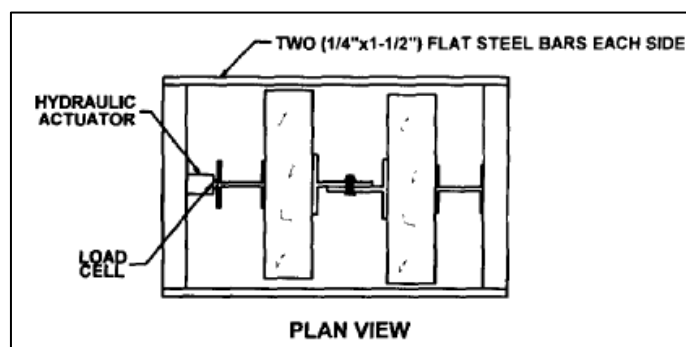
Il·lustració 4.13. Proposta de proveta d'estudi proposat nº1: Tallant doble

Aquestes tipologies de provetes, són també les que va utilitzar “Thorsten Faust”, l’any 2003, en l’estudi anomenat “Connectors for Timber-Lightweight Concrete Composite Structures”.

D’altra banda, també podem extreure informació del dimensionat per provetes d’estructures mixtes amb acer-formigó, ja que també ens poden servir de referència. De totes aquestes, posteriorment ja en veurem les condicions segons la normativa aplicable, però volem destacar un article i/o assaig del qual observem una diferència, que tot i tractar-se d’una proveta acer-formigó és prou interessant com per fixar-s’hi:

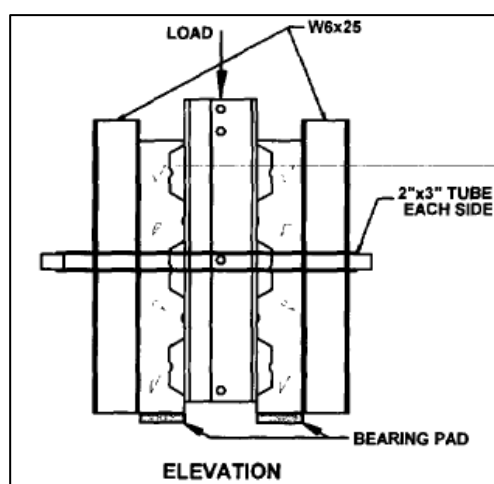
Strength of Shear Studs in Steel Deck on Composite Beams and Joists (W. Samuels Easterling, David R. Gibbings & Thomas M. Murray):

En aquest article trobem una proveta amb una característica diferencial respecte les altre observades. En aquesta, tal i com s’observa en les imatges, utilitza un sistema de pre-compressió:



Il·lustració 4.14. Proposta en planta de proveta d’estudi proposat nº2: Tallant doble

En la imatge superior observem la vista en planta i en la posterior observem l’alçat, de tal manera que també es pot veure per on apliquen la força.



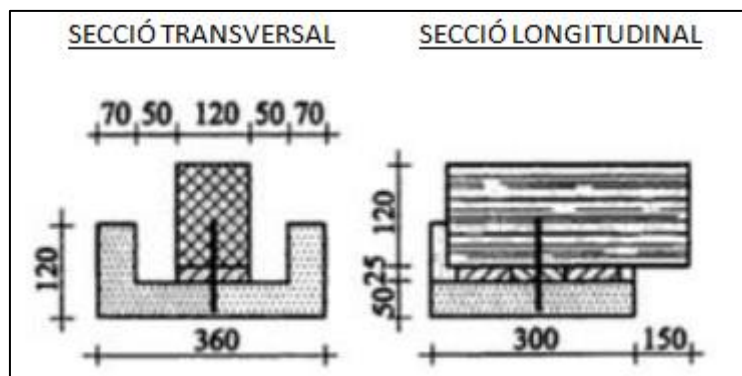
Il·lustració 4.15. Proposta de proveta en alçat d’estudi proposat nº2: Tallant doble

Tallant simple

D'assajos i/o articles amb tallant simple, dels quals n'hem pogut trobar informació, són els següents:

Experimental study on diferent dowel techniques for shear transfer in wood-concrete composite beams (N. Gattesco):

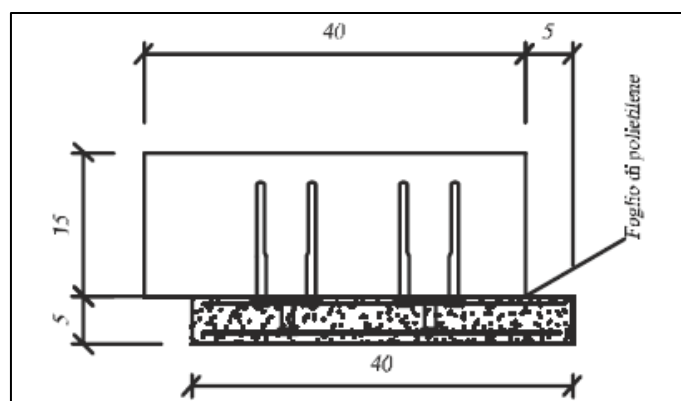
En aquest article, tot i no ser gaire clar, observem una tipologia de proveta de diferent format a les altres. És per això que trobem necessari estudiar-la. Aquesta té les següents dimensions i formes:



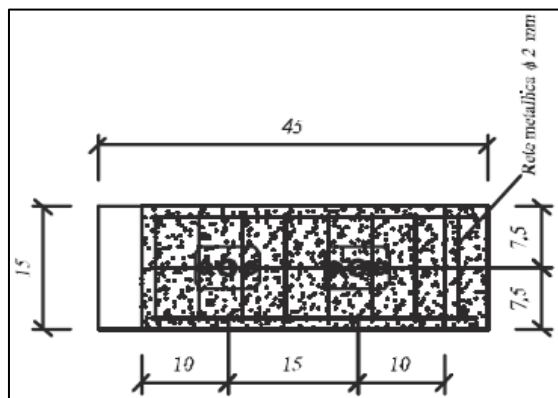
Il·lustració 4.16. Proposta de proveta d'estudi proposat n°3: Tallant simple

Relazio sulle prove eseguite su giunti misti legno-calcestruzzo realizzati con connettori tipo "Tecnaria connettore Base" e "Tecnaria connettore Maxi" (Istituto per la Ricerca su l Legno):

En aquest assaig italià, observem una tipologia de provetes molt ben documentades i interessants, de les quals les seves dimensions, tot i tractar-se de dos provetes amb connectors diferents, són les mateixes:



Il·lustració 4.17. Proposta de proveta en alçat d'estudi proposat n°4: Tallant simple

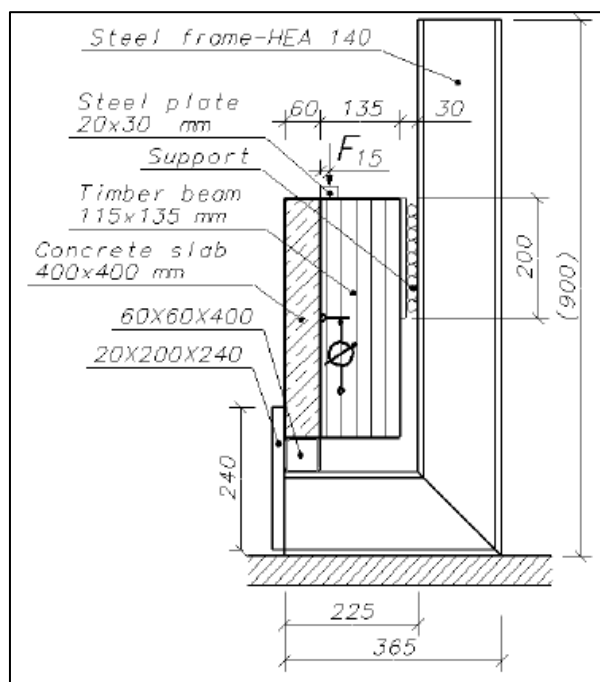


Il·lustració 4.18. Proposta de proveta en planta d'estudi proposat nº4: Tallant simple

En les imatges, observem tant les dimensions en planta, com en secció.

Development of Prefabricated Timber-Concrete Composite Floors (Elzbieta Lukaszewska):

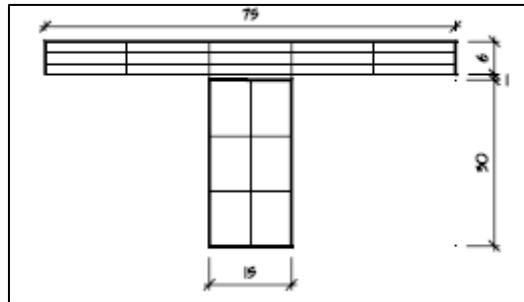
En aquesta tesis doctoral, s'hi observa un apartat per la configuració de l'assaig a cisallament, on hi trobem una tipologia de proveta, semblant a l'anterior. Aquesta es tracta d'una xapa de formigó de 60x400x400mm³ i un element de fusta de 115x135x400mm³. En la següent il·lustració s'hi pot apreciar (també tot l'equip d'assaig):



Il·lustració 4.19. Proposta de proveta en alçat d'estudi proposat nº5: Tallant simple

Estructuras Mixtas de Hormigón – Madera Aplicadas a la Rehabilitación de Forjados (José Luís Pardo Ros):

En aquesta tesis doctoral, no realitzen un assaig de cisallament, però per tal de fer el càlcul (realitzat amb el SAP 90), utilitzen una secció modelitzada amb dimensions molt simples, per l'entrada de dades amb el programa de càlcul, que ens podria servir a nosaltres:



Il·lustració 4.20. Proposta de proveta d'estudi proposat nº6: Tallant simple

4.2.1.2- Condicions normatives

Al tractar-se d'un element singular de fusta i formigó, i no existir cap tipus de normativa dedicada especialment a les dimensions de provetes d'assaig compostades de fusta i formigó, ens hem basat amb dos normatives ja esmentades:

- Eurocodi 4: En l'annex B, on parla dels assajos normalitzats a cisallament per a connectors en elements de acer-formigó, parla de les dimensions de les provetes que s'han de realitzar.
- UNE EN 26891: Parla de les dimensions de les provetes per fer l'assaig de cisallament al que es refereix, tot i tractar-se de provetes fetes exclusivament de fusta.

Així doncs, ens basarem en aquestes dues normatives, com a referència per condicionar les nostres provetes el millor possible.

EUROCODI 4

Segons l'eurocodi 4 (annex B.2.2 "Disposición de los ensayos"), la geometria es tracta d'una variable a investigar, tot i que diu que per als assajos de cisallament normalitzats, les dimensions de la proveta, la secció d'acer i l'armadura haurien de ésser les indicades en la figura B.1, i el rebaix de les lloses de formigó (que és la part que més ens interessa) és opcional.

A la següent línia, però, marca una relació entre les lloses de formigó i l'armadura:

- La longitud L de cada llosa (veure Il·lustració 40 del projecte) s'ha de relacionar amb la separació longitudinal dels connectors a l'estructura mixta.
- L'amplada b de cada llosa (veure Il·lustració 40 del projecte) no ha de ser major que l'amplada eficaç de la llosa de la biga.

- L'espessor h de cada llosa (veure Il·lustració 40 del projecte) no ha de ser major que l'espessor mínim de la llosa de la biga.

UNE EN 26891

Segons la norma UNE EN 26891 (fusta-fusta amb fixacions metàl·liques), que es tracta de l'altre normativa a la qual ens referíem diu en el seu apartat 6 ("formas y dimensiones de las provetas"), que les unions que s'assagin hauran de ésser de dimensions i formes tals, que realment es pugui obtenir la informació necessària de la resistència i lliscament de les unions, i que aquesta informació detallada referent a la forma i dimensions de les mostres d'assaig adequades per a diferents tipus d'elements de fixació mecànics, s'ofereixen a Normes Internacionals separades han de ser dimensionades adequadament segons realitat.

Un altre apartat que creiem important per la geometria de les provetes, es tracta de l'acondiciament d'aquestes, on en parla aquesta mateixa UNE, al seu apartat 5. D'aquest punt, però només en volem treure el següent; que l'acondiciament de les provetes haurà d'efectuar-se de forma que les condicions de l'assaig, corresponguin realment amb les condicions de les unions en les estructures.

4.2.1.3- Evolució de les propostes:

4.2.1.3.1- Proposta 01

Així doncs, basant-nos i seguint les condicions de la geometria anteriors, i fent una comparació dels exemples de provetes explicats, hem decidit fer una proposta inicial, que consistirà en una proveta realitzada per assajar a tallant simple, és a dir un element asimètric. Hem decidit aquesta tipologia, ja que, a simple vista es tracta d'un element més lleuger, més barat i sobretot, més fàcil i ràpid de construir que l'altre tipus on hauríem de connectar dos elements de fusta a una element de formigó.

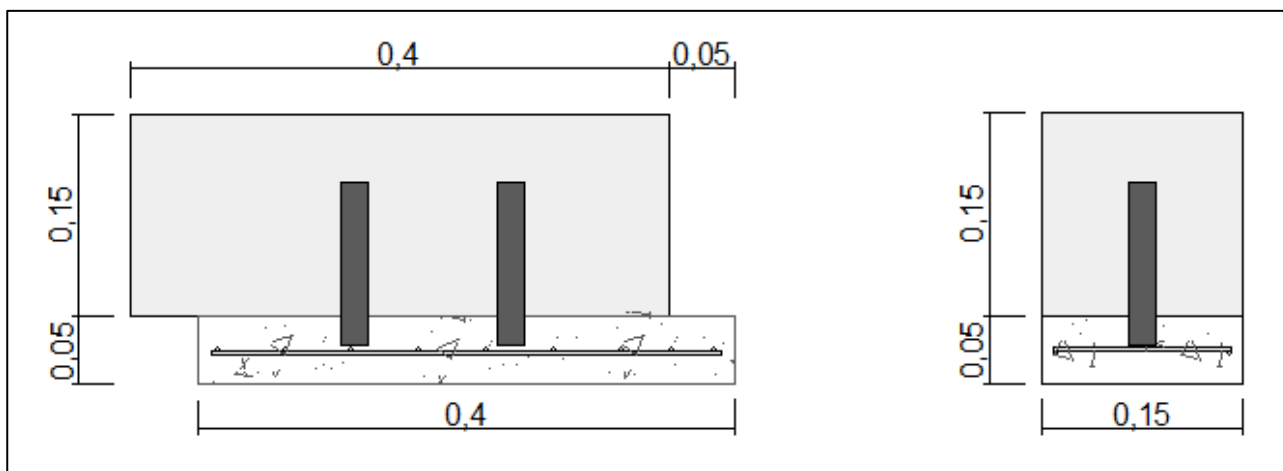
Proveta 01:

La nostra proveta es basarà en un element asimètric format per un element de fusta de 15x15x40cm, fixat a una lloseta de formigó de 5x15x40 cm mitjançant dos connectors, tal i com fan a l'estudi italià "*Relazione sulle prove eseguite su giunti misti legno-calcestruzzo realizzati con connettori tipo Tecnaria connettore Base*", ja que, a part de ésser la tipologia de proveta que s'adheria més als condicionants de geometria, de ser fàcil i ràpida d'executar, també en podem fer un càlcul teòric assolible per nosaltres.

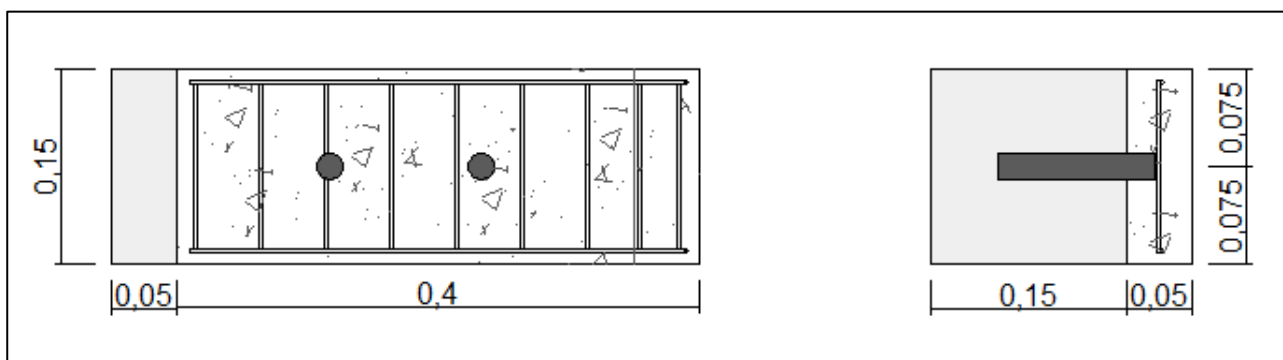
Tal i com marcar en l'apartat B.2.3 ("Preparación de las probetas") de l'annex B de l'Eurocodi 4, en el punt 2 diu que s'hauria d'evitar l'adherència entre la superfície de contacte entre cada element. Així doncs, com fa Elzibeta Lukaszewska, interposarem una làmina de polietilè entre els dos elements, per evitar aquesta adherència.

Un altre fet a remarcar és la pre-compensió que utilitzaven en un dels estudis abans comentats. El simple fet d'aquesta pre-compensió, és evitar efectes de vora, ja que, si apliquéssim càrrega, tot tendria a obrir-se i les fixacions fallarien. Així doncs, d'aquesta manera, confinem el material, però no ens repercuteix. Això sí, a l'hora de pensar l'equip d'assaig, si el volem realitzar verticalment, haurem tenir-ho present.

Aquí deixem il·lustrat la geometria de la proveta i per més informació consultar plànol 1.1 de l'annex 1:



Il·lustració 4.21. Proposta proveta 01 (Alçat i secció)

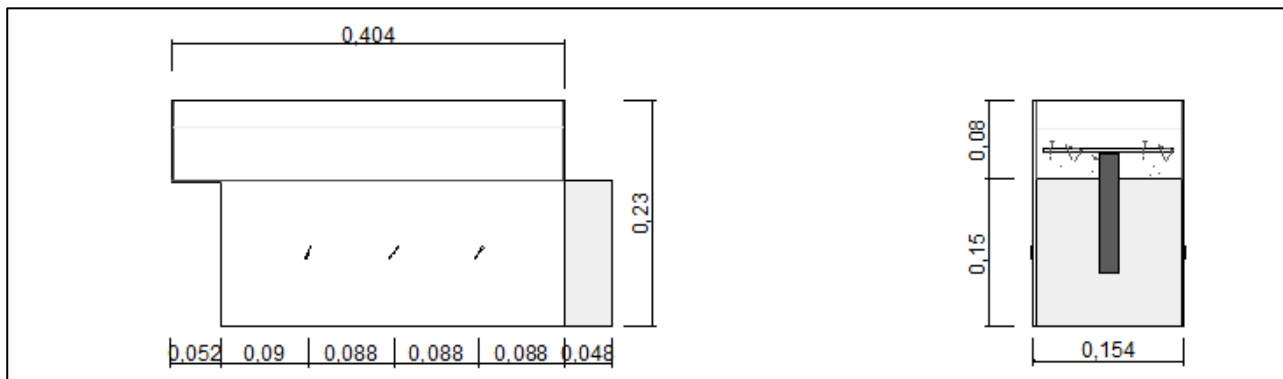


Il·lustració 4.22. Proposta proveta 01 (Planta i secció)

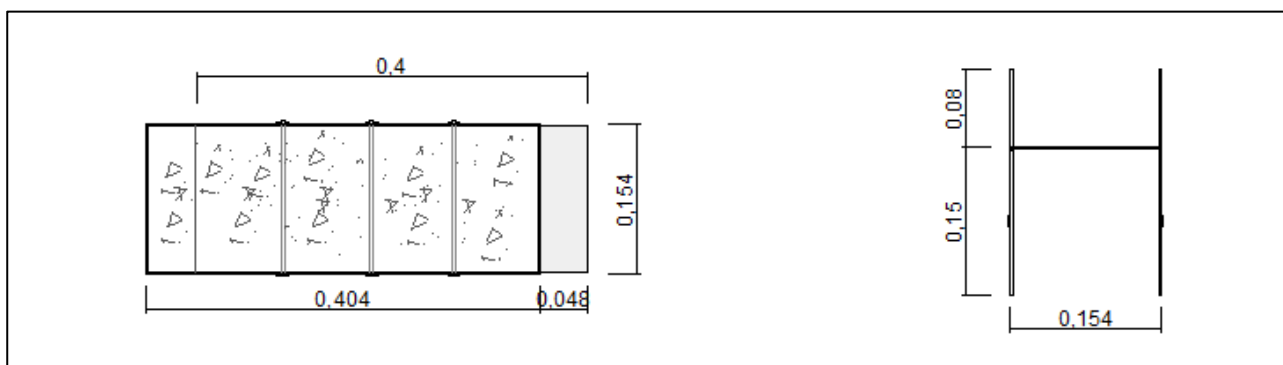
Aquesta proveta, l'hem dissenyat en paral·lel amb l'equip d'assaig, de tal manera que hem pogut resoldre més fàcilment els inconvenients esmentats.

Encofrat 01:

Per tal de poder executar la xapa de formigó, necessitarem un encofrat. La nostra solució a aquest problema, serà la següent:



Il·lustració 4.23. Proposta encofrat 01 (Alçat i secció)



Il·lustració 4.24. Proposta encofrat 01 (Planta i secció)

Per executar un element de formigó armat exacte, col·locarem tres parells de serjants regulables mitjançant l'ajuda de barres roscades (que passarem per dins la fusta) perquè estrenyïn l'encofrat contra l'element de fusta que farà de suport, evitant així fugues de formigó.

Les fulloles de fusta que hagin de suportar el pes de la fullola inferior de 5 cm que servirà de suport per al gruix de formigó sortint, tindran uns petits encaixos, per tal de poder formigonar sense pèrdues d'aquest.

Utilitzarem claus per unir les esquadres de les fustes. Es tractarà d'uns claus molt prims i resistents que es quedaran ja muntats fins que l'ús reutilitzat del encofrat no sigui possible.

Per tal d'entendre el sistema i tenir-ne més informació, a l'annex 1 del treball hi trobem el plànol 1.2.

Peròs i contres proposta 01:

La primera proveta proposada però, un cop estudiada ens han sorgit els diferents inconvenients, qüestions, problemes, etc:

- Dificultat de col·locació d'encofrats per formigonar: Al tenir un element de formigó armat sortint, es fa una mica difícil crear un encofrat amb molta vida útil, que serveixi per altres encofrats. A més, si pensem amb la comercialització d'aquest, hauria de ser barat, però a l'hora fet amb un material senzill (i barat clar) i fàcil de muntar. Així doncs, l'encofrat que proposem de fusta, tindria un cost reduït si el comparem amb l'acer, però massa senzillesa i poc fiable.
- Massa utilatge per encofrar: Al ésser una proveta amb aquestes característiques de dimensions, és necessari més material d'encofrat del que seria necessari a un altre tipologia de proveta o més treball del compte. Estem parlant de la forma que hem d'aconseguir en les fulloles d'encofrat, en els serjants que hem d'utilitzar per collar aquest encofrat a la proveta, en els encaixos que hem de fer en les fulloles per poder confinar bé el formigó...
- Dificultat de col·locació dins l'equip per la seva forma asimètrica: Com venim comentat, la proveta té certa forma asimètrica, la qual ens provoca una dificultat extra a l'hora de col·locar-la dins un equip d'assaig, ja sigui perquè no té un punt de suport per si mateixa, o perquè al tenir un element sortint per cada costat, fa que col·locar-la en la posició desitjada sense cap mena de suport sigui difícil. A més veiem difícil mantenir la verticalitat total mentre se l'hi esta aplicant una càrrega, mentre es dur a terme l'assaig, ja que si aquesta no es mantenia podrien crear-se moments que influïrien en el resultat.
- Contacte de l'equip amb l'element de fusta de la proveta: Aquesta tipologia de proveta, si la col·loquem, tenim un contacte directe de l'element de fusta amb l'equip d'assaig. Hauríem d'evitar-ho d'alguna manera.

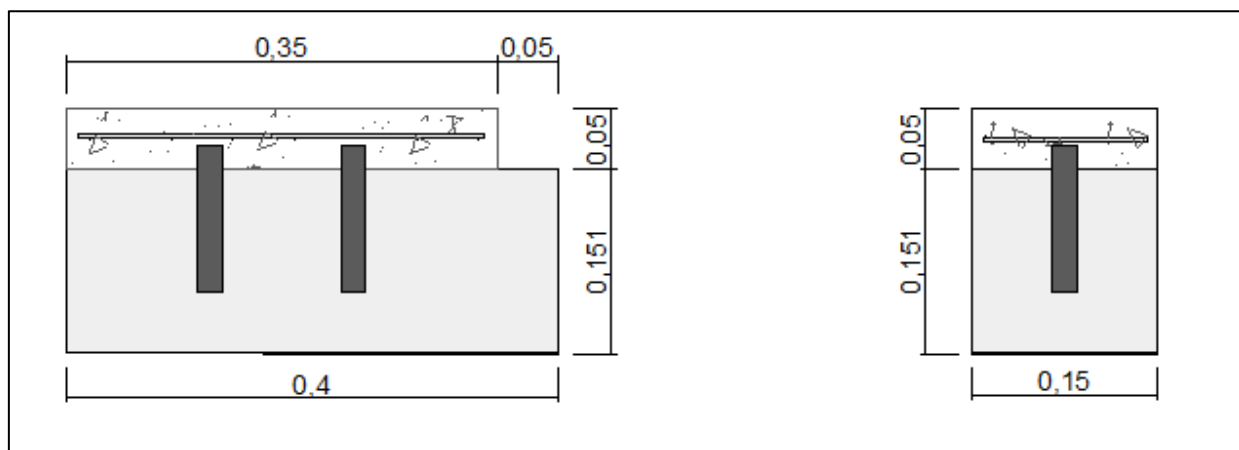
Així doncs, per solucionar aquests problemes, hem pensat i dissenyat un altre tipus de proveta més adient per l'assaig que volem realitzar.

4.2.1.3.2- Proposta 02

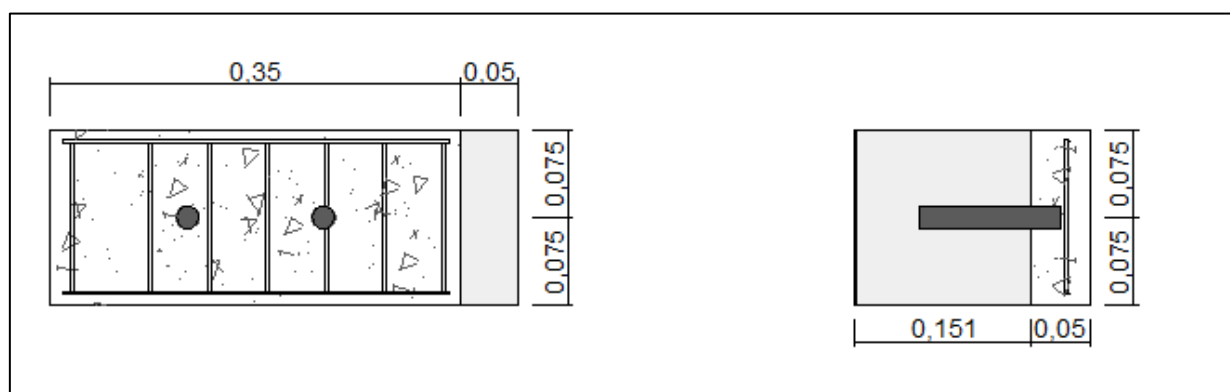
La segona proposta, segueix els esquemes de la proveta primerament dissenyada, però creiem que és suficientment adient per a la tipologia d'equip per l'assaig que volem crear.

Proveta 02:

La proveta 02, serà dimensionada de la següent forma:



Il·lustració 4.25. Proposta proveta 02 (Alçat i secció)

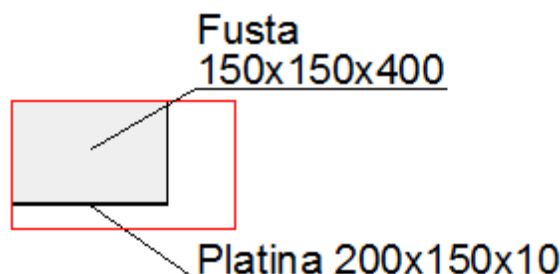


Il·lustració 4.26. Proposta proveta 02 (Planta i secció)

Com s'hi pot observar el problema del volum sortint de formigó, l'hem eliminat, de tal manera que per solucionar-ho, hem substituït aquest element sortint que formava part de la proveta, per un altre element que no formarà part de la proveta, sinó de l'equip d'assaig. Aquest serà un suport massís metàl·lic que farà la funció que havia de fer aquest gruix de formigó que sobresortia. D'aquesta forma, també serà més fàcil col·locar l'element sencer dins l'equip d'assaig i resolem la qüestió de l'encofrat, ja que, no serà tant difícil de confeccionar.

A l'annex 1, plànol 2.1, podem observar més detalls sobre la proposta en qüestió.

En les il·lustracions de la proposta 02, s'hi observa que l'element de fusta ara fa 15,1 cm. La veritat no és aquesta. L'element de fusta, segueix fent 15 cm exactes. Així que, per la dimensió dels dibuixos, no s'hi aprecia bé, però per evitar que hi hagi un contacte no desitjat entre els rodets d'acer de l'equip d'assaig i l'element de fusta de la proveta, col·locarem una platina per tal d'evitar-ho:



Il·lustració 4.27. Detall platina de proveta 02

Encofrat 02:

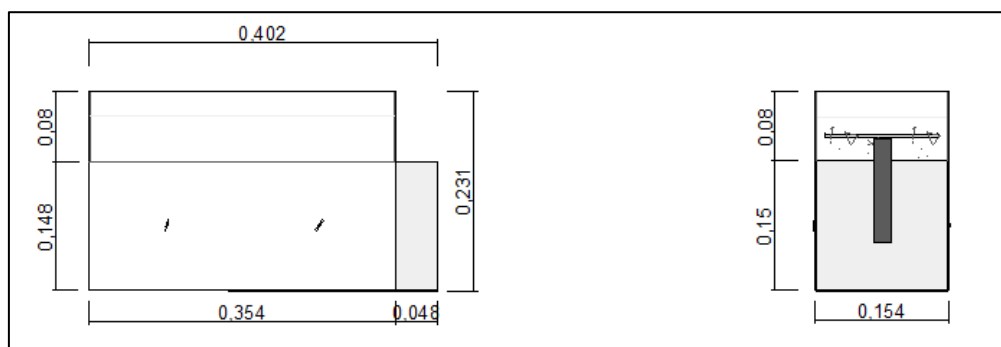
D'altra banda, fent referència a l'utilatge de l'encofrat, per tal d'executar la xapa de formigó armat, utilitzarem només dos serjants per unir les fulloles que farem servir d'encofrat. A més al tenir una volumetria més senzilla, l'encofrat és igualment senzill.

Es tracta de utilitzar unes fulloles per fer d'encofrat. Com a suport utilitzarem l'element de fusta de tal manera que només necessitarem dos tipus de mesures:

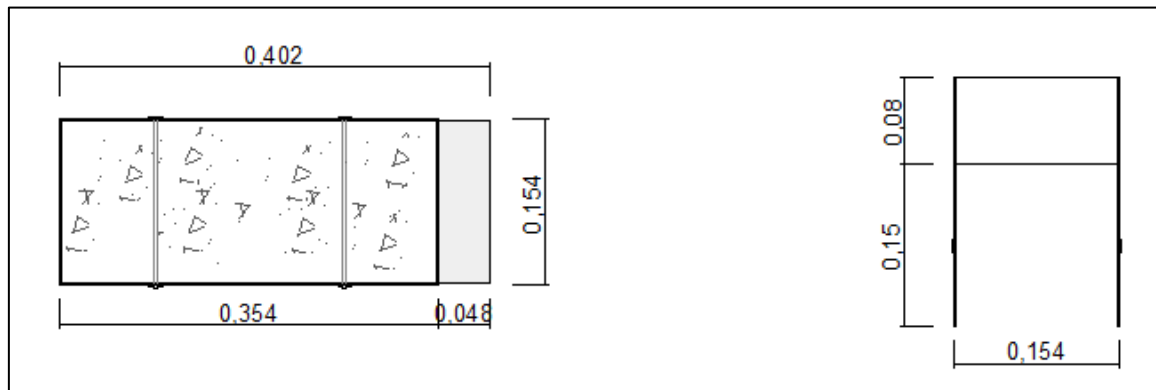
- 2 unitats de 23x35,4x2cm
- 2 unitats de 8x15,4x2cm

Es tracta d'unes fulloles bastant gruixudes. D'aquesta manera, es podran reutilitzar més d'un cop i no haurem de fer-hi encaixos, ja que, no tindran cap punt d'encofrat per la part inferior el formigó. Si parlem dels claus, en farem el mateix ús que n'hem explicat amb l'anterior encofrat de proveta, per tal d'unir les esquadres de les fustes. I per reduir utilatge, col·locarem dos serjants regulables perquè estrenyïn l'encofrat contra l'element de fusta que farà de suport, ja que seran més que suficients.

A la següent il·lustració podem observar-ne les noves dimensions i el sistema:



Il·lustració 4.28. Proposta encofrat 02 (Alçat i secció)



Il·lustració 4.29. Proposta encofrat 02 (Planta i secció)

A l'annex 1 hi podem trobar el plànol 2.2 d'aquest.

Però i contres proposta 02:

L'anterior proveta feta per fer l'assaig a tall simple, era bona. A més d'ésser una tipologia de proveta que es basava segons la realitat en la seva forma i en les seves dimensions, era molt factible de comercialitzar i d'entendre'n el funcionament d'aquesta dins l'equip. El problema però, ha sigut que al estudiar les forces que actuarien en el moment d'aplicar la càrrega, hem observat varis problemes:

- Creació d'un moment: A l'hora d'aplicar la càrrega, un quart de la força aplicada, l'havia d'aguantar lateralment l'equip d'assaig, de tal manera que havíem de col·locar reforços per evitar que es doblegués l'element en qüestió de l'equip d'assaig.
- Efectes de vora: Evitar l'efecte de vora, en una proveta asimètrica, és difícil, ja que les dimensions i forma, exigeixen cert utilatge ben compenetrat. El principal problema però, sorgeix a l'hora de col·locar l'equip anti-moviment de vora dins l'equip d'assaig, ja que, és necessari molt més utilatge que no pas en el cas que féssim una proveta per tall doble.
- Moviment de la proveta: Per últim, si aquesta proveta, no està ben confinada dins l'equip, pot ser que aquesta, tendeixi a inclinar-se per el seu propi pes i creï així un altre moment, el qual, no tindriem calculat.

4.2.1.3.3- Proposta 03

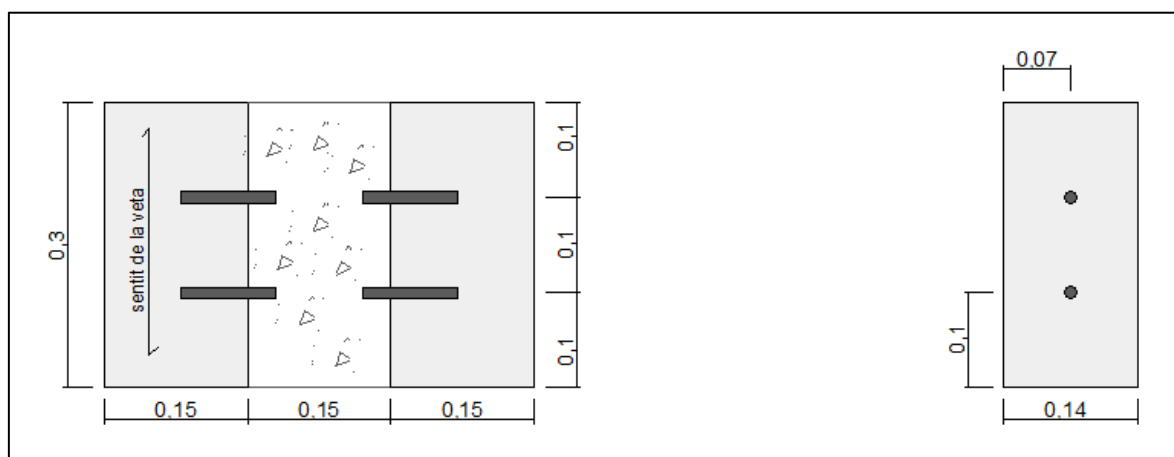
Segons els problemes esmentats anteriorment, decidim no seguir amb la idea de realitzar provetes asimètriques i davant el problema, ens sorgeix la solució de realitzar una proveta amb doble connexió, però estudiant-la a tall simple.

Proveta 03:

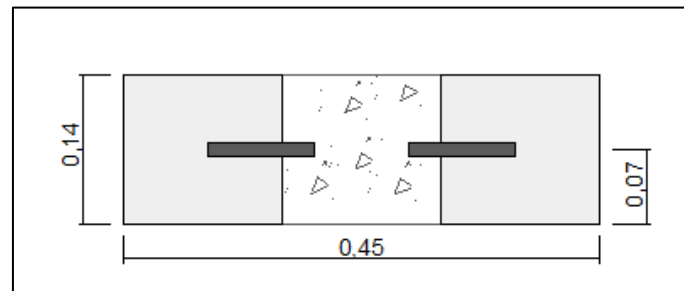
La proveta, no és que passi a ésser una proveta per estudiar-la a tall doble, sinó que es tracta d'una proveta que treballarà a doble tall simple. Per confeccionar una proveta d'aquestes característiques, només ens hem basat amb la tipologia de proveta comentada anteriorment, de l'estudi comparatiu de l'Institut Torroja. A l'hora de confeccionar-la, hem dissenyat unes dimensions tals que s'assemblin a les que ja utilitzàvem amb les dues anteriors propostes plantejades, fent-les servir de suport i referència. El dimensionat de la proveta, és el següent per varies raons:

- Referència de càlcul: Per tal de tenir una altra referència a favor, i que ens ajudés a diferenciar si el resultat era correcte o no, les dimensions de cada element, les hem fet semblants a la tipologia de proveta a tall simple.
- Límit d'espai de l'equip d'assaig: Al tenir limitat l'espai d'assaig, per les dimensions de la premsa hidràulica, reduïm l'alçada de la proveta respecte les altres dues propostes.
- Dimensions d'encofrat: A més, les dimensions, també aniran donades per el tipus d'encofrat que utilitzarem, ja que, mirant per el laboratori, hem trobat un sistema d'encofrat del formigó simple, senzill i reutilitzable.

Així doncs, les dimensions i formes de la nova i definitiva proveta, seran aquestes:



Il·lustració 4.30. Proposta proveta 03 (Alçat i secció)



Il·lustració 4.31. Proposta proveta 03 (Planta)

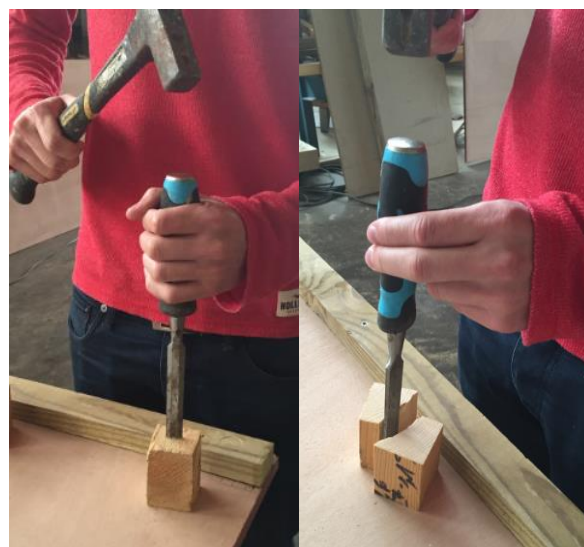
Podem trobar més informació observant el plànol 3.1 dins l'annex 1.

Els components que conformaran la proveta seran:

- x2 unitats element de fusta
- x1 unitat element de formigó
- x4 unitats tirafons

Així doncs, els dos elements exteriors, es tracten de les 2 unitats d'elements de fusta, a les quals, hi integrarem la unió mecànica escollida, que en el nostre cas són dos tirafons. Aquests tirafons formaran la connexió entre els elements de fusta i el formigó (que serà l'element central de la proveta. Així doncs, es tractarà d'una proveta per trencar a doble tall simple. És per aquesta raó que deixem 5cm de distància entre caps de tirafons, ja que, així no interferiran entre ells.

La veta de la fusta serà perpendicular al clavament del tirafons, ja que d'aquesta manera l'element de fusta tindrà més capacitat de suportar el clavament d'aquest (tirafons). Al ésser perpendicular al tirafons, anirà en direcció contra el terra tenint així, més capacitat de suportar la força que li exigirà la màquina, és a dir, a aixafar-se contra el terra. Ho comprovem en les següents il·lustracions:

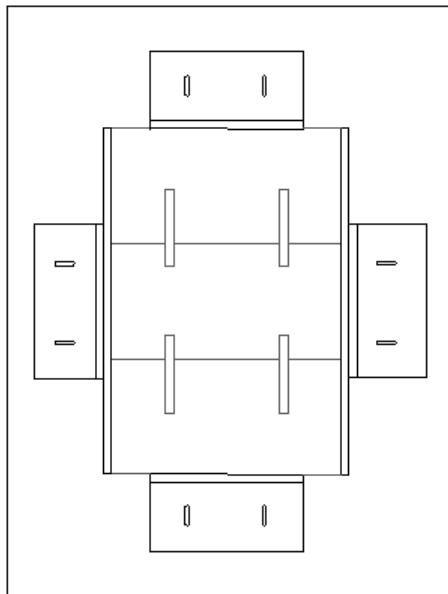


Il·lustració 4.32. Clavament en sentit perpendicular (1) i clavament en sentit paral·lel a les fibres (2)

Encofrat 03:

Per poder executar el formigó armat, utilitzarem un mètode d'encofrat utilitzat en un Treball de Final de Grau anterior, realitzat per Sònia Sánchez Vilamitjana i Joaquim Romero González, anomenat "Estudi del comportament de la fàbrica multicapa amb diferents gruixos de peça". Aquest mètode es basa en quatre "L" que es collen a una platina inferior que serveix per evitar que pugui escapar-se el formigó per sota.

L'encofrat del que parlàvem, és el següent:



Il·lustració 4.33. Esquema Autocad i fotografia proposta encofrat 03

Observem en format fotografia i en format Autocad l'encofrat del que parlàvem. Com podem observar en el dibuix en Autocad, col·locarem la mostra ajustada entre les "L", de tal manera que ens quedarà una cavitat. És en aquesta, que hi tirarem el formigó i els mateixos elements de fusta ens faran d'encofrat longitudinal, junt amb unes platines que col·locarem recolzades a les "L" perquè facin de tap transversal i així poder enrasar el formigó a l'alçada de la cara superior de la fusta.

Aquesta doncs, és una forma fàcil i senzilla d'executar les provetes que volíem fer i a més es tracta d'un motlle d'encofrat fàcilment recuperable. A l'annex 1 podem trobar-ne el plànol 3.2 per una millor explicació.

4.2.1.4- Denominació i classificació de proposta escollida

Com hem comentat anteriorment, realitzarem 12 provetes per a poder-les assajar. Aquestes però, no seran totes iguals. Per tal de tenir una variació en els resultats d'aquest projecte, plantegem una distribució dels elements de fixació mecànics. Així doncs, hem separat aquestes 12 provetes, en 4 grups, tenint cada grup 3 provetes iguals. Aquests grups, els hem realitzat en funció de la

distància entre els elements de fixació segons càlculs estipulats de normativa. Així, l'únic factor canviant és aquesta distància entre les fixacions de formigó i fusta, però és un factor prou important com per alterar els resultats.

Per tal de tenir uns valors més aproximats a la realitat, hem realitzat la classificació amb dues distàncies extretes de normativa (4,2 i 6 cm) i hi hem afegit dues distàncies més (10 i 15 cm). Aquestes dues distàncies, són les que normalment s'utilitzen a obra, segons ens va recomanar en Jordi Figueres (Membre de la AEC).

Així doncs, les famílies de provetes que tindrem i les seves denominacions seran les següents:

Provetes "PT1"

Es tracta de les provetes amb una distància entre elements de fixació de 4,2 cm. Són les següents:

- PT1.01
- PT1.02
- PT1.03

Provetes "PT2"

Es tracta de les provetes amb una distància entre elements de fixació de 6 cm. Són les següents:

- PT2.01
- PT2.02
- PT2.03

Provetes "PT3"

Es tracta de les provetes amb una distància entre elements de fixació de 10 cm. Són les següents:

- PT3.01
- PT3.02
- PT3.03

Provetes "PT4"

Es tracta de les provetes amb una distància entre elements de fixació de 15 cm. Són les següents:

- PT4.01
- PT4.02
- PT4.03

4.2.2- Equip d'assaig

A l'hora de dissenyar l'equip d'assaig, ens basarem també en equips utilitzats en assajos ja realitzats que hem trobat. Aquests, ens serviran per tenir una referència a l'hora de confeccionar-lo. Així doncs, ens basarem en els següents equips, els quals són els més rellevants.

A l'hora de classificar-los, segons hem observat en trobem dos tipus (segons en quina posició treballen). Així doncs, compararem els equips d'assajos verticals, amb els equips d'assajos horitzontals:

4.2.2.1- Classificació

Com hem comentat diferenciarem entre dos tipologies d'assajos, segons la posició de treball:

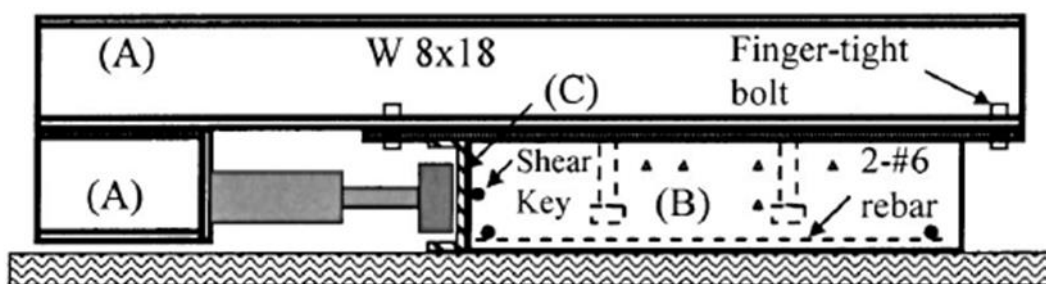
- Posició horitzontal
- Posició vertical

Posició horitzontal

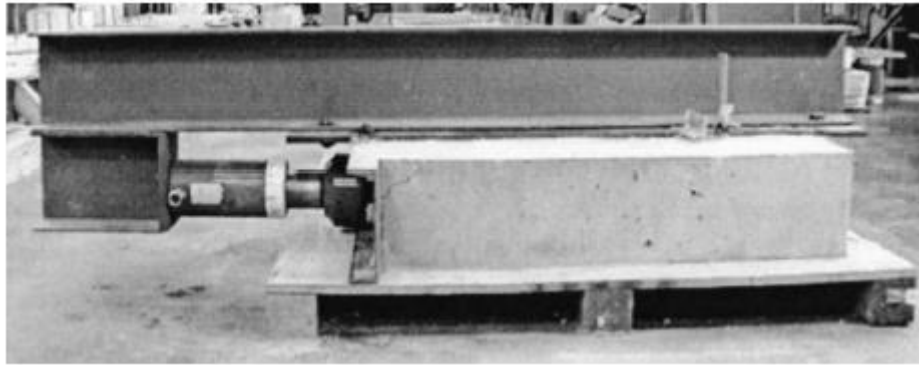
Segons els articles i assajos trobats en estructures mixtes, amb el mètode de treball horitzontal, l'únic que trobem suficientment documentat i interessant, per tal de treure'n profit de la seva informació, és el següent:

Composite shear stud strength at early concrete ages (Cem Topkaya, Joseph A. Yura & Eric B. Williamson):

En aquest article ens presenta una forma d'assaig molt interessant, tot i ésser per estructures mixtes de acer-formigó. Observem com el pistó va unit amb la biga d'acer que estem provant, aprofitant d'aquesta manera la proveta. Us deixem una il·lustració de l'esquema d'aquesta, i una imatge real en blanc i negre:



Il·lustració 4.34. Esquema proposta equip d'assaig d'estudi nº1



Il·lustració 4.35. Imatge proposta equip d'assaig d'estudi n°1 (posició horitzontal)

D'assajos per tall simple realitzats en horitzontal per estructures de fusta-formigó, no n'hem trobada cap, així doncs, aquest article és l'única referència d'assajos horitzontals.

Posició vertical

Per assajos de posició en vertical en tall simple, n'hem localitzat només dos. Aquests són els següents:

Informe de las pruebas efectuadas en juntas mixtas de madera-hormigón con conectores de perno i crampones (Tecnaria):

D'aquest equip, en tenim poca informació, però al utilitzar bona part de la informació per executar les provetes creades, és interessant fixar-s'hi tot i que és molt difícil esbrinar com funciona, ja que, només disposem d'aquesta imatge. Així doncs, l'equip que utilitzen és el següent:



Il·lustració 4.36. Imatge proposta equip d'assaig d'estudi n°2 (posició vertical)

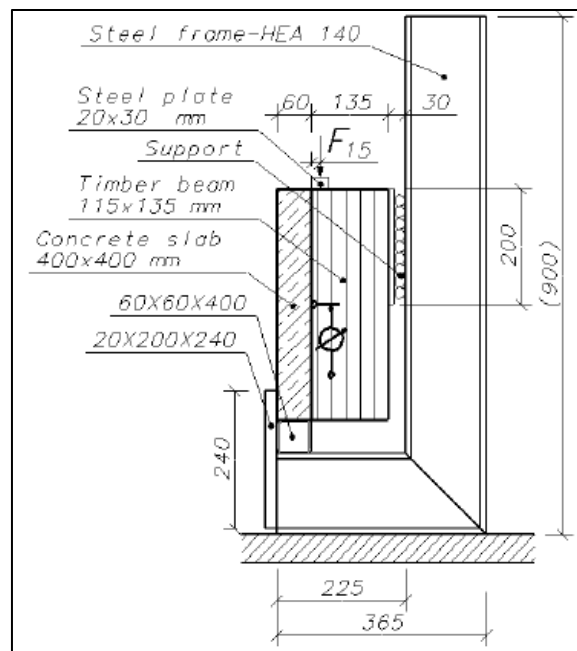
També hi apareix una fotografia de com va col·locat el transductor. Col·loquen la platina a la part de formigó, i el transductor a l'element de fusta:



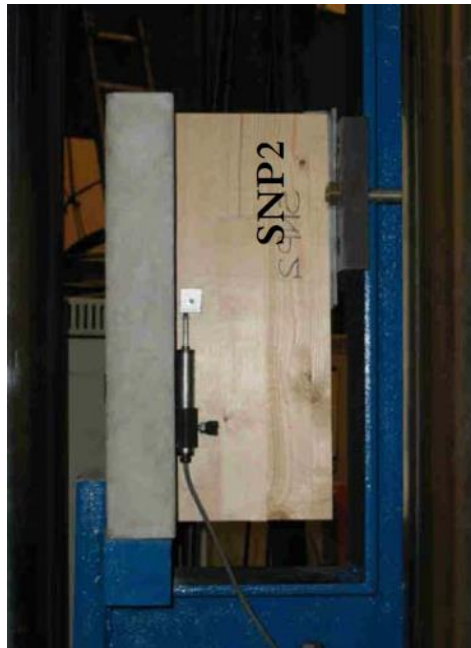
Il·lustració 4.37. Imatge col·locació del transductor de l'equip d'assaig d'estudi nº2 (posició vertical)

Development of Prefabricated Timber-Concrete Composite Floors (Elzbieta Lukaszewska):

Com en l'anterior cas, també hem fet referència a aquest, a l'hora de comparar les provetes. En aquest cas ho fem per a l'equip d'assaig. En aquest, ens dona una informació molt clara de les dimensions de l'equip, tot i que no ens explica com aplica la càrrega. Així doncs, ens servirà de gran ajuda, per tal de poder fabricar-ne un:



Il·lustració 4.38. Esquema Autocad d'equip d'assaig d'estudi nº 3 (posició vertical)



Il·lustració 4.39. Fotografia d'equip d'assaig d'estudi nº 3 (posició vertical)

L'únic problema aquí, és que no es pot apreciar bé, com s'ha de col·locar el transductor per poder obtenir-la la informació requerida. També ens deixa una imatge real, per una millor comprensió del sistema:

4.2.2.2- Condicions normatives

Al tractar-se d'un element tan singular i específic per a una tipologia de provetes que tampoc estan ben definides normativament parlant, no existeix cap normativa que en faci algun tipus de referència.

Així doncs, a diferència de la confecció de les provetes, no ens podem basar ni fer referència a cap norma. L'única opció és fer la comparació prèvia, i escollir una forma de realitzar aquest assaig, suficientment vàlida.

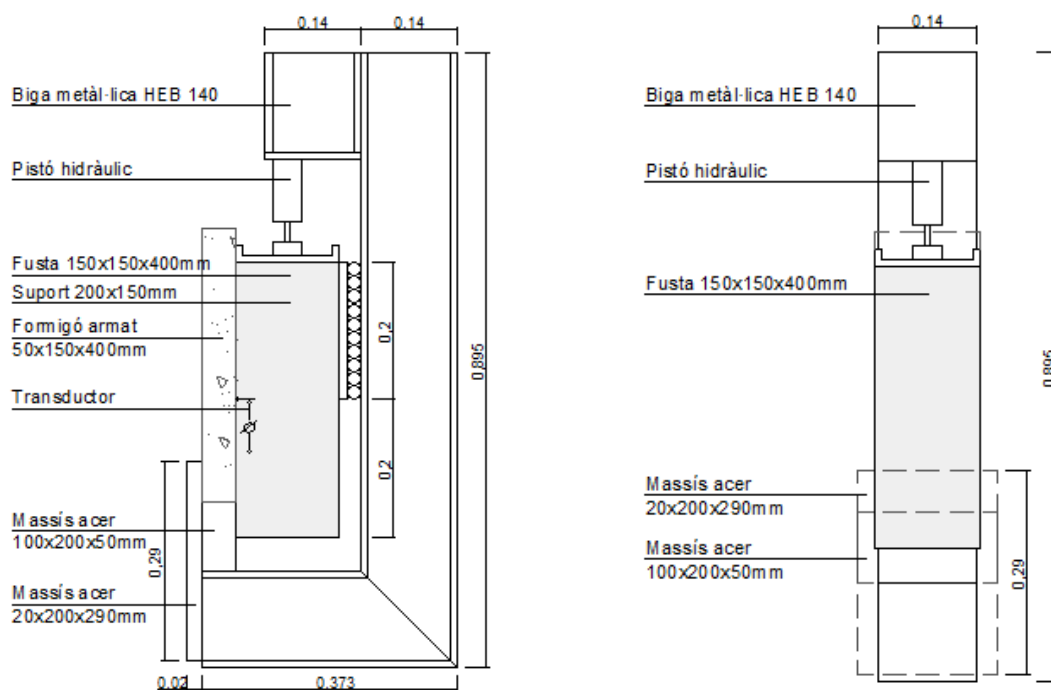
4.2.2.3- Evolució de les propostes

Les propostes de l'equip d'assaig, les hem fet sempre, a partir de la proveta que havíem pensat. Així doncs, tindrem una proposta d'equip d'assaig en funció de la proveta corresponent, tenint, la proposta 2, com una evolució de la proposta 1, i la proposta 3, un equip d'assaig, preparat per la proposta 3, que és diferent en mètode d'assaig.

4.2.2.3.1- Proposta 01

La proposta inicial, de l'equip d'assaig, és el realitzat per tal de poder assajar la proveta 1, comentada anteriorment. Aquest equip, està pensat per una tipologia de proveta inicial on volíem assimilar i fer un primer contacte amb la morfologia d'aquest equip d'assaig, és per això que en la imatge hi apareix la nostra proveta inicial.

L'estructura de l'equip utilitzat serà el que utilitza Elzbieta Lukaszewska en la seva tesis doctoral, però amb una lleu diferència, ja que, per tal d'aplicar la força però, utilitzarem el mètode i l'utilatge que utilitzen en l'assaig realitzat a l'estudi de Cem Topkaya, Joseph A.Yura i Eric B.Williamson anomenat "Composite Shear Stud Strength at Early Concrete Ages". Apliquem doncs, una força distribuïda a l'element de fusta, ja que, tal com fan ells, farem força contra un suport que ocupa tota la superfície de l'element de fusta.



Il·lustració 4.40. Esquema Autocad proposta equip d'assaig 01

Com podem observar en aquesta proposta inicial, per aplicar aquesta força, utilitzarem un pistó que anirà unit a la HEB 14 en forma de "L", que ens farà de suport i base de tot l'equip.

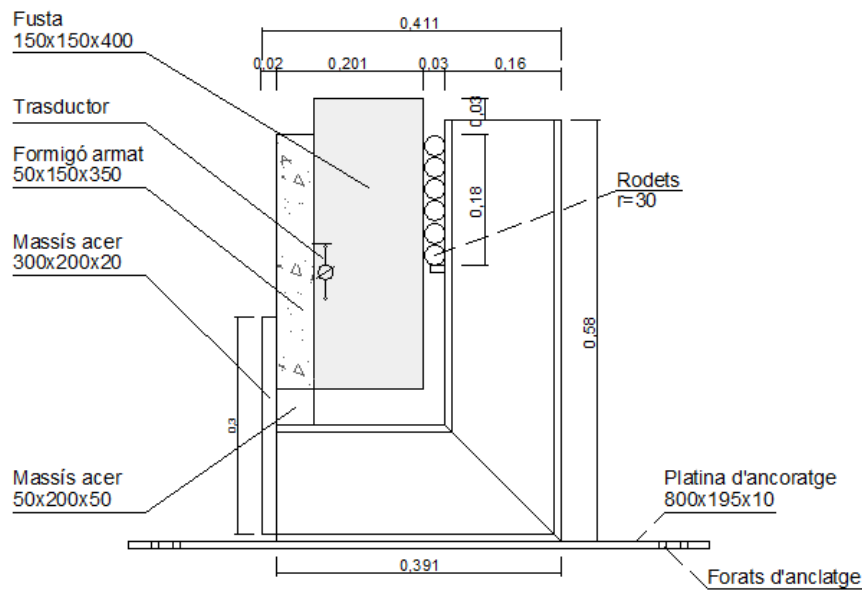
I per últim, per tal d'aguantar la proveta i que no es produeixi cap moviment d'aquesta quan apliquem la càrrega i com a conseqüència evitem així qualsevol moment, proposem col·locar soldada a la HEB 14 una platina massissa d'acer de 290x200x20mm i uns rodets a la part superior de contacte de l'element de fusta soldats a la HEB 14.

A l'annex 1 trobem el plànol 1.3 d'explicació de l'equip d'assaig de la proposta 01.

4.2.2.3.2- Proposta 02

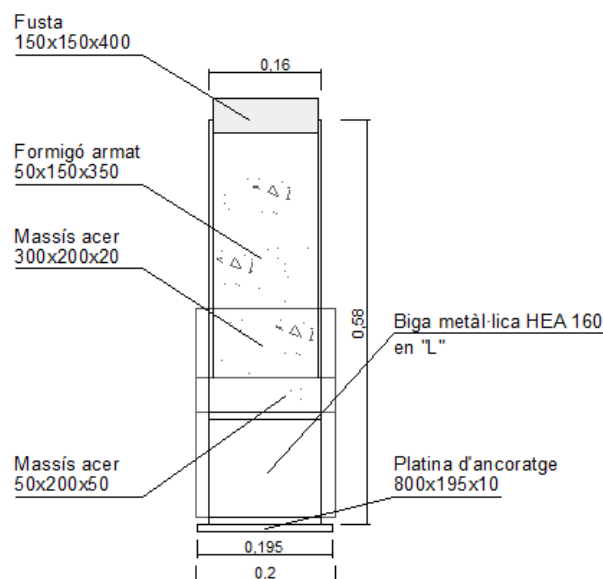
La proposta d'equip d'assaig 02, segueix els esquemes de la proposta d'equip d'assaig 01.

Després d'haver-nos qüestionat les diferents solucions i resolucions per la proveta davant els problemes anteriors en l'apartat corresponent a peròs i contres, l'equip d'assaig serà el següent il·lustrat:



Il·lustració 4.41. Esquema alçat en Autocad proposta equip d'assaig 02

En la imatge anterior, observem l'alçat i les dimensions de l'equip amb la proveta col·locada. En la següent, la secció d'aquest.



Il·lustració 4.42. Esquema secció en Autocad proposta equip d'assaig 02

Utilitzarem una biga HEB 160 com a base i suport principal del nostre equip per a l'assaig. Aquesta la manarem tallar en forma de "L" tal i com observem en la imatge a anterior. És important, que aquests 58 cm d'alçada siguin correcte, per dues raons:

- La primera, és per un tema de dimensions, ja que, per tal de que la premsa pugui fer força contra la fusta, és important que no hi hagi cap element sortint que faci un contacte previ, evitant així aplicar la força on realment volem.
- La segona, és perquè esperem un lliscament màxim de 15 mm, segons la UNE EN 26891, així doncs, creiem que 3 cm respecte la part superior de la proveta és suficient per curar-nos en salut

El massís d'acer de 50x200x50mm es tracta d'un massissat d'acer tallat en aquestes mesures exactes. Ens servirà com a suport de la proveta. Només tindrà contacte amb el formigó, ja que si tingués contacte amb la fusta, evitaria el lliscament d'aquesta respecte el formigó i el pern deixaria de fer la funció que requerim. Així doncs serà l'element que provocarà la reacció de la força aplicada i anirà soldada a la HEB 160.

L'altre massissat d'acer 300x200x20mm, com passa amb l'anterior element, haurà de ser tallat amb la màxima precisió possible, ja que, serà l'element que evitarà el desplaçament horitzontal de la proveta. Anirà soldada amb la biga HEA160 i el massissat d'acer anterior, de tal forma que faci la funció comentada abans. Deixem una il·lustració per entendre-ho més fàcilment.

La platina d'ancoratge de mesures de 80x19,5x1cm (dimensions les hem creat en funció de la premsa hidràulica de la universitat), tindrà l'objectiu de fixar-se a la premsa mitjançant els passos que observem en la il·lustració. Gràcies a aquests passos, podrem collar l'equip d'assaig a la premsa.

Com hem comentat i vist abans, farem ús d'uns rodets cilíndrics per tal de fer factible el lliscament de l'element de fusta, respecte el formigó. Aquests rodets, tindran un diàmetre de 3cm i una longitud de 16cm i seran l'únic i l'últim element que col·locarem abans de realitzar l'assaig. És a dir, un cop col·locat tot l'equip d'assaig i la proveta als seus respectius llocs, encaixarem aquests rodets entre l'equip i la proveta. Aquests rodets, aniran al llarg dels 18 cm esmentats a la imatge, és a dir, en necessitarem 6 unitats.

I per subjectar aquests rodets i evitar que baixin, hi col·locarem un suport soldat a la biga HEA 160 en forma de "L". Aquest límit, el col·locarem a 20 cm de la part superior de la biga HEA 160, per tal de complir aquests 18 cm d'espai per als rodets cilíndrics. Es tracta de la platina de 20x10x160mm.

L'utilitatge restant que necessitarem per l'equip, serà la premsa hidràulica (ja no serà un pistó). Aquesta, ens permetrà aplicar la força desitjada. El transductor el col·locaríem a la fusta i a l'element de formigó col·locaríem la platina en forma de "L".


A l'annex 1 trobarem el plànol 2.3 corresponent a aquest equip d'assaig.

4.2.3- Material

4.2.3.1- Proveta

Element de fusta

L'element de fusta que utilitzarem per crear la proveta mixta, tindrà unes dimensions de 30x15x14 cm³, i es tractarà d'un tipus de fusta laminada amb una característica resistent GL24:

Característiques de la fusta GL24	
Propietats de resistència (N/mm ²)	
Flexió	24
Tracció paral·lela a la fibra	16,5
Tracció perpendicular a la fibra	0,4
Compressió paral·lela a la fibra	24
Compressió perpendicular a la fibra	2,7
Tallant	2,7
Propietats de rigidesa (kN/mm ²)	
Mòdul elasticitat mig paral·lel a la fibra	11,6
Mòdul elasticitat paral·lel a la fibra (5%percentil)	9,4
Mòdul elasticitat mig perpendicular a la fibra	0,39
Mòdul mig a tallant	0,72
Densitat (kg/m ³)	
Densitat mitja	380
Il·lustració:	
	

Al realitzar 12 provetes, necessitarem 24 elements de fusta, de les mateixes dimensions cadascuna. Així doncs:

- 24 unitats d'elements de fusta GL24 (30x15x14cm³)

Es tractarà d'elements parells de mostres com aquesta:



Il·lustració 4.44. Imatge d'una mostra de fusta GL24 dimensionada (dimensions 30x15x14cm)

Element de formigó

El formigó utilitzat, serà formigó sec d'alta resistència H-25 de color gris. Al voler trencar 12 provetes, necessitarem 12 elements de formigó ($30 \times 15 \times 14 \text{cm}^3$) i realitzar les seves respectives provetes de resistència.. Així doncs, per poder fer tals cm^3 de formigó necessitarem:

- 9 sacs de formigó sec H-25

Utilitzarem doncs el formigó sec H-25 de la casa "HORMISEC" que va envasat en sacs de 25 Kg.



Il·lustració 4.45. Formigó H-25 sec de la casa "HORMISEC"

Tirafons

De totes les unions mecàniques utilitzades en estructures mixtes compostes de fusta i formigó, hem triat un tirafons. Aquest, com hem comentat anteriorment, consisteix en un element metàl·lic de cap hexagonal, amb una canya roscada, però llisa al aproximar-se al cap o cabota.

Al tenir una primera part de la canya roscada, la mateixa forma del tirafons, ajudarà a que el clau quedi ben travat dins la fusta. El seu cap hexagonal, també mantindrà el contacte amb el formigó, ja que, tot i ser llisa la part de la canya en contacte amb aquest, el cap farà de límit per evitar que la unió no faci la seva funció.

TIRAFONS	
Tipus d'unió	Tirafons
Diàmetre	Ø12mm
Longitud	120mm
Penetració dins element de fusta	70-80mm
Penetració dins element de formigó	40-50mm
Il·lustració:	
	

Com que l'objectiu és centrar-nos i acostar-nos al màxim a la realitat per aconseguir resultats, el diàmetre escollit, es tracta del que utilitzen normalment per solucionar problemes de rehabilitacions en casos de forjats amb bigues de fusta. Així doncs, hem escollit un diàmetre corresponen als 12 mm, el qual, entrarà 7-8cm dins l'element de fusta i 4-5 cm dins l'element de formigó.

4.2.3.2- Material auxiliar

Les parts en les que es divideix el nostre mètode d'encofrat les expliquem individualment a continuació:

Cargols, femelles i volanderes

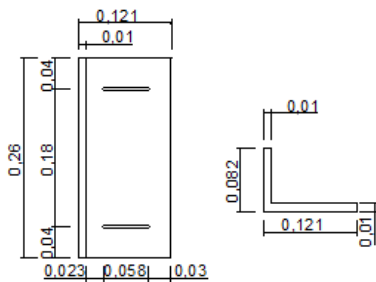
Bàsicament serveixen per unir els diferents elements que formen l'encofrat. Així doncs els elements de fixació seran aquests de la imatge:



Il·lustració 4.46. Equip d'ancoratge del material auxiliar d'encofrat

Platina en forma de "L" (curta)

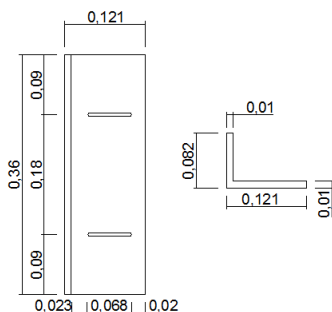
Aquestes dues platines, serviran de límit a l'hora d'aguantar els esforços que farà el formigó contra els elements de fusta. Així doncs, aniran col·locades contra el costat de 30cm de les provetes i collades a la platina inferior. Una a cada costat.



Il·lustració 4.47. Esquema Autocad i fotografia platina "L" curta

Platina en forma de "L" (llarga)

Aquestes dues, faran de límit contra els caps dels tres elements (2 elements de fusta i 1 element de formigó). Les dues "L" aniran collades a la platina inferior i faran de reacció contra la platina que anirà davant.



Il·lustració 4.48. Esquema Autocad i fotografia platina "L" llarga

Platina 450x200x8mm

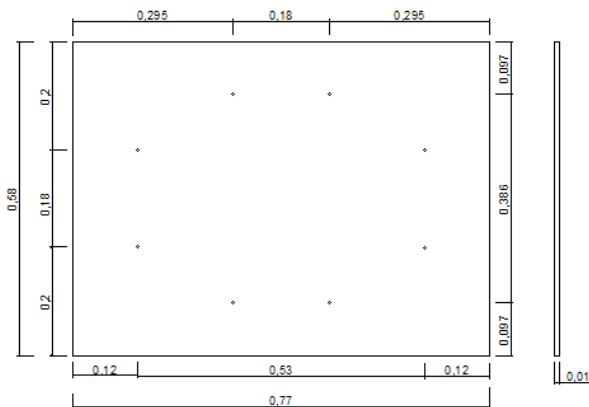
Aquesta platina anirà entre la proveta i les "L" anteriors, de tal manera que farà d'encofrat del formigó, i també farà contacte amb els elements de fusta. En el projecte, per fer les provetes, hem utilitzat retalls de fusta laminada, ja que, aquestes platines no ens van arribar a temps. Aquests retalls feien 200x180x8mm³.



Il·lustració 4.49. Fotografia retall de fusta laminada

Platina 600x600x10mm

Es tracta de la base que suporta tot el pes de la proveta i evita que el formigó es corri per sota. És en aquesta platina, on es col·len les "L".



Il·lustració 4.50. Esquema Autocad i fotografia platina de base 600x600x10mm

4.2.3.3- Equip d'assaig

Aquí us representem els elements dels quals està compost l'equip d'assaig:

Biga metàl·lica HEB 120

Es tracta d'una biga metàl·lica HEB 120, que s'ha tallat prèviament amb una longitud de 140mm deixant intacte la H que forma. Així aquesta peça tindrà unes dimensions de 120x120x140mm i unes dos cartel·les a cada extrem de l'element (per evitar que les ales es dobleguin), tal i com observem a la fotografia



Il·lustració 4.51. Biga metàl·lica HEB 120 tallada

Aquesta peça, estarà en contacte amb el formigó, i serà l'element que faci la força contra aquest. Col·locada de tal manera que la cara plana de la biga quedi en total contacte amb el formigó.

A més, deixem una distància de 15mm per banda, per evitar un possible contacte de la peça metàl·lica amb els elements de fusta.

Els altres elements que observem, són els elements auxiliars que utilitzarem per unir la biga HEB 120 al plat de premsa.

Massissos d'acer 140x140x30mm

Aquests massissos d'acer seran els que estaran en contacte amb els dos elements de fusta. Així doncs, en necessitarem dos unitats. Seran les peces que faran la força contra la proveta, ja que, el pistó de la premsa hidràulica que exerceix la força de la màquina, està situat a la part inferior.



Il·lustració 4.52. Massís d'acer (140x140x30mm)

Recobriran tota la cara inferior de la fusta, però deixant sempre 1 cm de distància de marge (per evitar el contacte) a la part on la fusta està en contacte amb el formigó.

Platina d'acer de collat de proveta 250x50x10mm

Farem ús de dos platines com aquesta. Aquestes platines faran de límit per cada costat, per tal d'evitar crear un moment intern en la proveta quan aquesta sigui assajada, ja que, els elements de fusta si no hi fossin les platines, tendrien a obrir-se per la part inferior. Aquests dos platines evitaran aquesta acció amb l'ajuda de unes barres roscades i unes femelles que comentarem posteriorment. És per aquesta raó que tenen dos forats de 125mm de diàmetre.



Il·lustració 4.53. Platina d'acer de collat de proveta (250x50x10mm)

Barra roscada Ø12mm

Es tracta d'una barra d'acer corrugada que utilitzarem per lligar les dos platines que feien de límit pels costats a la proveta. Com que tenim dos forats a cada platina, necessitarem dos unitats. Aquestes barres/barilles faran una longitud de 500mm, ja que, la proveta al complet farà 450mm. Així doncs, tindrem 25mm per cada costat, evitant que ens quedi curta.



Il·lustració 4.54. Barres d'acer roscades ajusta-proveta (Ø12mm)

El diàmetre de les barres roscades, seran de 12mm, ja que, el pas dels forats de la platina, és de 125mm.

Femella d'acer roscada Ø12mm amb volandera

Es tracta de les femelles i les volanderes que utilitzarem per lligar les barres corrugades i evitar que hi hagi moviment i poder estrènyer les platines fins a la posició adequada, tal que la proveta no pugui provocar el moviment intern del que parlàvem abans.



Il·lustració 4.56. Femella d'acer roscada (Ø12mm)

Aquesta femella d'acer roscada, tindrà un pas de 12mm per coincidir amb el diàmetre de la barra roscada.

4.2.3.4- Equip Instrumental

El conjunt de l'equip instrumental l'entendem com a els elements que participen a l'hora de poder llegir / extreure les lectures i resultats. Així doncs, són els següents:

Platina "L" per lectura

Es tracta d'una platina que ens servirà per poder mesurar el lliscament, ja que, és a partir d'aquesta "L" on el transductor mesurarà. En tindrem quatre; dos col·locats a cada cara longitudinal de la mostra. Aniran subjectats al element de formigó mitjançant uns claus que aniran dins els forats fets a les platines previ assaig.



Il·lustració 4.57. Platina "L" per lectura de transductor

Transductor

Per tal d'obtenir informació sobre els lliscaments vertical del tirafons que fa d'unió de la proveta, un cop sotmetem aquesta proveta a l'esforç que aplicarem, col·locarem quatre transductors subjectats mitjançant uns travessers acoblats a la proveta. Un per a cada platina "L" mini col·locada. El recorregut de la lectura d'aquests serà de 15 mm segons assaig.



Il·lustració 4.58. Transductors utilitzats durant l'assaig

Equip d'adquisició de dades

L'equip encarregat de recollir les dades procedents de l'assaig, és el model 5000 de la marca comercial Vishay. Aquest recull la senyal que emeten els transductors, així com la informació de la premsa hidràulica. A partir d'aquesta informació, l'equip ens proporcionarà les dades en una taula Excel.



Il·lustració 4.59. Vista anterior i posterior d'equip d'adquisició de dades

Cèl·lula de càrrega

Tot i que la premsa hidràulica pot mesurar la càrrega que apliquem, utilitzarem una cèl·lula de càrrega per fer aquesta funció, ja que, és més precisa que la de la premsa. Es tracta d'una cèl·lula que arriba a les 10 Tones de mesura. La col·locarem entre el plat de la premsa i l'element de la biga HEB 120.



Il·lustració 4.60. Cèl·lula de càrrega

4.2.3.5- Utilitatge, eines i maquinària de suport

Per tal de poder executar les provetes necessitarem utensilis extres, ja sigui per transportar-la, per construir-les o per evitar certs riscos. Aquests són els següents:

Làmina de polietilè

Aquesta làmina, la utilitzarem per evitar el contacte i/o adhesió entre la interfície dels dos elements. Utilitzarem una làmina qualsevol, no és necessari cap requeriment especial, simplement que estigui en bon estat.



Il·lustració 4.61. Làmina de polietilè (film de cuina)

Així doncs, amb aquesta làmina de polietilè (film de cuina), evitarem no només el contacte de la fusta amb el formigó, sinó també que l'aigua penetri a la fusta, mantenint el 12% d'humitat desitjada a la fusta.

Taulons de fusta

Per poder traspasar la proveta de la base de l'encofrat al palet de càrrega, i transportar les provetes un cop hagin passat 3 dies, utilitzarem aquests taulons de fusta. Utilitzant aquest mètode, podrem utilitzar l'encofrat de la proveta varis cops, abans no arribem als 7 dies (que és quan les trenquem) i mantindrem airejat el formigó ja que els taulons elevaran la proveta respecte qualsevol superfície deixant que l'aire circuli.



Il·lustració 4.62. Taulons de fusta

Paper de vidre

L'objectiu d'utilitzar aquest element, és per obtenir una superfície plana i llisa de les cares, eliminant qualsevol estella sortint i per netejar una mica qualsevol rebava a les cantonades de les fustes . Així doncs, aquesta superfície llisa i plana, s'obté amb la utilització del paper de vidre.



Il·lustració 4.63. Paper de vidre

Paleta i paletí

El formigó en estat fresc, és un material plàstic, i per tant, per poder treballar millor amb ell, s'han utilitzat paletes i paletins. Aquests elements ens facilitaran la feina a l'hora d'introduir el formigó en la cavitat corresponent de cada proveta i per picar el formigó.



Il·lustració 4.64. Paleta i paletí

Clau fixe

La clau fixe, ens permetrà cargolar i descargolar els diferents cargols del motlle i les dos femelles que collaran les dues platines de l'equip d'assaig contra la proveta per eliminar i/o evitar el moment intern. D'aquesta manera podrem regular les barres corrugades correctament i fixar els diferents elements i regular-los per tal d'executar la proveta corresponent.



Il·lustració 4.65. Clau fixe

Carraca

Quan la femella sens enganxi amb el cargol, podrem col·locar la clau fixe sota la platina, i fer ús de la carraca per fixar els cargols del motlle.



Il·lustració 4.66. Carraca

Pinzell

Aplicarem un desencofrant a les parts del conjunt d'encofrat que estiguin en contacte amb el formigó, per facilitar el desencofrat i evitar que el formigó s'enganxi a ell.



Il·lustració 4.67. Pinzell

Utensilis de mesura manual

Com a utensili de mesura manual podríem incloure el metro, regles i esquadres per tal dimensionar les diferents mesures necessàries tan en les distàncies entre elements de fusta per tal de complir els 150mm de longitud, com a l'hora de prendre mesures per caracteritzar cada element de fusta, com per marcar els punts on hem de col·locar l'utillatge de l'equip instrumental de mesura a la proveta.



Il·lustració 4.68. Conjunt d'utensilis de mesura manual

Nivell

El nivell l'utilitzarem per anivellar les platines "L" de lectura dels transductors, ja que, és important que aquestes estiguin ben anivellades per tal de que aquests elements no rellisquin.



Il·lustració 4.69. Nivell

Prensa hidràulica

L'assaig a tallant es durà a terme gràcies a la premsa hidràulica. Aquesta permetrà aplicar una càrrega homogènia amb una velocitat regulable.



Il·lustració 4.70. Prensa hidràulica

Formigonera

S'ha utilitzat la formigonera per tal de realitzar les amassades de formigó.



Il·lustració 4.71. Formigonera

Transpalet telescòpic manual

Degut al pes de les provetes, es realitzaran diferents desplaçaments d'aquestes mitjançant l'ajuda d'un transpalet manual. Principalment, el necessitarem per portar-les de la taula de treball a l'aula d'emmagatzematge i d'aquesta a la sala de la premsa. És important que sigui telescòpic pel fet de que haurem de pujar el transpalet fins a nivell de taula per fer possible l'acció d'arrossegar les provetes de la taula al transpalet i ésser transportades.



Il·lustració 4.72. Transpalet telescòpic manual

Trepant (“taladre”)

El trepant, o comunament dit “taladre”, l'utilitzarem per realitzar els forats a la proveta i clavar els claus, per poder col·locar tot l'utilatge de mesura, lectura, etc, tals com, les platines en “L” al formigó i els suports dels transductors a la fusta.



Il·lustració 4.73. Trepant

Serra de disc

Per poder tallar la biga de fusta en cada secció de les dimensions que requeríem, hem utilitzat aquesta maquinària.



Il·lustració 4.74. Serra de disc

Serra de cinta

Per tal de regular la superfície de les dos bases de la proveta (elements de fusta), ja que, la serra de disc no dóna les mateixes prestacions de precisió, repassem les cares de suport.



Il·lustració 4.75. Serra de cinta

4.3- Producció del “setup”

4.3.1- Desenvolupament de la proveta

L'evolució de la proveta la dividirem en quatre fases per una millor comprensió d'aquesta.

Fase 1: Producció de l'element de fusta i col·locació del tirafons

Un cop escollit les dimensions de la fusta i les característiques d'aquesta, contactem amb Jordi Figueres. Es tracta de la persona qui porta l'empresa Tecnifusta Figueres. Aquesta empresa és l'encarregada de realitzar els talls de fusta i per tal de realitzar les nostres provetes, tallen unes bigues de 2500x160x140mm. Ho realitzaran amb la següent serra de disc que tenen al taller.



Il·lustració 4.76. Procés de tall amb serra de disc

Aquests, també són ells, els encarregats de col·locar els tirafons dins els elements de fusta. Així doncs, per tal de poder col·locar el tirafons, com que es tracta d'un tirafons amb un diàmetre suficientment considerable, haurem de realitzar un pre-taladre de diàmetre 5mm i seguidament enroscar el tirafons per a que quedi ben subjectat, de tal forma que la part llisa quedarà embeguda al formigó i la part de rosca dins la fusta.



Il·lustració 4.77. Plantejament de tirafons a l'element de fusta GL24

Al tallar les seccions de fusta amb una serra de disc, les cares que necessitàvem planes, no han quedat suficientment ben tallades, de tal forma que si les col·loquéssim tal i com ens han vingut fetes, les nostres provetes produirien un moment intern.

A més, totes les fustes han vingut tallades amb uns mil·límetres de més i per tant segons els nostres càlculs no ens hi caben dins el nostre sistema d'encofrat. Així doncs, el que fem és tallar-

les amb una serra de cinta de la universitat, creant una superfície inferior totalment plana a totes les fustes. El factor planeïtat és molt important per assegurar-nos que tot s'aixafarà igual. Això de pas, implica que les peces, tot i venint tallades a 304mm d'alçada, ara faran 10mm menys i per tant, hi cabran perfectament dins els encofrats.



Il·lustració 4.78. Tall de serra de cinta

Fase 2: Impermeabilització de l'element de fusta

Per tal d'evitar al màxim l'entrada d'aigua dins l'element de fusta que pugui desprendre el formigó durant el curat, i mantenir així el 12% d'humitat de la fusta de la proveta, embolicarem aquests elements amb el film de cuina, fent doble volta de protecció transversal i una volta de protecció longitudinal i utilitzant un objecte punxant per fer el forat de pas dels tirafons, tal i com observem en la imatge.



Il·lustració 4.79. Col·locació de film per impermeabilitzar

Així evitarem el pas de l'aigua. I podrem procedir a col·locar els elements a dins dels sistemes d'encofrat, amb un resultat com el que es veu en la imatge següent:



Il·lustració 4.80. Element de fusta impermeabilitzat amb film

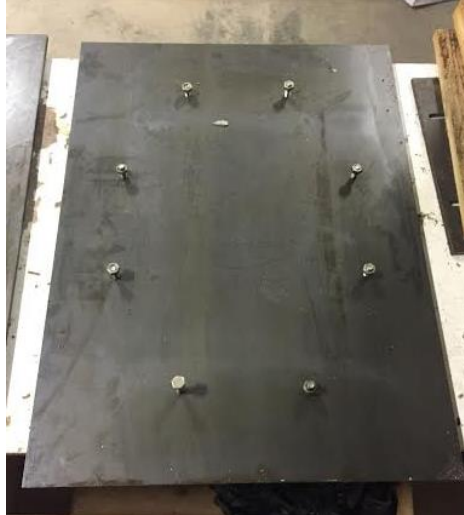
Fase 3: Preparació de l'encofrat

Per preparar l'encofrat, primerament col·locarem la platina inferior sobre la taula. Al ésser seccions d'acer tan grans, el pes és considerable, per això és necessari el transpalet.



Il·lustració 4.81. Aixecament i transport de les peces del material auxiliar

Primerament mentre un component del grup aixeca la platina, l'altre va col·locant els cargols cara amunt i coincidint amb els forats, de tal forma que el cap mateix dels cargols, deixarà un espai per poder introduir-hi la clau fixe que ens servirà per aguantar el cap del cargol mentre fem rodar la femella. Així queden plantejats, un cop col·locats:



Il·lustració 4.82. Planteig inicial dels cargols, femelles i volanderes del muntatge d'encofrat

Ara que ja tenim col·locats els cargols, col·loquem les "L", en forma de replanteig:



Il·lustració 4.83. Planteig inicial de les platines "L" del muntatge d'encofrat

Un cop replantejades, procedim a col·locar els elements de fusta ja embolicats i col·locarem les platines o retalls laterals de 20cm d'alçada, que faran d'encofrat. Ara, ja podem començar a distribuir les distàncies entre platines.



Il·lustració 4.84. Planteig del muntatge d'encofrat

Per tal de que sigui més senzill, primer cal col·locarem els elements de fusta dins les cavitats i mesurar que hi hagi una separació de 15cm entre els dos elements. Nosaltres per seguir un procés senzill, hem mesurat distàncies del punt mig i dels dos punts més extrems, per tal d'assegurar-nos els 15cm.



Il·lustració 4.85. Mesura i comprovació dels 15cm

A partir d'aquí, amb molta cura, anirem fixant els cargols de les corresponents platines, evitant qualsevol moviment dels elements de fusta. Per fer-ho més senzill, primer col·loquem dos "L" continus i seguidament les altres dues restants.



Il·lustració 4.86. Collat de les platines "L" a la platina inferior

Fase 4: Aplicació del desencofrant i preparació del formigó

La fase 4, consistirà primerament a aplicar desencofrant a la base de la cavitat que quedarà per tirar-hi el formigó, ja que, d'altra forma el formigó sens podria quedar adherit a la platina que fa de base.



Il·lustració 4.87. Aplicació de líquid desencofrant

També aprofitarem per aplicar desencofrant als encofrats de les provetes per mesurar resistències. I per executar el formigó, com que farem tandes de 4 provetes, utilitzarem 3 sacs per cada dia que realitzem formigó.



Il·lustració 4.88. Preparació del formigó

Per tal de poder seguir la nostre planificació, necessitarem una consistència de 4-5cm en el con d'Abrahams. Així doncs, amb aquests 3 sacs tirarem de 7 a 8 litres d'aigua.

Un cop tenim el formigó, amb l'ajuda de la paleta i el paletí, anirem tirant el formigó per capes a les cavitats de les mostres, i anirem picant amb aquests elements, fins deixar enrasat el formigó.



Il·lustració 4.89. Enrasat del formigó

Fase 5: Curat del formigó i desencofrat/desenfilmat de la proveta

Un cop acabat el formigonat, les taparem amb un plàstic qualsevol. Hem utilitzat un plàstic com el que es veu a continuació en la imatge.



Il·lustració 4.90. Provetes tapades

El dia següent el destaparem i seguint el planning deixarem les provetes 48 hores més sense tocar-les dins els encofrats. Un cop hagin passat aquestes 9 dies, les transportarem a un altre lloc perquè necessitarem els encofrats per fer les altres mostres.

Aquest transport el farem de la següent manera; primerament traurem la “L” curta, com podem veure a continuació.



Il·lustració 4.91. Extracció de les “L” curta (1) i “L” llarga (2)

Un cop tinguem la “L” curta treta, afluixem la “L” llarga de tal manera que podrem extreure els encofrats laterals de platines que evitaven que el formigó basés.

Aixecarem el transpalet manual, fins a l'alçada de la taula, considerant l'alçada dels llistons de fusta que serviran per a que el formigó respiri. I per evitar problemes, arrossegarem tota la proveta de la platina que fa de base, cap al transpalet.



Il·lustració 4.92. Enretirada de la proveta

Un cop arribats a sala on guardarem les provetes, els hi traurem el film amb l'ajuda d'un cúter o un objecte tallant, de tal forma que només quedi film entre las seccions de fusta i el formigó. Seguidament, girarem la proveta per tal de que la cara que no ha respirat fins fa dos dies, ara respiri més fàcilment que la que quedarà a sota. Aquesta que quedarà a sota respirarà igualment gràcies als llistons, però la cara superior ho farà amb més facilitat. Aquestes provetes, al cap de 9 dies més, les podrem assajar.



Il·lustració 4.93. Provetes per assajar

4.3.2- Desenvolupament de l'equip d'assaig

L'evolució de l'equip d'assaig el dividim en dos, basant-nos en un procés inicial de col·locació dels elements que el conformen i el procés d'execució d'aquest.

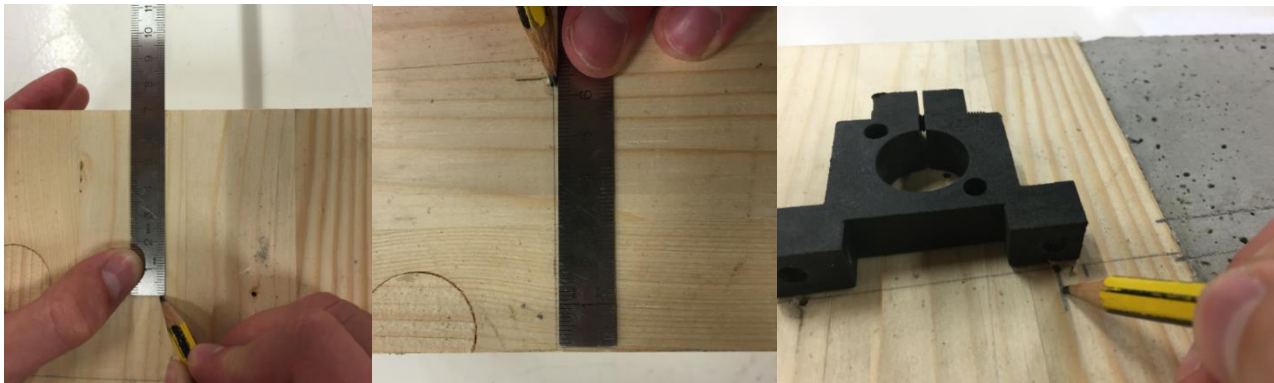
4.3.2.1- Col·locació dels elements

Fase 1: Treballs previs

Per començar a construir i realitzar l'assaig, cal una preparació prèvia. Aquesta es tracta dels treballs previs que realitzem a la proveta.

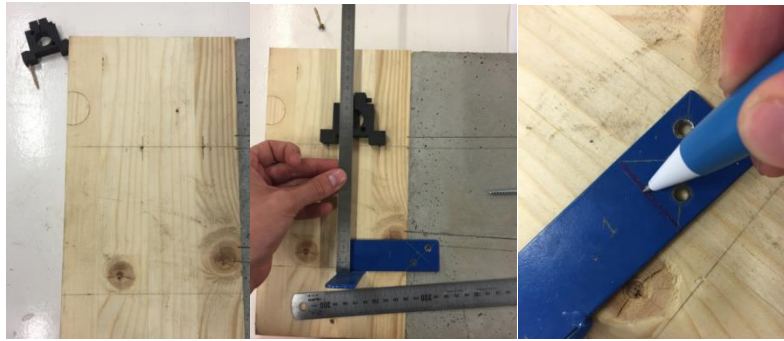
Primerament, marcarem la col·locació dels suports dels transductors. Aquests aniran col·locats als elements de fusta, a una distància de 1,5 cm del formigó i a 7 cm de l'aresta superior de la cara on estem treballant. És important mantenir aquests 1,5 cm mínims respecte el formigó per tal de mantenir una distància de seguretat. En canvi, els 7 cm no cal que siguin precisos, ja que, només són una distància per tal de que el transductor estigui ben subjectat i tingui recorregut suficient per mesurar el desplaçament.

Així doncs, amb l'ajuda d'utensilis de mesura (regle), trobarem un punt a cada cara dels elements de fusta que estigui a 7cm de l'aresta superior tal i com observem en la primera fotografia de la il·lustració. Aquests dos punts els unirem amb una línia tal i com observem en la segona fotografia de la il·lustració. En aquesta línia, senyalarem una marca perpendicular allà on s'hagi de fer el forat amb el trepant, per poder col·locar els suports dels transductors posteriorment. Aquesta part del procés l'observem en l'última imatge.



Il·lustració 4.94. Procés de marcatge dels suports dels transductors

Seguidament, marcarem allà on haurem de col·locar les platines "L" per a que els transductors puguin fer les lectures. Ho realitzarem buscant la paral·lela de la línia utilitzada per als suports dels transductors, a una distància de 15,5cm respecte la marcada tal com observem en la primera fotografia de la il·lustració. Arribats a aquest punt col·locarem la platina fent-la corre per la línia marcada, de tal forma que el centre del suport estigui en la mateixa línia transversal que el centre de la part de la "L" que estarà en contacte amb el transductor, tal i com observem en la fotografia de la il·lustració. Per últim, marcarem a la platina una ratlla. Aquesta ratlla, serà el tall en que la proveta passa a ser de fusta a formigó. Ho observem en la tercera fotografia de la il·lustració. Així doncs, aquesta ratlla marcada en les platines, ens servirà per totes les provetes.



Il·lustració 4.95. Procés de marcatge de les platines "L" per lectura

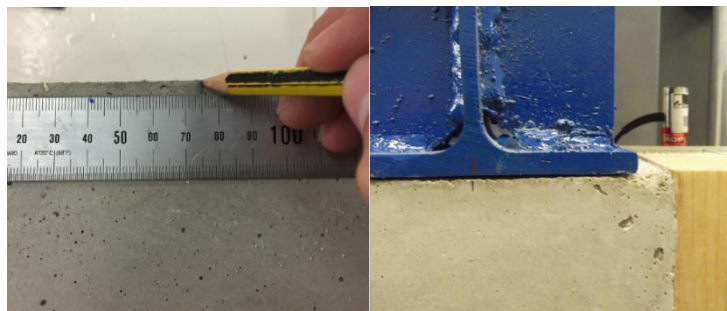
Aquestes dos accions, les realitzarem per els dos costats de la proveta (formigó-fusta), de tal manera que tindrem marcats els quatre suports i les quatre platines "L" de lectura.

Seguidament, realitzarem una marca als elements de fusta, aquesta serà una marca feta a 1 cm de distància del formigó. És a partir d'aquest centímetre, allà on col·locarem les platines que suportaran els elements de fusta.



Il·lustració 4.96. Marca de planteig de platina inferior

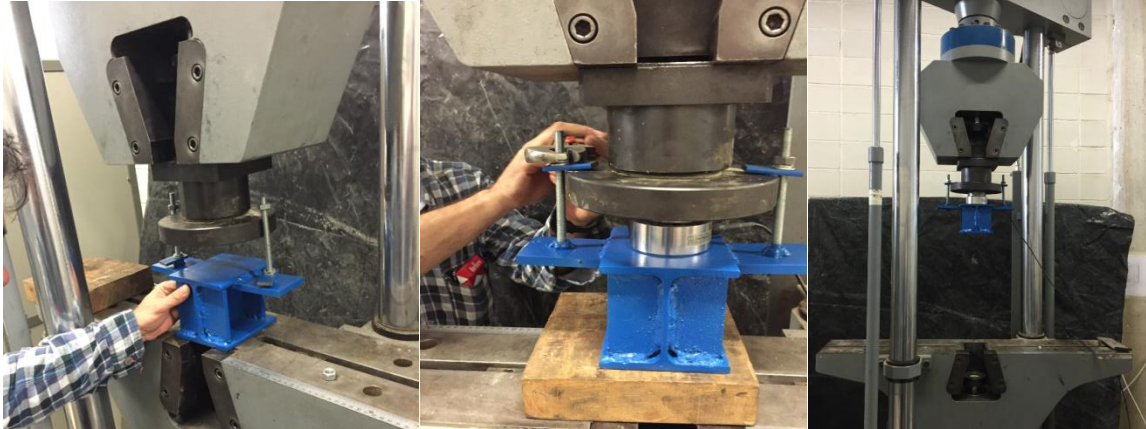
També, marcarem una línia en el centre de l'aresta superior de l'element de formigó (a 7,5 cm de distància a cada banda) i una altra al centre de la ala inferior de la HEB 120, de tal manera que s'hauran de trobar quan ens disposem a començar l'assaig.



Il·lustració 4.97. Procés de marcatge del formigó i la biga HEB 120

Fase 2: Col·locació del conjunt superior de l'equip d'assaig

Per tal de col·locar el conjunt amb la biga HEB 120 que exercirà la força, primerament, col·locarem aquest dins la premsa i baixarem el pistó fins a tenir una distància suficient per tal de que ens hi càpiga la cèl·lula de càrrega, com podem observar en la primera imatge de la il·lustració. Seguidament, col·locarem la cèl·lula de càrrega i baixarem la premsa de tal manera que quedi ben cohesionada amb el conjunt, i enroscarem les femelles per a que les platines quedin ben subjectes i alhora subjectin tot el conjunt. Ho observem a la segona fotografia de la il·lustració.



Il·lustració 4.98. Procés de col·locació del conjunt superior de l'equip d'assaig

Un cop col·locat tot, procedim a pujar el pistó, amb el conjunt cohesionat a ell, de tal manera que tinguem un espai suficient per col·locar tot l'assaig tal i com observem en la imatge 3.

Fase 3: Col·locació de les platines de suport

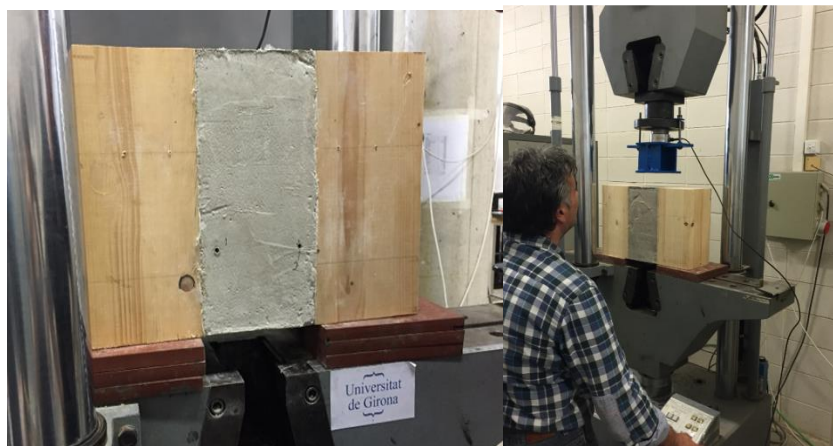
A l'hora de col·locar les platines de suport ens referim als massissos d'acer que feien 140x140x30mm. Al no torbar-ne d'aquestes dimensions, col·locarem tres platines d'1cm sobreposades, sota cada element de la fusta. De tal forma que n'utilitzarem 6 unitats. Aquestes, hauran de col·locar-se a 17 cm de separació i centrades a la premsa. Aquesta distància es tracta dels 15 cm de formigó, més els 1cm per banda de distància respecte l'element de formigó, que fan els 17cm.



Il·lustració 4.99. Procés de col·locació de platines de suport

Fase 4: Col·locació de la proveta

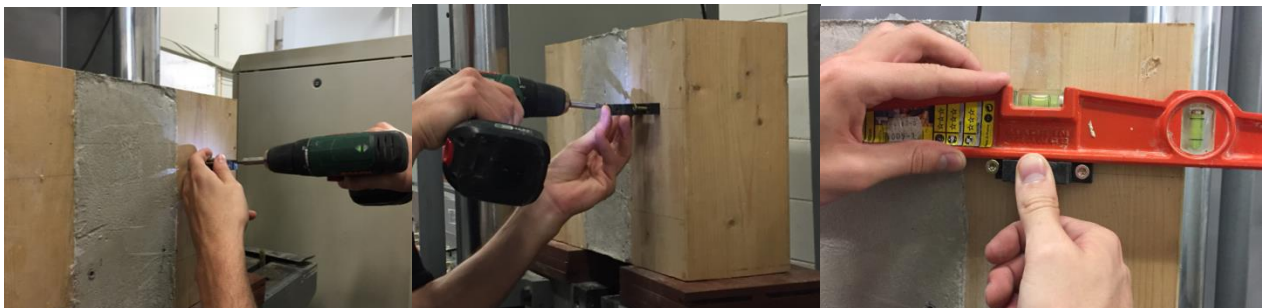
A l'hora de la col·locació de la proveta, haurem de tenir en compte un únic factor, però que és molt important. Aquest, es tracta de la posició de la proveta que estiguem assajant. Per a que aquesta es col·loqui perfectament, tenim les marques fetes en els treballs previs, és a dir, la distància d'1 cm respecte el formigó, el centre de l'element de formigó, i el centre de la biga HEB 120. Amb aquestes distàncies fetes correctament, la proveta es podrà col·locar bé. Observem a la il·lustració següent, el procés d'aquesta fase; primer col·loquem la proveta respecte les platines inferiors, després baixem el pistó fins a estar en contacte amb el formigó i centrem la biga HEB 120 i l'element de formigó amb la marca realitzada a cada part.



Il·lustració 4.100. Procés de col·locació de la proveta

Fase 5: Col·locació dels suports dels transductors

Passem a la fase de col·locació dels transductors. En aquesta fase, començarem per fer els forats allà on a treballs previs em marcat amb la perpendicular feta a la línia. Així doncs amb la proveta ja col·locada, agafarem el trepant ("taladre"), i farem un pre-taladrat a tots els forats marcats. Un cop tinguem els forats marcats pre-taladrats amb un broca més petita respecte el diàmetre dels claus que utilitzarem, anirem a una cara i amb el clau incorporat en el suport, clavarem a la fusta de tal forma que el suport quedarà ja subjectat. Seguidament agafarem l'altre clau i el clavarem de tal manera que el suport ja quedarà subjectat i comprovarem amb el nivell que quedi ben anivellat.



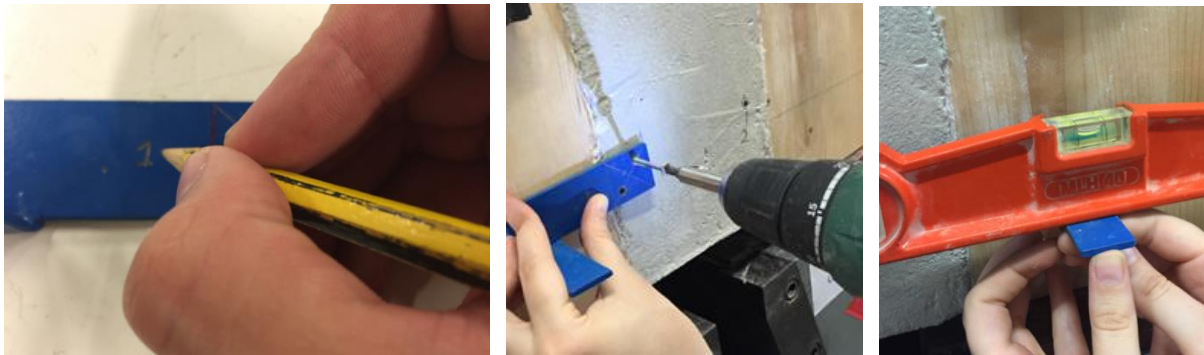
Il·lustració 4.101. Procés de col·locació de suports dels transductors

Un cop fet amb un suport, ho farem amb els tres suports restants.

Fase 6: Col·locació de les platines per lectura

Un cop col·locats els suports dels transductors, podrem col·locar les platines per lectura. Aquestes els hi haurem de realitzar un forat prèviament amb el trepant. Aquest forat serà coincident amb el forat fet al formigó. Així doncs, aquests forats fets a les platines ja ens serviran per les altres provetes. Seguidament, farem els forats marcats al formigó amb l'ajuda del trepant com observem en la imatge 2 i col·locarem els "tacos" per a que els claus es quedin clavats dins (en la imatge 3).

Seguidament, procedirem a col·locar les platines "L". Marquem les quatre platines amb un número (1,2,3,4). El 1 i el 2, seran les platines que aniran davant. El 3 i el 4, aniran a la part de darrere. Així doncs, agafem la platina i els claus i els col·loquem, però no definitivament. Un cop tinguem la platina plantejada, agafarem el nivell i mirarem que estigui anivellada, ja que, és un factor necessari per poder mesurar amb els transductors. Un cop anivellada la platina, procedirem a subjectar fort la platina per a que no es mogui.

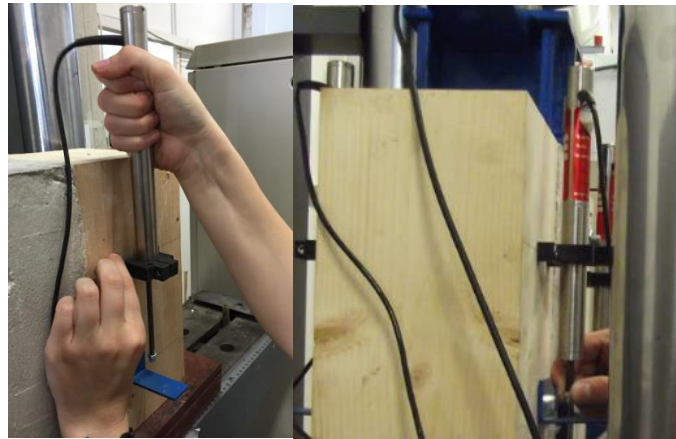


Il·lustració 4.102. Procés de marcatge i col·locació de les platines "L"

Fase 7: Col·locació dels transductors

La col·locació dels transductors és clau, ja que, el desplaçament és un dels dos factors clau pels quals volem estudiar el comportament de la unió. Així doncs, amb molta cura introduïrem passant-lo per dins el suport i el baixarem fins que la punta de lectura d'aquest, tingui una distància de mesura inicial de 10 mm aproximadament respecte la platina "L". Aquesta distància la comprovarem amb l'ajuda del 5.000, apretant al màxim la punta de lectura cap a dalt i observant quina distància ens dona l'equip (5.000). Nosaltres prenem els 10 mm inicials perquè el transductor pot marcar màxim fins a 40mm restants de tal forma que ens curem amb salut, ja que, màxim baixarem 15mm segons UNE EN 2689.

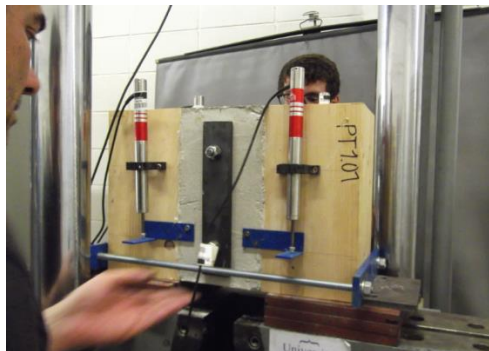
Per últim, comprovada la distància, apretarem els cargols dels suports deixant el conductor ben rígid i vertical, i els col·locarem a distància 0 en l'equip de dades per poder saber realment els mm que baixarà durant l'assaig. Això ho realitzarem amb els 4 transductors.



Il·lustració 4.103. Procés de col·locació i comprovació dels transductors

Fase 8: Col·locació elements de pre-compresió

Finalment, col·locarem els elements de pre-compresió. Es tracta de les platines de color blau que fan de collat lateral de la proveta per tal de que els elements de fusta tendeixin a obrir-se i provoquin un moment. Amb l'ajuda de la clau fixe i un element fixador, collarem les femelles de cada costat, però sense collar massa per evitar un aixafament lateral de la fusta, quedant aquest aspecte. És important, que no quedin amb contacte les platines de sota, ja que, qualsevol element sortint de qualsevol dels dos elements, podria provocar una resistència no especificada en el càlcul.



Il·lustració 4.104. Col·locació dels elements de pre-compresió

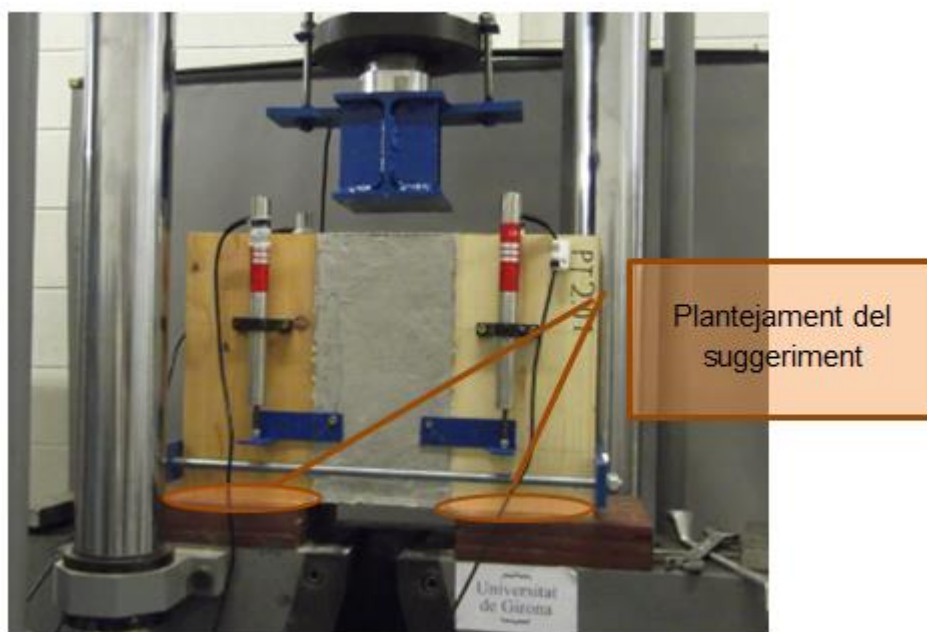
4.3.2.2- Canvis o suggeriments respecte l'original

Després d'haver presentat el projecte davant l'Associació d'Estructuristes de Catalunya (AEC), ens van proposar tres propostes, suggeriments i/o canvis possibles per al nostre "set up", que podrien millorar el sistema. Tot seguit les comentem:

Bosses de sorra

Un problema que ens hem trobat a l'hora d'executar l'assaig, és que les cares no són totalment planes, de tal manera que al aplicar la força, abans de començar a treballar tot el conjunt com un sol element, les fustes s'aixafen fins a arribar al punt que comencen a treballar solidàriament. Així doncs, s'originen petits moments interns en els inicis de l'assaig. L'AEC, ens va proposar col·locar unes bosses de plàstic tancades i plenes de sorra, entre el conjunt de les tres platines inferiors i l'element de fusta de la proveta. D'aquesta manera el conjunt queda estabilitzat.

El problema és que les platines tenen un marge d'1cm respecte el formigó per evitar qualsevol contacte, i si hi col·loquéssim les bossetes de sorra, tindríem ja un contacte que faria una mínima resistència. Per aquesta raó ho descartem (tot i ésser una resistència molt minsa).



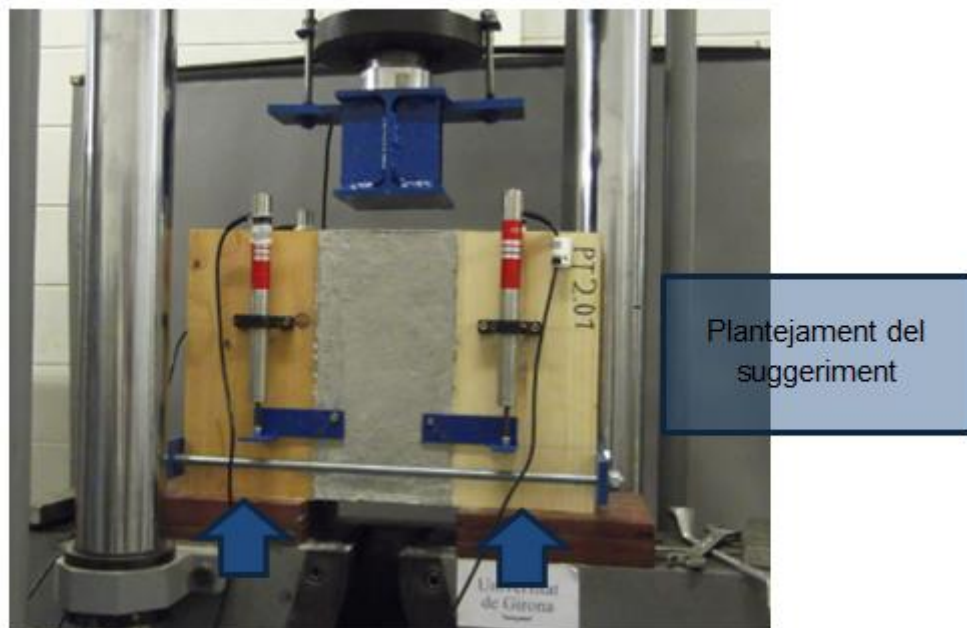
Il·lustració 4.105. Plantejament AEC (bossetes de sorra)

Les bosses de sorra, a les quals fem referència, serien col·locades just on hi ha dibuixades les dos formes en forma ovalada.

Cèl·lules de càrrega inferiors

Com que algunes de les cares inferiors no tenien total planeïtat degut a la falta de precisió de tall, és probable que la càrrega que baixa per les dues fustes no sigui la mateixa als dos costats, és per aquest motiu que ens van proposar una segona solució. Aquesta consistia en col·locar una cèl·lula de càrrega sobre de cada suport, de tal manera que a nivell de càlcul podríem saber la quantitat de força que aplicaria la premsa a cada costat de la proveta, en funció de la seva planeïtat.

Així doncs, d'alguna forma podríem representar i valorar aquest problema. Per falta de materials, no hem pogut aplicar aquesta solució al nostre sistema.



Il·lustració 4.106. Plantejament AEC (cèl·lules de càrregues inferiors)

Les cèl·lules de càrrega a les quals ens referim, anirien col·locades, com hem comentat anteriorment, just a sota de cada banda dels suport de la proveta amb contacte amb les platines de cada suport. Així doncs, rebria la força que aplica la màquina a cada costat de la proveta. La imatge anterior, ens ajuda a explicar on anirien col·locades, just a la punta de la fletxa.

Compressió de l'element de formigó

Per resoldre el problema (que ens vam anar trobant a mesura que hem anat realitzant l'assaig) de la poca resistència a compressió que té el formigó, l'AEC ens va proposar fer una compressió al element de formigó mitjançant un mètode similar al que apliquem per fer la compressió del conjunt de la proveta per evitar moment interns. La diferència però, és que les barilles del 12 que utilitzarem per unir les dos platines, passaran per dins el formigó evitant que aquest, falli abans que la fusta o pel menys que resisteixi l'assaig.

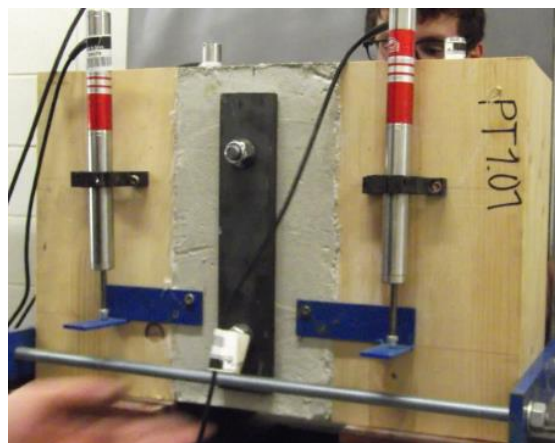
Així doncs, necessitarem realitzar un forat que travessi l'element de formigó i no topi amb els tirafons ubicats dins d'aquest. Aquest conjunt, permetrà que el formigó treballi millor a compressió i pugui resistir molt més, evitant així que l'assaig falli per culpa del formigó.



Il·lustració 4.107. Conjunt de compressió interna del formigó

A l'hora de plantejar on aniran els forats, també necessitarem preveure no topiar amb les platines collades en el formigó i no tocar l'altre conjunt de compressió de la proveta. És per això, que està bé plantejar (tirant línies), on estan col·locats els tirafons (en funció de la tipologia de la proveta).

El conjunt del "set up" amb aquest element queda tal i com s'observa en la il·lustració següent:



Il·lustració 4.108. Element de compressió del formigó

4.3.2.3- Execució de l'assaig

Per a l'execució de l'assaig, hem utilitzat la normativa UNE 26891. Es tracta de la normativa per estructures de fusta amb unions realitzades amb elements de fixació mecànics. Com hem comentat anteriorment en el treball, a priori, dels tres materials utilitzats per les provetes (fusta, acer i formigó), l'element més dèbil i amb més possibilitats de fallar abans que la resta, és la fusta. És per aquest simple motiu que decidim utilitzar aquesta normativa i no cap altre, ja que, aquesta s'adapta més bé a les possibilitats de la fusta.

Tal i com hem explicat a l'apartat de càlcul del projecte, a l'hora de calcular la força necessària a aplicar a la proveta per a provocar la fallada d'aquesta ens regim entre dos valors. Aquest dos valors són:

- Càrrega (min): 20.245,70 Newtons
- Càrrega (max): 50.435,69 Newtons

Així doncs, com es podrà comprovar més endavant, s'han utilitzat aquests dos valors per realitzar l'assaig. Aquí, una petita comparació entre el mètode dels dos valors:

Càrrega (min): 20.245,70 N

Apliquem la càrrega fins a 0,4Fest a 0,2 Fest/min:

- Apretem 0.007 kN/seg fins a arribar a 0.81 T

Quan arribem als 0,4Fest, el mantenim a 0,4Fest durant 30 seg:

- Seguim apretant 0.81 T durant 30 segons

Passats els 30 seg, reduïm fins a 0,1Fest a 0,2Fest/min

- Reduïm a 0.007 kN/seg fins arribar a 0.202 T

Quan arribem a 0,1Fest el mantenim a 0,1Fest durant 30 seg:

- Mantenim la força a 0.202 T durant 30 seg

Passats els 30 seg incrementem la força 0,2Fest/min fins a 0,7Fest:

- Passats 30 seg, increment força a 0.007 kN/seg fins 1.42 T

A partir de 0,7Fest s'aplica una velocitat conforme arribem al desplaçament de 15 mm estipulat per la normativa abans de 5 min. Així doncs, segons càlculs:

$$20.245,70 \text{ N} \times 0,7 = 14.171,99 \text{ N}$$

$$20.245,70 \text{ N} - 14.171,99 \text{ N} = 6.073,71 \text{ N}$$

$$6.073,71 / 3 = 2.024,57 \text{ N/min, és a dir, } \underline{0.0035 \text{ kN/seg}}$$

Càrrega (max): 50.935,69 N

Apliquem la càrrega fins a 0,4Fest a 0,2 Fest/min:

- Apretem 0.017 kN/seg fins a arribar a 2.02 T

Quan arribem als 0,4Fest, el mantenim a 0,4Fest durant 30 seg:

- Seguim apretant 2.02 T durant 30 segons

Passats els 30 seg, reduïm fins a 0,1Fest a 0,2Fest/min

- Reduïm a 0.017 kN/seg fins arribar a 0.504 T

Quan arribem a 0,1Fest el mantenim a 0,1Fest durant 30 seg:

- Mantenim la força a 0.504 T durant 30 seg

Passats els 30 seg incrementem la força 0,2Fest/min fins a 0,7Fest:

- Passats 30 seg, increment força a 0.017 kN/seg fins 3.53 T

A partir de 0,7Fest s'aplica una velocitat conforme arribem al desplaçament de 15 mm estipulat per la normativa abans de 5 min. Així doncs, segons càlculs:

$$50.935,69 \text{ N} \times 0,7 = 35.304,95 \text{ N}$$

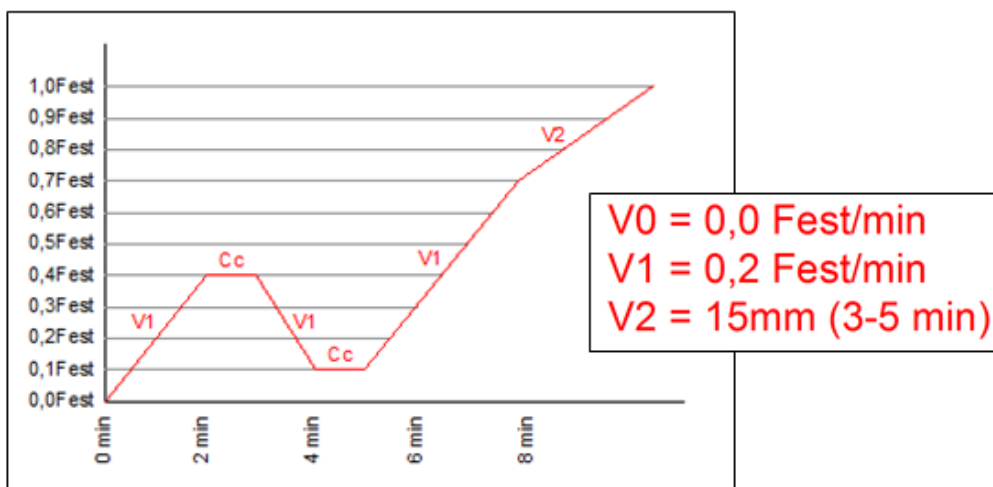
$$50.935,69 \text{ N} - 35.304,95 \text{ N} = 15.630,74 \text{ N}$$

$$15.630,74 / 3 = 5.210,25 \text{ N/min, és a dir, } \underline{0.0086 \text{ kN/seg}}$$

Il·lustració 4.109. Comparació dels dos valors de càrrega

La normativa no quantifica les unitats dels valors. Les unitats dels valors expressats anteriorment, són els que aplicarem a la màquina de compressió hidràulica.

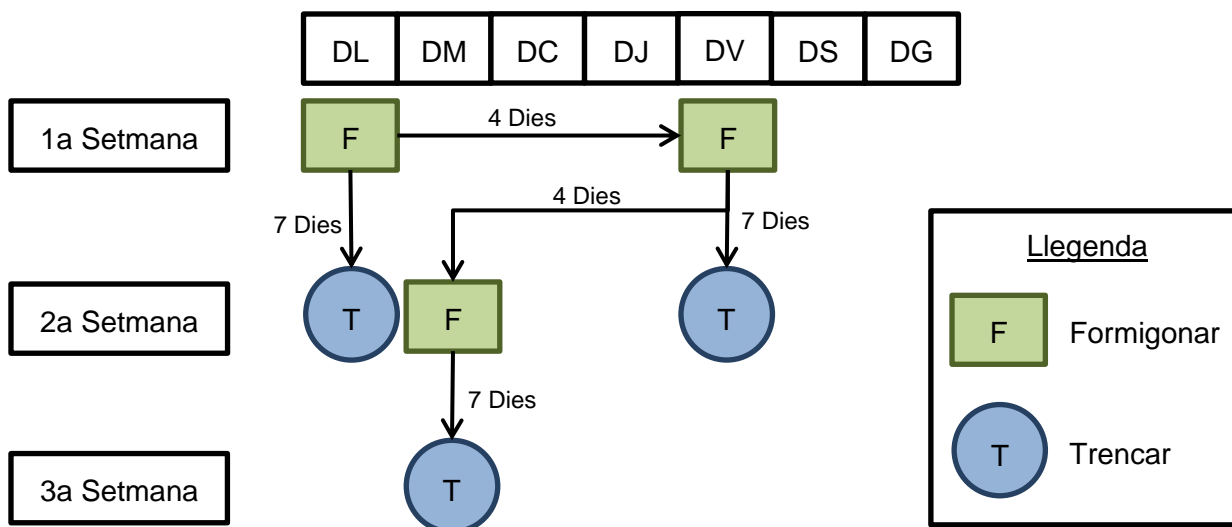
Al aplicar aquest mètode a l'assaig, ens dona una gràfica de seguiment. Així doncs, si l'execució de l'assaig és el correcte, la gràfica que ens donarà en totes les provetes serà la següent:



Il·lustració 4.110. Procediment de càrrega d'assaig

4.3.2.4- Programació de l'assaig

Com hem comentat anteriorment en el treball, per fer l'assaig hem utilitzat 12 provetes, dividides en 4 grups, tenint cada grup 3 components. Aquestes provetes han seguit una programació específica, per tal d'ocupar l'ho just el laboratori, ja que, en el laboratori hi havia molts projectes en aquell moment i no volíem fer anar malament a ningú. Esquemàticament, la primera planificació, la vam plantejar de la següent manera:



La programació real, de manera més especificada en forma de calendari, on s'hi observa la dedicació (quantificada en dies) per realitzar les provetes, les dates de formigonat i trencat, els dies que ha estat curant cada proveta, quan hem realitzat els assajos, i quines d'aquestes provetes hi hem afegit el sistema de compressió del formigó, està adjuntada a l'annex 3.

5- Resultats

Per realitzar la valoració dels resultats, hem escollit tres factors a l'hora d'exposar els resultats, seguint el següent criteri. Així doncs, cada proveta té la seva pròpia lectura, considerant-ne el següent de cadascuna:

- **Interpretació del gràfic:** Per interpretar el comportament del conjunt de la proveta respecte la seva posició inicial, hem considerat valorar aquesta gràfica seguint el procediment de l'assaig de la UNE EN 26891. D'aquesta manera, hem obtingut el desplaçament del element de formigó, respecte els elements de fusta per a cada Newton de força aplicada. Així doncs, de cada proveta hem observat el seu comportament, observant els fets ocasionats en cada procés (sincronia dels elements de fusta, planeïtat de la proveta, càrrega de trencament...).
- **Interpretació del mode de falla del formigó:** A l'hora de realitzar els estudis previ a l'assaig, vàrem arribar a la hipòtesis que el formigó aguantaria les forces i que per tant, la fusta seria l'element que fallaria. Al utilitzar una fusta laminada GL24 i amb la suma que el formigó no ha arribat mai a la resistència esperada, el resultat ha sigut a la inversa. El formigó ha fallat i ha sigut l'element de fusta el que ha resistit. És per aquest motiu, tal i com s'ha comentat anteriorment, que hem hagut d'aplicar una resistència per a la compressió del formigó.
- **Interpretació del mode de falla dels tirafons:** Per interpretar el desplaçament de la connexió mecànica respecte la posició inicial, així com el seu comportament durant l'assaig, hem considerat observar i comparar les fletxes produïdes en els tirafons degut a les forces oposades rebudes i comparar també, l'estat inicial amb el que han estat clavats a la fusta amb l'estat final.

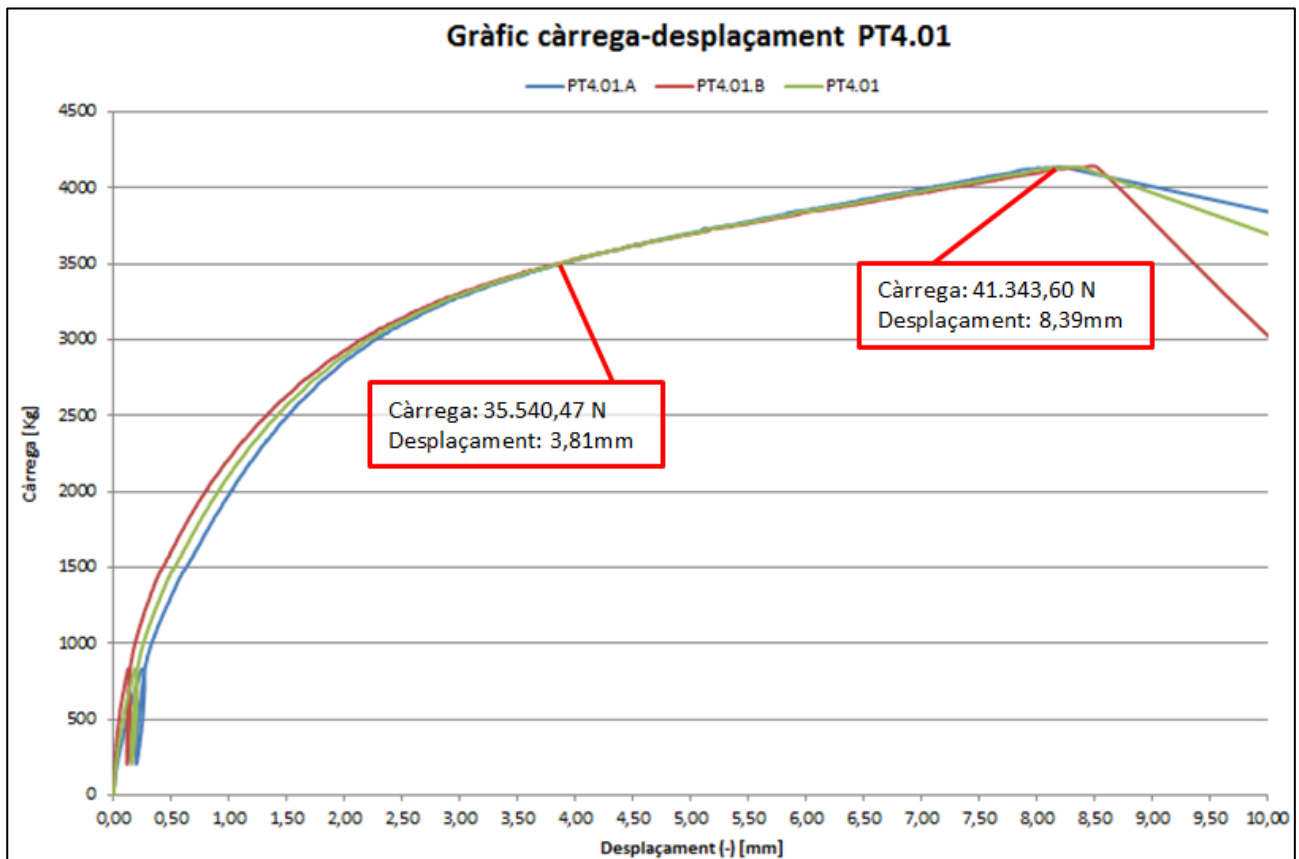
Seguidament, comentem els resultats obtinguts durant els assajos. Hem seguit aquest ordre, ja que, durant la campanya experimental, hem seguit majoritàriament una pauta decreixent de les distàncies entre connectors, de tal manera, que hem començat per el grup de provetes PT4 i hem acabat per el grup PT1.

5.1- Provetes PT4

Proveta PT4.01

Interpretació del gràfic

El gràfic càrrega-desplaçament de la proveta PT4.01 és el següent:



Observant el procediment de càrrega de la proveta PT4.01, amb la gràfica de desplaçament-càrrega, seguint la línia de visió denominada PT4.01, podem observar clarament la influència dels dos trams en els quals la pressió de la màquina va a velocitat constant. Així doncs, observem la recuperació dels elements de fixació mecànics al seu estat inicial tal i com ens mostra la gràfica de la normativa UNE 26891.

Seguint la línia gràfica PT4.01, no s'hi observa res estrany. Tot segueix segons la corba teòrica que hauria de fer la gràfica càrrega-desplaçament.

A la gràfica, s'observen indicis de que la PT4.01A no té una totalitat de contacte amb el suport, i és per això que la seva línia gràfica està per sota la mitja, fent que la PT4.01B no avanci en el desplaçament, fins que la PT4.01A s'aposeni bé en contacte amb el suport, i com a conseqüència tota la proveta. Així doncs, la proveta no és plana en el sentit longitudinal.

Si passem a observar els valors indicatius diferenciadors de l'assaig observem que en aquesta gràfica, la proveta no estava degudament plana, ja que, no és fins als 35.540,47 N de càrrega, que observem una precisió i/o igualtat entre els dos costats (PT4.01A i PT4.01B). Així doncs, no

observem una sincronització fins just a arribar a la V2 amb un desplaçament aproximat de 3,81 mm respecte l'inicial. Seguidament, observem que estant en el tram de V2, es produeix la falla de la proveta a 8,39 mm segons ens marquen els transductors, i amb una càrrega de 41.343,60 N, segons ens marca la cèl·lula de càrrega.

Interpretació del mode de falla del formigó

L'avaluació de la qualitat del formigó utilitzat en aquesta proveta, es tracta de l'extret de la mostra F1 amb 11 dies de curat, amb una mitja de resistència de càlcul de 11,78 N/mm. Aquesta proveta ha estat en procés de curació 7 dies, fallant als 1.177,1 s des de l'inici de l'assaig.

A l'hora d'interpretar el mode de falla del formigó observant els resultats, observem primerament una clara esquerda que va de la cara superior del formigó de la proveta PT4.01, a la cara inferior del formigó d'aquesta, partint en dos l'element de formigó en el sentit longitudinal de les cares superior i inferior.



Il·lustració 5.1. Interpretació falla formigó PT4.01

Aquest és un fet rellevant que ens indica que ha fet fallida el formigó abans que la fusta i per tant, és necessària o més dies de curat o utilitzar un altre tipus de formigó, ja que, aquest no ha resultat donar les prestacions necessàries i no ha arribat als N/mm suficients als 7 dies.

També observem l'aparició d'una esquerda a la zona posterior de la proveta. Aquesta es presenta entre els dos claus que hem utilitzat per col·locar les platines. Així doncs, aquestes són degudes a el clavament d'aquests.



Il·lustració 5.2. Interpretació falla formigó PT4.01





Un tercer fet a comentar, és que el formigó a mesura que l'hem anat comprimint, no ha baixat d'una forma totalment perpendicular al terra, ja que, a la part davantera de la proveta, ha sobrepassat els dos elements de fusta 8mm. Així doncs, podem afirmar que les cares inferiors dels dos elements de fusta, tampoc eren planes en el sentit transversal.



Il·lustració 5.3. Interpretació falla formigó PT4.01

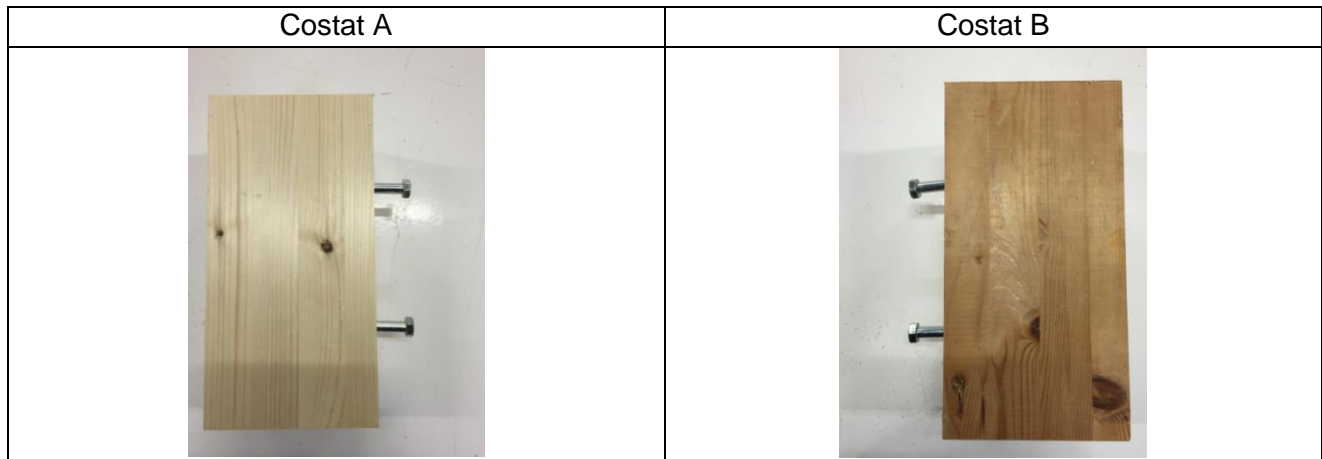
Interpretació del mode de falla dels tirafons

Observant l'estat final dels tirafons, podem veure les fletxes corresponents a cada tirafons.

Costat A	Costat B
PT4.01.A(1)  Fletxa: 5,92 mm	PT4.01.B(1)  Fletxa: 6,10 mm
PT4.01.A(2)  Fletxa: 5,94 mm	PT4.01.B(2)  Fletxa: 2,01 mm

En el cas d'aquesta proveta observem una similitud de fletxa entre els tirafons del costat PT4.01.A. Aquest han experimentat un canvi de 5,92 mm en el cas del tirafons superior del costat A, PT4.01.A (1) i de 5,94 mm en el cas del tirafons inferior del costat A, PT4.01.A (2).

En canvi el costat B, té una diferencia entre la fletxa dels dos tirafons. Mentre que el tirafons superior té una fletxa de 6,10mm, el PT4.01.B (1), l'inferior té una fletxa de 2,10mm, el PT4.01.B (2). Així doncs, el tirafons PT4.01.B (1), té una similitud respecte els tirafons de l'altre costat de la proveta i va en concordança a aquests.

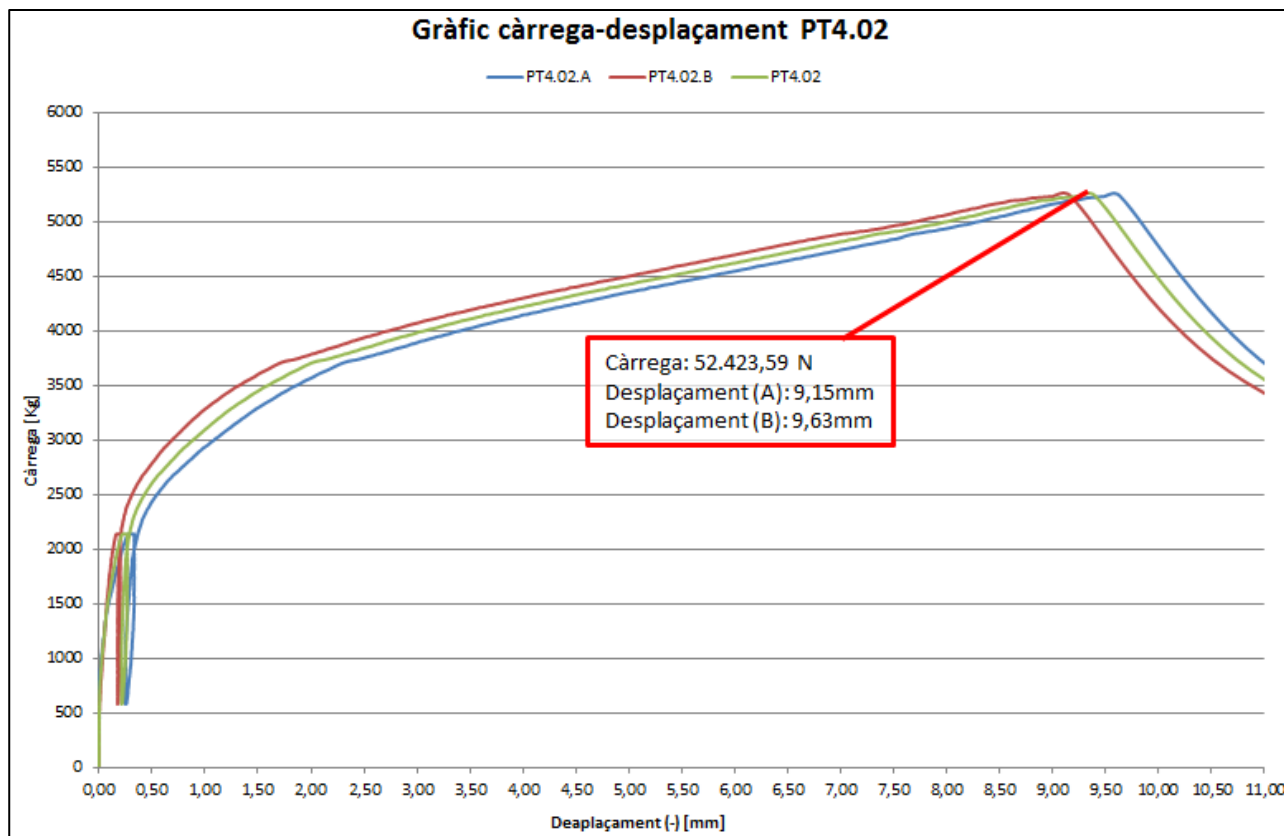


Si comparem l'estat inicial en el que es van clavar els tirafons, observem que no hi ha diferència en com han sigut clavats els tirafons del costat A, però els tirafons del costat B, tenen una diferència. El superior, tal i com observem en les imatges, no ha sigut clavat a 90 graus, en canvi el inferior sí.

Proveta PT4.02

Interpretació del gràfic

El gràfic càrrega-desplaçament de la proveta PT4.02 és el següent:



Observant el procediment de càrrega de la proveta PT4.02, amb la gràfica de desplaçament-càrrega, seguint la línia de visió denominada PT4.02, podem observar clarament la influència dels dos trams en els quals la pressió de la màquina va a velocitat constant. Així doncs, observem la recuperació dels elements de fixació mecànics al seu estat inicial tal i com ens mostra la gràfica de la normativa UNE 26891.

Seguint la línia gràfica PT4.02, no s'hi observa res estrany. Tot segueix segons la corba teòrica que hauria de fer la gràfica càrrega-desplaçament, fins al moment que la proveta falla. Si passem a observar per separat els dos elements de fusta (PT4.02A i PT4.02B) a la gràfica, tenim indicis de que la proveta no té una superfície de suport totalment plana. S'observa clarament que les dos línies gràfiques, segueixen un mateix mètode de desplaçament-càrrega, però sense seguir el mateix desplaçament. Així doncs, s'observa com la PT4.02A no té una totalitat de contacte amb el suport, i és per això que la seva línia gràfica està per sota la mitja, fent que la PT4.02B no avanci en el desplaçament de forma normal. Així doncs, la proveta no és plana en el sentit longitudinal, tal com succeeix amb la PT4.01. Si passem a observar els valors indicatius diferenciadors de l'assaig observem que en aquesta gràfica, les línies gràfiques dels dos costats de la proveta, no tenen una connexió i és per això que no arriben mai a anar sincronitzats. Fins i tot, el punt de falla 52.423,59 N en el tram de la V2, no corresponen amb el mateix desplaçament, ja que, la PT4.02A falla als 9,73 mm i la PT4.02B falla als 9,15 mm.

Interpretació del mode de falla del formigó

L'avaluació de la qualitat del formigó utilitzat en aquesta proveta, es tracta de l'extret de la mostra F1 amb 11 dies de curat, amb una mitja de resistència de càlcul de 11,78 N/mm. Aquesta proveta ha estat en procés de curació 11 dies, fallant als 615,1 s des de l'inici de l'assaig. A l'hora d'interpretar el mode de falla del formigó observant els resultats, observem una clara esquerda que va de la cara superior del formigó de la proveta PT4.02, a la cara inferior del formigó d'aquesta, partint en dos l'element de formigó en el sentit longitudinal de les cares superior i inferior.



Il·lustració 5.4. Interpretació falla formigó PT4.02

No s'observa cap més afecció important produïda a la proveta, produïda per l'aplicació del sistema d'assaig. Com a molt, només veiem com petits fragments esmicolats, s'han després del formigó degut a la pressió que s'exercia sobre ell.

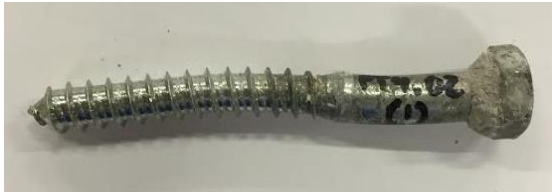
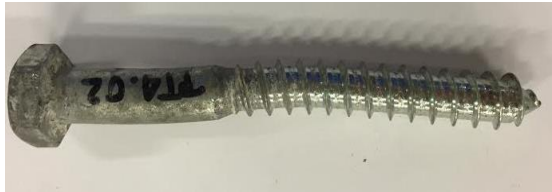




Il·lustració 5.5. Interpretació falla formigó PT4.02

Així doncs, tal i com ha succeït amb la proveta PT4.01, és l'únic fet rellevant que ens indica que ha fet fallida el formigó abans que la fusta i per tant, és necessària o més dies de curat o utilitzar un altre tipus de formigó, ja que, aquest tampoc ha resultat donar les prestacions necessàries tot i que ha estat en procés de curat durant 11 dies.

Interpretació del mode de falla dels tirafons



Observant l'estat final dels tirafons, podem veure les fletxes corresponents a cada tirafons.

Costat A	Costat B
PT4.02.A(1)  Fletxa: 4,00 mm	PT4.02.B(1)  Fletxa: 4,02 mm
PT4.02.A(2)  Fletxa: 3,81 mm	PT4.02.B(2)  Fletxa: 3,87 mm

Per tant, després d'observar-los, podem afirmar una similitud de fletxa entre els dos tirafons superiors i els dos tirafons inferiors.

Els dos tirafons localitzats a la part superior de la proveta, han experimentat un canvi de 4,00 mm en el cas del tirafons superior del costat A, PT4.02.A(1), i de 4,02 mm en el cas del tirafons superior B, PT4.02.B(1). En canvi, la parella de tirafons inferiors anant a la par com els superiors, han experimentat una fletxa de 3,81 mm en el cas del costat A, tirafons PT4.02.A(2), i una fletxa de 3,87 mm en el cas del costat B, tirafons PT4.02.B(2).

Així doncs, es pot dir que malgrat hi hagi una diferència entre els desplaçaments de fletxa dels tirafons de la part superior i els tirafons de la part inferior, la dissemblança entre aquests, no és suficientment exagerada com per considerar-la aquesta com un resultat desproporcional.

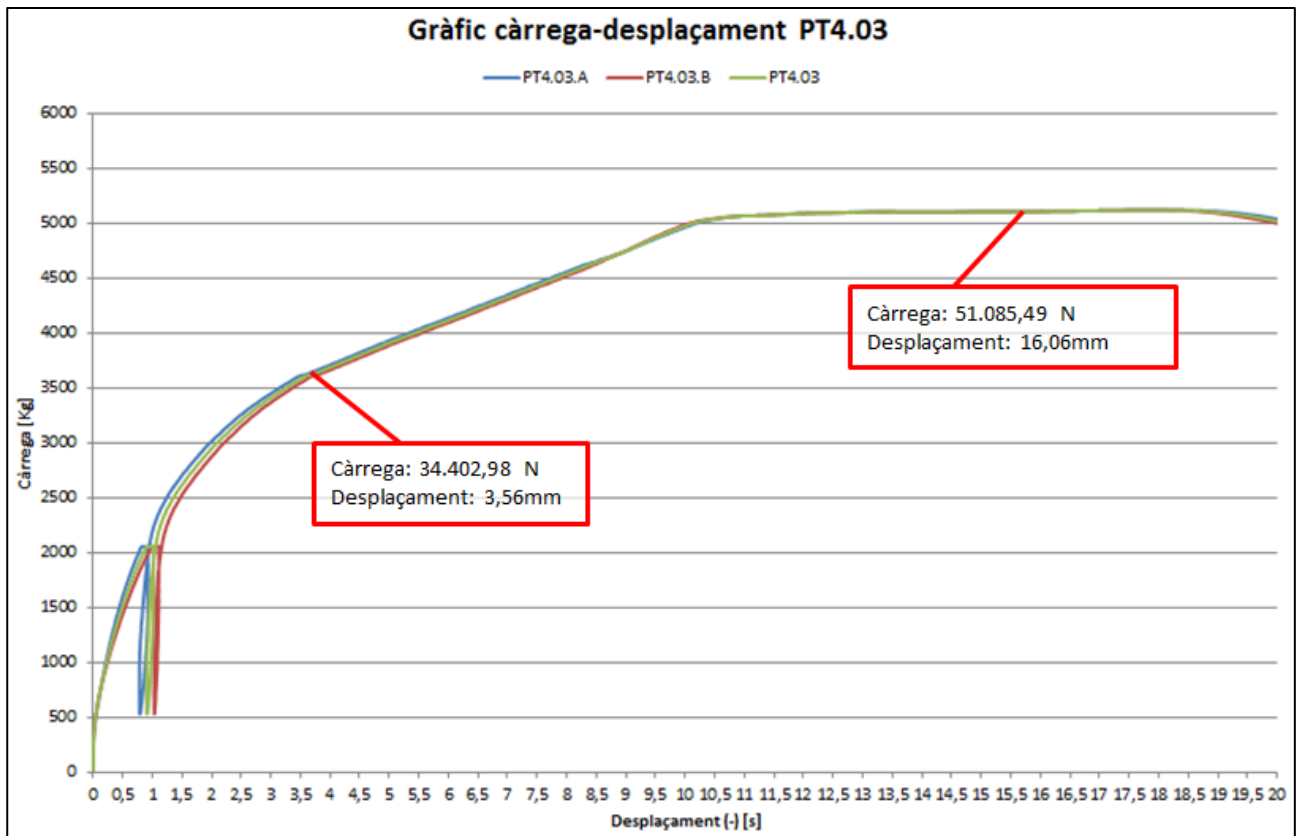
Costat A	Costat B
	

Com podem observar, no existeix una diferència significativa en la forma en què els tirafons han sigut clavats. S'observa doncs, una similitud en els angles de clavaments dels quatre tirafons.

Proveta PT4.03

Interpretació del gràfic

El gràfic càrrega-desplaçament de la proveta PT4.03 és el següent:



Observant el procediment de càrrega de la proveta PT4.03 feta amb compressió del formigó, amb la gràfica de desplaçament-càrrega, seguint la línia de visió denominada PT4.03, podem observar clarament sense diferències la influència del procediment de càrrega, en els dos trams en els quals la pressió de la màquina va a velocitat constant. Així doncs, observem la recuperació dels elements de fixació mecànics al seu estat inicial tal i com ens mostra la gràfica de la normativa UNE 26891. Seguint la línia gràfica PT4.02, no s'hi observa res estrany. Tot segueix segons la corba teòrica que hauria de fer la gràfica càrrega-desplaçament fins al moment que la proveta falli. En aquest cas però, no observem cap davallada en la gràfica perquè arribem a la càrrega màxima i l'assaig s'ha d'aturar.

A la gràfica, s'hi observa que la proveta no és plana totalment, tot i que la diferència és molt lleu, ja que, la diferència de desplaçament fins la sincronització entre les dos línies gràfiques PT4.03B i PT4.03A, és mínima. Així doncs, s'observa que la línia gràfica PT4.03B està per sota la mitjana, fet que descriu que el problema resideix en aquest costat de la proveta per que necessita trobar un punt de suport més estable. Mentre, degut a aquest fet, la PT4.03A no avança tan en el desplaçament. Fins que la PT4.03B no s'aposta bé i té un contacte estable amb el suport, i com a conseqüència tota la proveta, l'unió no comença a treballar conjuntament. Així doncs, la proveta és lleugerament no plana en el sentit longitudinal.

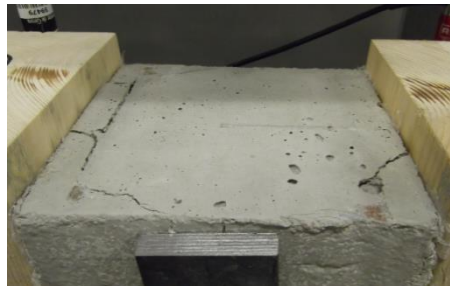
Si passem a observar els valors indicatius diferenciadors de l'assaig observem que en aquesta gràfica, no és fins als 34.402,98 N de càrrega, que observem una precisió i/o igualtat entre els dos costats (PT4.03A i PT4.03B). Així doncs, no observem una sincronització fins a aquest punt, on tenim un desplaçament aproximat de 3,56 mm respecte l'inicial. Seguidament, observem que és en el tram de V2, arribant a la càrrega màxima tenim un desplaçament total que sobrepassa els 15mm establerts, abans no aturem el procés.

Interpretació del mode de falla del formigó

L'avaluació de la qualitat del formigó utilitzat en aquesta proveta, es tracta de l'extret de la mostra F1 amb 11 dies de curat, amb una mitja de resistència de càlcul de 11,78 N/mm. Aquesta proveta ha estat en procés de curació 18 dies, fallant als 621,1 s des de l'inici de l'assaig.

A l'hora d'interpretar el mode de falla del formigó, no observem el mateix resultat que en les anteriors provetes PT4, no s'ha partit transversalment per la meitat. Aquesta proveta però, ha estat 21 dies amb el procés de curat i a més li hem afegit una compressió del formigó.

Així doncs, primerament observem clares esquerdes a la cara superior del formigó. Com podem veure a la imatge, veiem una esquerda paral·lela al costat A de la proveta que fa cunya a les dos cantonades pertanyents al seu costat. També n'observem una al costat B que fa cunya amb la cantonada davantera.



Il·lustració 5.6. Interpretació falla formigó PT4.03

A la cara inferior del formigó, observem també esquerdes. Aquestes però, no resulten fer la mateixa forma que les superiors, ja que, una neix del centre del costat A, però és parteix en dos anant a buscar els punts mitjos de les altres arestes. La esquerda nascuda a la cantonada davantera del costat B, si que sembla voler fer una cunya a la cantonada inferior. I finalment tenim una esquerda no tant significativa al centre de la cara, en forma paral·lela als costats amb els tirafons clavats dels elements de fusta.



Il·lustració 5.7. Interpretació falla formigó PT4.03

Si observem les cares longitudinals de la proveta PT4.03, observem una petita esquerda a la part inferior davantera del costat A, paral·lela al terra. No s'observa cap més afecció important produïda a la proveta, produïda per l'aplicació del sistema d'assaig, només un fet poc important; una esquerda nascuda del forat executat per col·locar-hi els claus per fixar les platines.



Il·lustració 5.8. Interpretació falla formigó PT4.03

Observant la forma final de l'element de formigó, observem un con com a resultat. Allà on teníem col·locats els tirafons queda una forma còncava totalment trinxada, degut a l'ubicació d'aquests. En canvi, allà on no hi havia cap element mecànic de fixació, a quedat una forma convexa.

Observem també el resultat de les esquerdes, quedant a la cara superior més superfície que a l'inferior però amb les cunyes esmentades anteriorment. També observem el resultat d'utilitzar l'element de compressió, que es veu perfectament marcat en la forma de la platina del sistema, evitant la partició de l'element de formigó.



Il·lustració 5.9. Interpretació falla formigó PT4.03

Interpretació del mode de falla dels tirafons



Observant l'estat final dels tirafons, podem veure les fletxes corresponents a cada tirafons.

Costat A	Costat B
PT4.03.A(1)  Fletxa: 5,21 mm	PT4.03.B(1)  Fletxa: 3,72 mm
PT4.03.A(2)  Fletxa: 3,93 mm	PT4.03.B(2)  Fletxa: 5,37 mm

En el cas d'aquesta proveta observem un fet molt estrany. Existeix una similitud de fletxa entre parelles de tirafons però en diagonal. Anomenarem a això similitud diagonal.

Com observem en la taula doncs, observem una similitud diagonal entre els tirafons PT4.03.A (1) i el PT4.03.B(2), amb unes fletxes de 5,21mm i 5,37mm respectivament. Els altres dos tirafons, corresponents als PT4.03.B(1) i PT4.03.A(2) tenen unes fletxes corresponents a 3,72mm i 3,93mm.

Encara que hi ha dissimilituds entre les semblances diagonals, no les considerarem suficientment exagerades com per considerar-la aquesta com un resultat desproporcional.

Costat A	Costat B
	

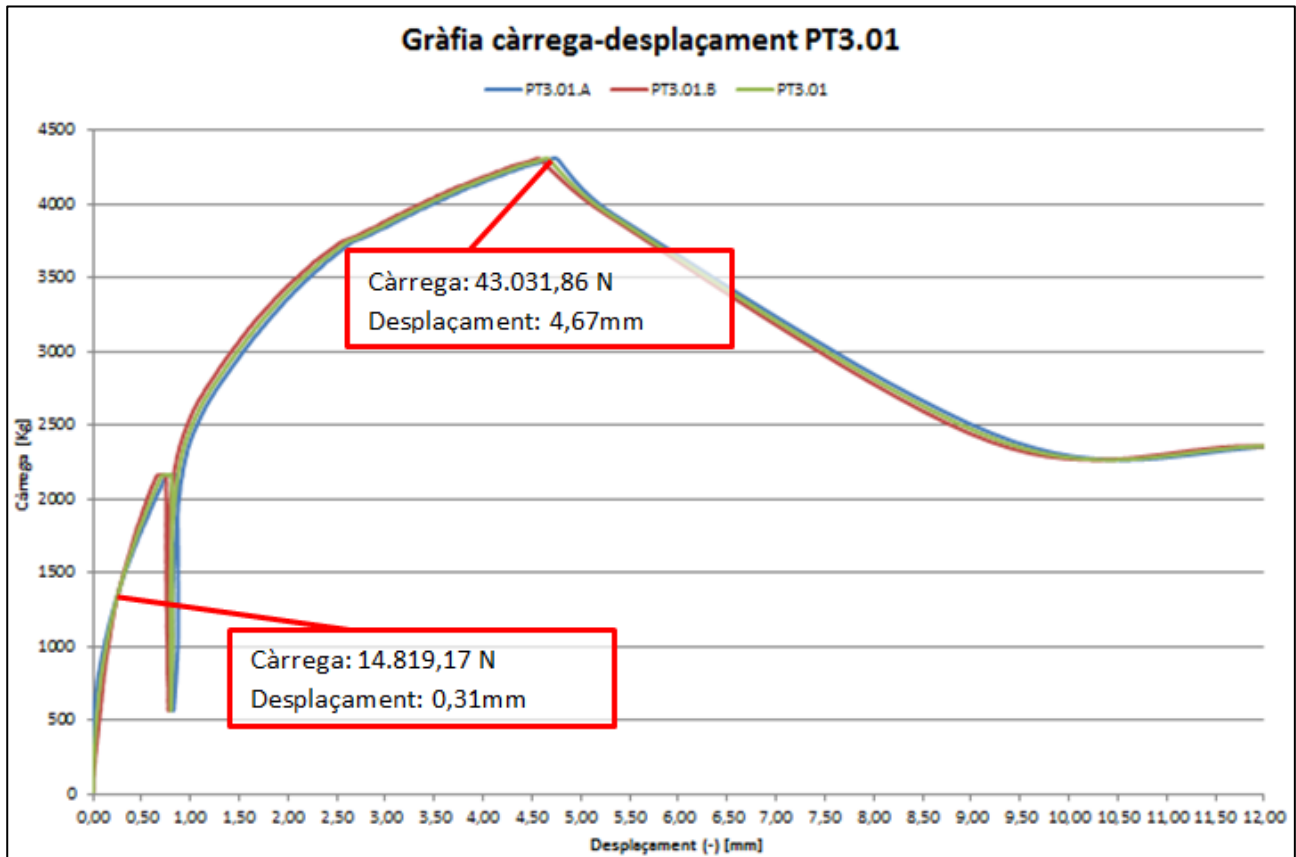
Com podem observar, existeix una petita variació en l'angle de clavament dels parells de tirafons PT4.03.A(1) i el PT4.03.B(2) i els parells PT4.03.B (1) i el PT4.03.A(2). El primer grup ha sigut clavats amb un angle recte de 90°, el segon grup estan clavats lleugerament inclinats cap amunt. S'observa doncs, una similitud diagonal en els angles de clavaments dels tirafons.

5.2- Provetes PT3

Proveta PT3.01

Interpretació del gràfic

El gràfic càrrega-desplaçament de la proveta PT3.01 és el següent:



Observant el procediment de càrrega de la proveta PT3.01, amb la gràfica de desplaçament-càrrega, seguint la línia de visió denominada PT3. 01, podem observar clarament sense diferències la influència del procediment de càrrega, en els dos trams en els quals el procediment de càrrega va a velocitat constant. Així doncs, observem la recuperació dels elements de fixació mecànics al seu estat inicial tal i com ens mostra la gràfica de la normativa UNE 26891.

Seguint la línia gràfica PT3.01, no s'hi observa res estrany. Tot segueix segons la corba teòrica que hauria de fer la gràfica càrrega-desplaçament fins al moment que la proveta falli.

A la gràfica, s'hi observa que la proveta no és plana totalment. Podem observar com les línies gràfiques corresponents a cada costat (PT3.01.A i PT3.01.B), no van totalment sincronitzades. Abans d'arribar al moment on la càrrega va a velocitat constant, arriben a un punt on van en sincronia, amb càrrega 14.819,17 N i un desplaçament de 0,31 mm. A partir d'aquí però, tornen a separar-se mínimament i van seguint el procediment de forma correcta fins arribar a la càrrega on la proveta falla. Aquest punt és el punt on la càrrega està a 43.031,86 N i la unió del conjunt té un desplaçament de 4,67mm.

Interpretació del mode de falla del formigó

L'avaluació de la qualitat del formigó utilitzat en aquesta proveta, es tracta de l'extret de la mostra F1 amb 11 dies de curat, amb una mitja de resistència de càlcul de 11,78 N/mm. Aquesta proveta ha estat en procés de curació 11 dies, fallant als 505,1 s des de l'inici de l'assaig.

A l'hora d'interpretar el mode de falla del formigó observant els resultats, observem primerament una clara esquerda que va de la cara superior del formigó de la proveta PT3.01, a la cara inferior del formigó d'aquesta, partint en dos l'element de formigó en el sentit longitudinal de les cares superior i inferior.



II-lustració 5.10. Interpretació falla formigó PT3.01

Aquest és un fet rellevant que ens indica que ha fet fallida el formigó abans que la fusta i per tant, és necessària o més dies de curat o utilitzar un altre tipus de formigó, ja que, aquest no ha resultat donar les prestacions necessàries i no ha arribat a tenir la suficient resistència.



II-lustració 5.11. Interpretació falla formigó PT3.01

També observem l'aparició d'una esquerda a la zona posterior de la proveta. Aquesta es presenta al centre de la cara posterior, naixent del costat B i arribant al clau utilitzat per clavar les platines de mesura, del altre costat A.

Respecte a esquerdes aparegudes en l'element de formigó, ocasionades per l'assaig, no s'observa res més.







Il·lustració 5.12. Interpretació falla formigó PT3.01

El resultat final de l'element de formigó, és la partició d'aquest, en dos parts, tal i com observem en la imatge.

Interpretació del mode de falla dels tirafons

Observant l'estat final dels tirafons, podem veure les fletxes corresponents a cada tirafons.

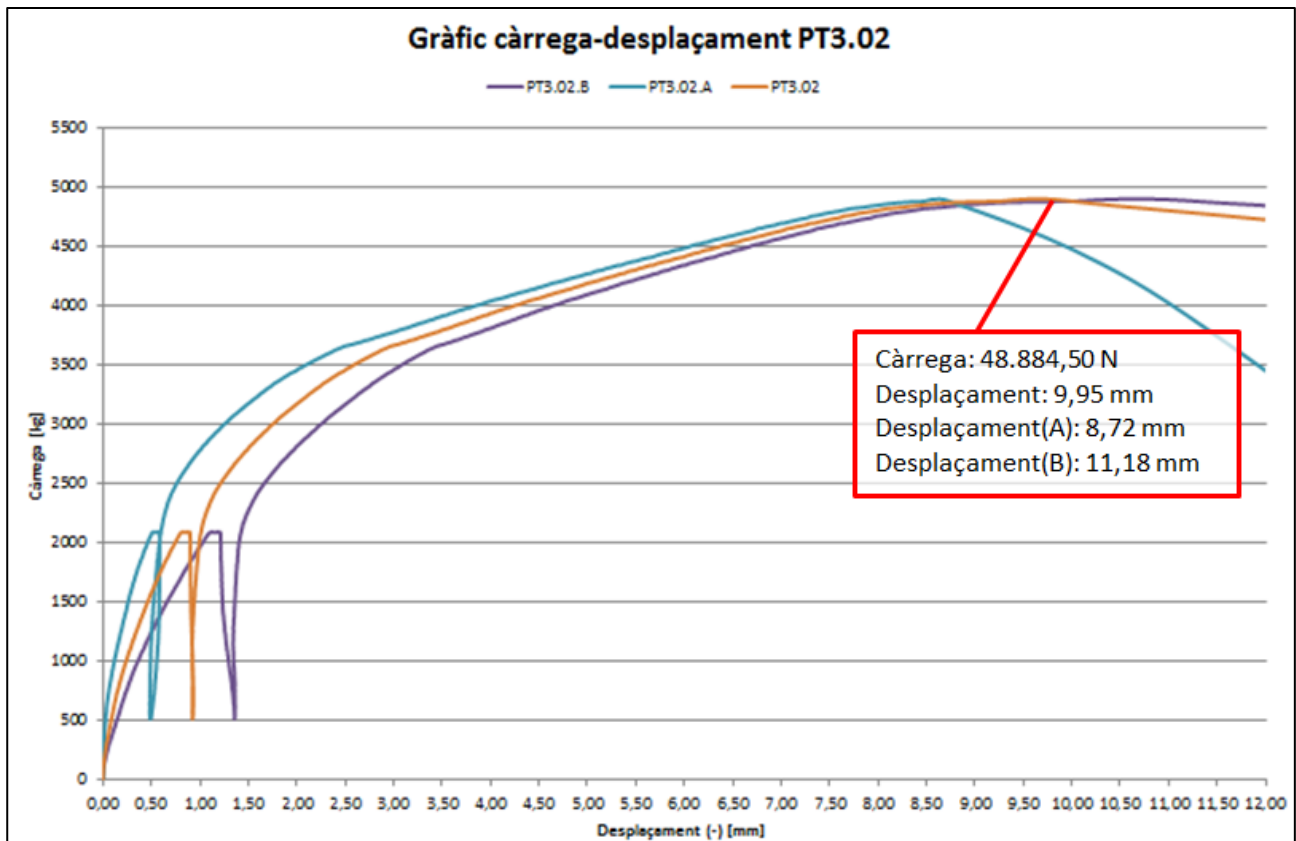
Costat A	Costat B
PT3.01.A(1)  Fletxa: 6,04 mm	PT3.01.B(1)  Fletxa: 6,73 mm
PT3.01.A(2)  Fletxa: 6,10 mm	PT3.01.B(2)  Fletxa: 5,98 mm

En el cas d'aquesta proveta PT3.01, observem com tres tirafons s'han comportat de forma similar però el restant ha resultat una fletxa diferent. Tenim que els tirafons del costat A, els PT3.01.A(1) i PT3.01.A(2), han resultat tenir un desplaçament de fletxa de 6,04 mm i 6,10 mm respectivament. Un resultat molt similar al desplaçament de fletxa del tirafons PT3.01.B(2), que ha resultat 5,98 mm. En canvi, el tirafons PT3.01.B(1) ha arribat a tenir una fletxa de 6,73 mm. No podem observar si existeix una petita variació en l'angle de clavament del tirafons PT3.01.B(1) respecte els altres tres, ja que, no tenim una referència anterior.

Proveta PT3.02

Interpretació del gràfic

El gràfic càrrega-desplaçament de la proveta PT3.02 és el següent:



Observant el procediment de càrrega de la proveta amb la gràfica de desplaçament-càrrega, seguint la línia de visió denominada PT3. 02, podem observar clarament sense diferències la influència del procediment de càrrega, en els dos trams en els quals el procediment de càrrega va a velocitat constant. Així doncs, observem la recuperació dels elements de fixació mecànics al seu estat inicial tal i com ens mostra la gràfica de la normativa UNE 26891.

Seguint la línia gràfica PT3.02, no s'hi observa res estrany. Tot segueix segons la corba teòrica que hauria de fer la gràfica càrrega-desplaçament fins al moment que la proveta falli.

A la gràfica, observem que la proveta no és plana. Les línies gràfiques corresponents a cada costat (PT3.02.A i PT3.02.B), en cap moment van a la par. Així doncs, la proveta en cap moment treballa com un conjunt, arribant a fallar a una càrrega de 48.884,50 N, però amb desplaçaments diferents per a cada costat. El costat PT3.02.A mostra un desplaçament de 8,72mm i el costat PT3.02.B un desplaçament de 11,18mm, obtenint així una mitjana de 9,95mm.

Interpretació del mode de falla del formigó

L'avaluació de la qualitat del formigó utilitzat en aquesta proveta, es tracta de l'extret de la mostra F2.1 i F2.2 amb 11 dies de curat, amb una mitja de resistència de càlcul de 19,42 N/mm. Aquesta proveta ha estat en procés de curació 11 dies, fallant als 581,1 s des de l'inici de l'assaig.

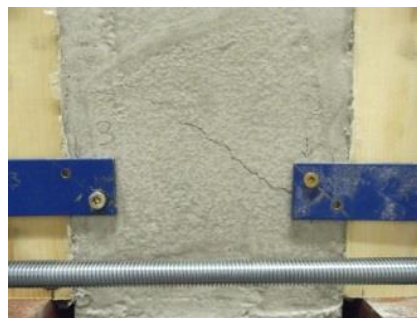
A l'hora d'interpretar el mode de falla del formigó observant els resultats, observem primerament una clara esquerda a la cara superior del formigó de la proveta PT3.02. En canvi a la part inferior no trobem cap alteració de l'element de formigó. A la part posterior i anterior de l'element de formigó si que hi trobem algunes esquerdes.

Primerament, observant l'esquerda apareguda a la cara superior, podem veure la profunditat d'aquesta. Està ubicada al centre de la cara i va de costat a costat en el sentit longitudinal de la proveta.



Il·lustració 5.13. Interpretació falla formigó PT3.02

Si parlem de les cares davantera i posterior, podem observar que segueixen un mateix patró. Les dues esquerdes neixen al clau per el clavament de la platina de mesura, ubicat al costat B i van en direcció contrària.



Il·lustració 5.14. Interpretació falla formigó PT3.02

La esquerda de darrere té una diferencia respecte la de davant, ja que, la primera es parteix en dues, tal que la primera partició va a buscar el clau per la platina de mesura de l'altre costat i la segona va a morir al centre del costat A.



Il·lustració 5.15. Interpretació falla formigó PT3.02

Un altre fet observat, és que degut a que no es va enrasar bé el formigó, sobresurten 2mm d'element de formigó respecte els 14cm que hauria de fer l'amplada d'aquest. Així doncs, és possible que aquest fet pogués influir en els resultats mínimament.



Il·lustració 5.16. Interpretació falla formigó PT3.02





Per últim, observem que el resultat final de l'element de formigó, és un element en forma de L. La resta d'aquest element, resulta de les esquerdes de la part anterior del formigó i de l'esquerda apareguda a la cara superior.



Il·lustració 5.17. Interpretació falla formigó PT3.02



Interpretació del mode de falla dels tirafons

Observant l'estat final dels tirafons, podem veure les fletxes corresponents a cada tirafons.

Costat B	Costat A
PT3.02.B(1)  Fletxa: 5,63 mm	PT3.02.A(1)  Fletxa: 4,41 mm
PT3.02.B(2)  Fletxa: 5,61 mm	PT3.02.A(2)  Fletxa: 3,92 mm

En el cas d'aquesta proveta observem que una parella de tirafons del mateix costat, tenen un resultat molt similar. L'altre parell, tenen un resultat diferent amb 0,5mm de diferència de fletxa.

Així doncs, com observem en la taula, existeix una similitud entre els tirafons PT3.02.B (1) i el PT3.02.B(2), amb unes fletxes de 5,63mm i 5,61mm respectivament. Els altres dos tirafons, no tenen gaire relació, resultant a la fletxa de PT3.02.A(1) uns 4,41 mm i PT3.02.A(2) una fletxa de 3,92mm. Només trobem similitud en el costat B de la proveta.

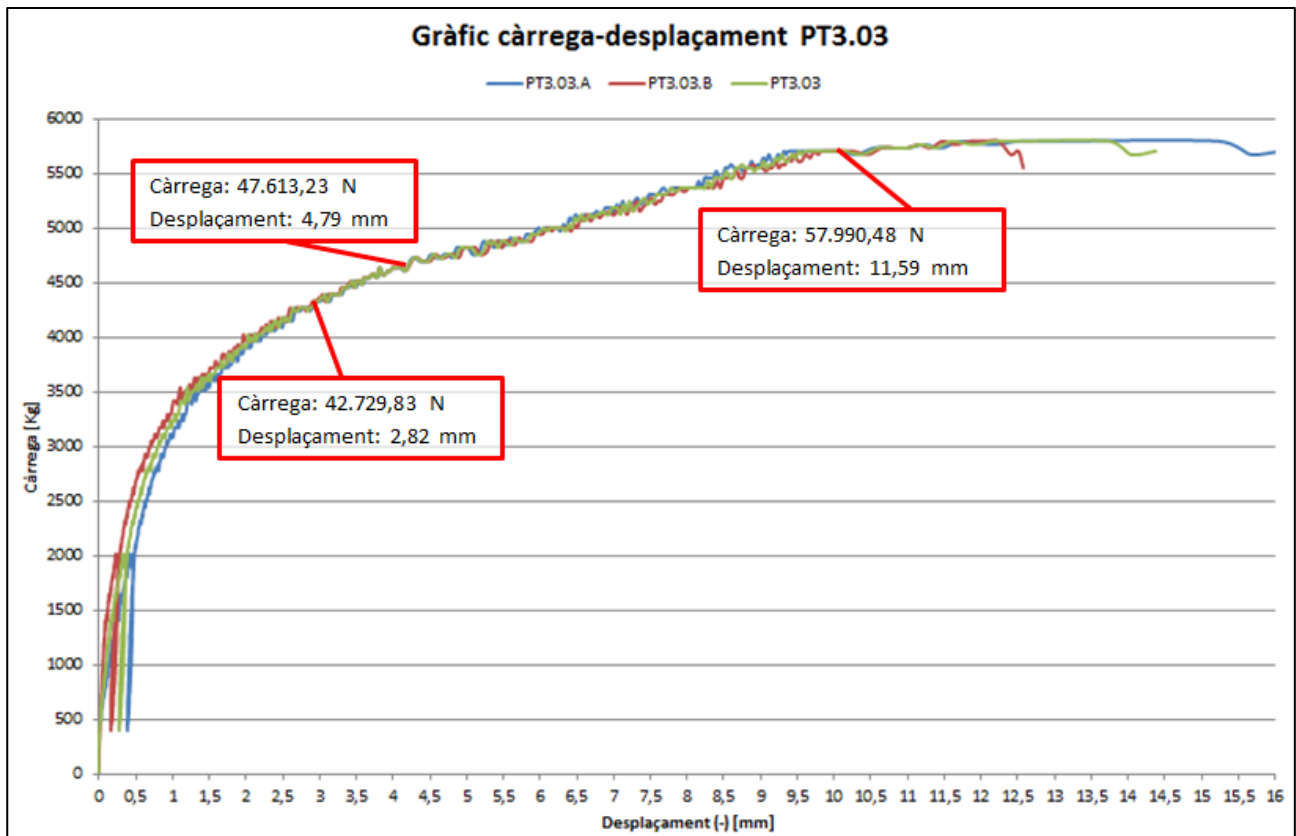
Costat B	Costat A
	

Com podem observar, no existeix cap fet explicatiu de la lleu diferència de resultat en el costat A de la proveta, ja que, han estat clavats tots amb un angle semblant.

Proveta PT3.03

Interpretació del gràfic

El gràfic càrrega-desplaçament de la proveta PT3.03 és el següent:



Primerament, cal observar que les línies gràfiques tenen moltes irregularitats. Això és degut a que el l'aparell de precisió que utilitzàvem va espatllar-se i aquesta mesura és la que ens dona la l'aparell de compressió hidràulic, que tot i que no és tan exacte, serà suficient per executar l'assaig.

Observant el procediment de càrrega de la proveta PT3.03, amb la gràfica de desplaçament-càrrega, seguint la línia de visió denominada PT3.03, podem observar amb bastanta claredat la influència del procediment de càrrega, en els dos trams en els quals el procediment de càrrega va a velocitat constant. Així doncs, observem la recuperació dels elements de fixació mecànics al seu estat inicial tal i com ens mostra la gràfica de la normativa UNE 26891.

Seguint la línia gràfica PT3.03, no s'hi observa res estrany. Tot segueix segons la corba teòrica que hauria de fer la gràfica càrrega-desplaçament fins al moment que la proveta falli. En aquest cas però, no observem cap davallada en la gràfica i parem als 57.990,48 N que és on parem l'assaig, superant amb escreix la càrrega estimada màxima estimada de trencament.

A la gràfica, tot i que s'hi observa una certa planeïtat, la proveta no és plana totalment. Podem observar una certa dissimilitud de desplaçament entre els dos costats de la proveta (PT3.03A i PT3.03B) fins que no arriben a la sincronització entre aquests dos línies gràfiques. Així doncs, s'observa que la línia gràfica PT3.03A està per sota la mitjana, fet que descriu que tot i ésser mínim, el problema resideix en aquest costat de la proveta per que necessita trobar un punt de suport més estable. Mentre, degut a aquest fet, la PT3.03A no avança tan en el desplaçament.

Fins que la PT3.03B no té suficient contacte amb el suport com per ésser estable, i com a conseqüència tota la proveta, l'unió no comença a treballar conjuntament. Així doncs, la proveta al no ésser plana, no comença a treballar fins al punt de la connexió de les dos línies gràfiques A i B, que són els 42.729,83 N de càrrega. Aquest punt, correspon a un desplaçament de 2,82 mm.

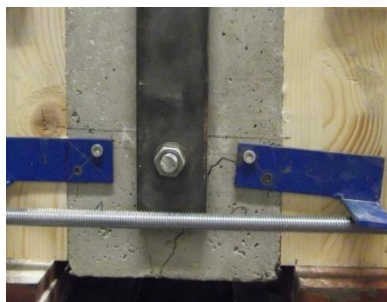
Seguidament, observem que arriba al punt de càrrega de 47.613,23 N amb un desplaçament de 4,79 mm, on es tornen a desincronitzar, en menys magnitud que l'inici però. Arribem al punt de càrrega màxim que hem permès (57.990,48 N), ja que, parem la maquinària amb un desplaçament de 11,59 mm.

Interpretació del mode de falla del formigó

L'avaluació de la qualitat del formigó utilitzat en aquesta proveta, es tracta de l'extret de la mostra F2.3 amb 27 dies de curat, amb una resistència de càlcul de 16,27 N/mm. Aquesta proveta ha estat en procés de curació 27 dies, fallant als 711,1 s des de l'inici de l'assaig. A més, li hem afegit el sistema de precompressió de formigó.

A l'hora d'interpretar el mode de falla del formigó observant els resultats, observem primerament una clara esquerda a la cara inferior del formigó de la proveta PT3.03. En canvi a la part superior no trobem cap alteració de l'element de formigó. A la part posterior i anterior de l'element de formigó si que hi trobem algunes esquerdes.

Primerament, observant l'esquerda apareguda a la cara davantera, podem veure sorgeix a partir del clau de la platina de mesura del costat A, arribant fins al centre de l'aresta inferior, de tal manera que queda realitzada una mossegada en forma de cunya.



Il·lustració 5.18. Interpretació falla formigó PT3.03

Si parlem de la cara posterior, observem la mateixa mossegada en el formigó, en el mateix costat A, amb la diferència que l'esquerda es parteix, de tal forma que una de les particions realitza la mossegada i l'altre sembla intentar partir longitudinalment l'element de formigó en dos.



Il·lustració 5.19. Interpretació falla formigó PT3.03

Com hem comentat inicialment, tenim una esquerda a la cara inferior, realitzada paral·lelament als dos costats de l'element de formigó en contacte els elements de fusta.



Il·lustració 5.20. Interpretació falla formigó PT3.03





Per últim, observem que el resultat final de l'element de formigó, és d'un aspecte molt cohesionat i és molt difícil extreure'l per realitzar els resultats. Extraïem una forma de con. Allà on hi havia ubicats els tirafons, el formigó ha quedat trinxat i allà on no hi eren, ha quedat més massa de formigó.



Il·lustració 5.21. Interpretació falla formigó PT3.03



Interpretació del mode de falla dels tirafons

Observant l'estat final dels tirafons, podem veure les fletxes corresponents a cada tirafons.

Costat A	Costat B
PT3.03.A(2)  Fletxa: 4,20 mm	PT3.03.B(2)  Fletxa: 4,47 mm
PT3.03.A(1)  Fletxa: 4,00 mm	PT3.03.B(1)  Fletxa: 3,75 mm

Observant-los, poder veure una similitud entre les fletxes produïdes en els tirafons del costat de la PT3.03.A, Ambdós tenen un resultat similar. En cas dels tirafons ubicats al costat PT3.03.B, observem una dissimilitud d'uns 0,7mm.

Els dos tirafons localitzats al costat PT3.03.A, com hem comentat abans tenen una certa similitud; el tirafons PT3.03.A(1) té una fletxa de 4,20mm i el PT3.03.B(2) correspon amb un desplaçament de fletxa de 4,00 mm. En canvi, la parella de tirafons del costat PT3.03.B, té una dissimilitud de resultat molt evident. Mentre que el tirafons PT3.03.B(1) ha resultat tenir una fletxa de 4,47 mm, el tirafons PT3.03.B(2) té una fletxa de 3,75 mm, superant en més de 0,7mm els altres elements. Així doncs, observem una semblança de resultats entre els tirafons del costat A de la proveta, però una diferència molt gran dels tirafons del costat B, entre ells.

Costat A	Costat B
	

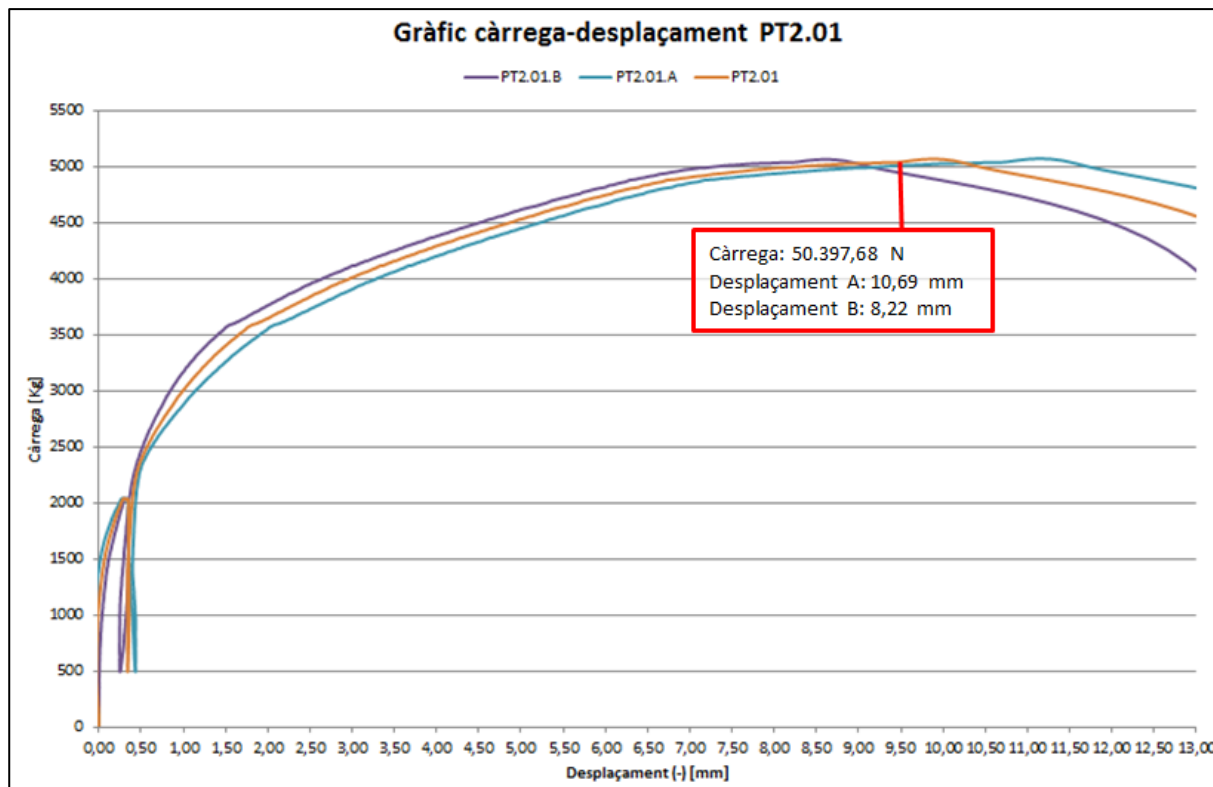
Com podem observar, existeix una petita variació en l'angle de clavament entre un dels dos parells de tirafons, però és el cas dels tirafons del costat A, que són els que s'han sincronitzat millor (PT3.03.A(1) i el PT3.03.A(2)).

5.3- Provetes PT2

Proveta PT2.01

Interpretació del gràfic

El gràfic càrrega-desplaçament de la proveta PT2.01 és el següent:



Observant el procediment de càrrega de la proveta PT2.01, amb la gràfica de desplaçament-càrrega, seguint la línia de visió denominada PT2.01, podem observar amb bastanta claredat la influència del procediment de càrrega, en els dos trams en els quals el procediment de càrrega va a velocitat constant. Així doncs, observem la recuperació dels elements de fixació mecànics al seu estat inicial tal i com ens mostra la gràfica de la normativa UNE 26891. Seguint la línia gràfica PT2.01, no s'hi observa res estrany. Tot segueix segons la corba teòrica que hauria de fer la gràfica càrrega-desplaçament fins al moment que la proveta falli. En aquest cas però, no observem cap davallada en la gràfica i parem als 50.397,68 N que és on parem l'assaig, ja que, arribem a la càrrega de trencament estimada per aquest.

A la gràfica, no observem una planeïtat dels costats ni tampoc un treball en conjunt com un sol tot, ja que, nen cap moment observem una sincronització de les línies gràfiques. Des de l'inici, las línies gràfiques tenen certa diferència i per tant la proveta no està treballant com una unió conjunta. Segueix amb aquest procés fins al final de l'assaig, que és al arribar a la càrrega 50.397,68 N (càrrega estimada) amb un desplaçament de 9,45 mm. S'observa però, que la proveta és molt irregular, ja que, la línia gràfica PT2.01.B inicia el procés sent el costat que necessita trobar un contacte estable, però després de realitzar i superar el procés de velocitat constant (on es realitza la corba teòrica en la gràfica), és la PT2.01.A la que busca tenir un contacte estable.

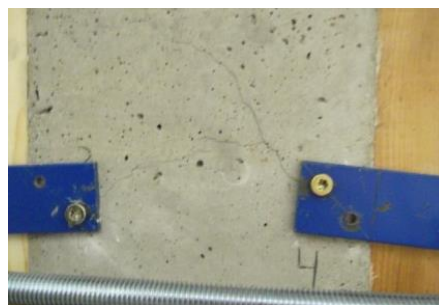
Interpretació del mode de falla del formigó

L'avaluació de la qualitat del formigó utilitzat en aquesta proveta, es tracta de l'extret de la mostra F2.1 i F2.2 amb 11 dies de curat, amb una mitja de resistència de càlcul de 19,42 N/mm. Aquesta proveta ha estat en procés de curació 11 dies, fallant als 611,1 s des de l'inici de l'assaig. A l'hora d'interpretar el mode de falla del formigó de la proveta PT2.01, observem que ni la cara superior ni la inferior, tenen cap símptoma de esquerdes. En canvi, no succeeix el mateix amb la part davantera i posterior.



II-lustració 5.22. Interpretació falla formigó PT2.01

Com hem comentat, observem afeccions a la part davantera de l'element de formigó. Observem primerament una esquerda corba, que va de clau a clau de les platines de mesura. I una altre més profunda al centre, que travessa transversalment l'element de formigó.



II-lustració 5.23. Interpretació falla formigó PT2.01





Per últim, observem que el resultat final de l'element de formigó, és un element amb una mossegada central, quedant-se intacte la part davantera inferior, i la part superior davantera quasi amb la seva totalitat.



II-lustració 5.24. Interpretació falla formigó PT2.01



Interpretació del mode de falla dels tirafons

Observant l'estat final dels tirafons, podem veure les fletxes corresponents a cada tirafons.

Costat A	Costat B
PT2.01.A(1)  Fletxa: 3,01 mm	PT2.01.B(1)  Fletxa: 2,93 mm
PT2.01.A(2)  Fletxa: 3,47 mm	PT2.01.B(2)  Fletxa: 3,64 mm

Observant-los, poder veure una similitud entre les fletxes produïdes en els parells de tirafons superiors i els parells de tirafons inferiors. Així doncs, els tirafons PT2.01.A (1) i PT2.01.B(1) tenen un resultat similar, i els PT2.01.A (2) i PT2.01.B (2) entre ells dos també.

Els dos tirafons ubicats a la part superior (PT2.01.A (1) i PT2.01.B (1)), tenen una fletxa de 3,01 mm i 2,93 mm, tenint una diferència de menys de 0,1 mm. Per un altre part, els tirafons inferiors ((PT2.01.A (2) i PT2.01.B (2)), han obtingut un resultat de fletxa de 3,47 mm i 3,64 mm respectivament, tenint un resultat una mica més ampli de 0,1 mm, però essent aquest resultat similar.

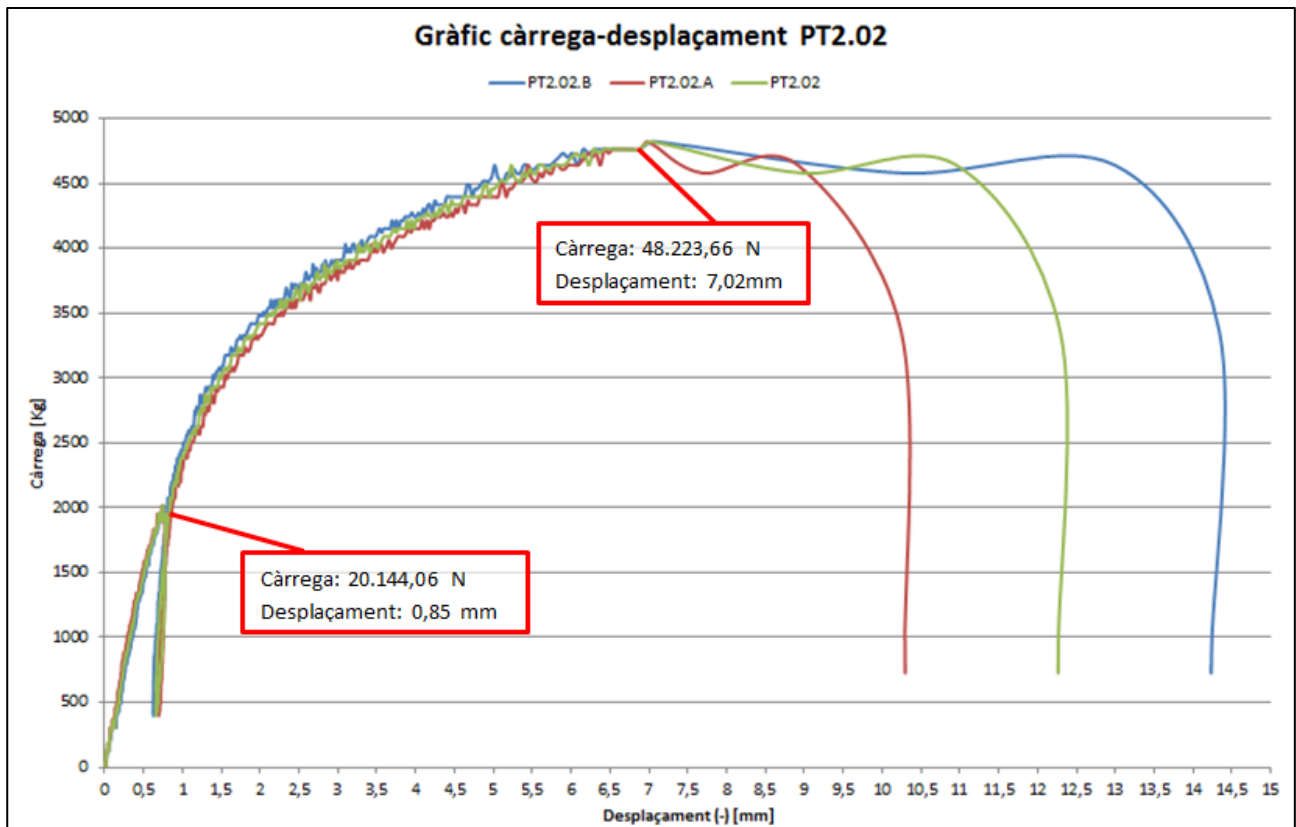
Costat A	Costat B
	

Com podem observar, existeix una petita variació en l'angle de clavament entre els dos tirafons del costat A, ja que l'inferior PT2.01.A (2), està clavat més inclinadament que el superior PT2.01.A (1).

Proveta PT2.02

Interpretació del gràfic

El gràfic càrrega-desplaçament de la proveta PT2.02 és el següent:



Primerament, com passa amb la PT3.03, cal observar que las línies gràfiques tenen moltes irregularitats. Això és degut a que el l'aparell de precisió que utilitzàvem va espatllar-se i aquesta mesura és la que ens dona la l'aparell de compressió hidràulic, que tot i que no és tan exacte, serà suficient per executar l'assaig.

Observant el procediment de càrrega de la proveta PT2.02, amb la gràfica de desplaçament-càrrega, seguint la línia de visió denominada PT2.02, podem observar amb claredat la influencia del procediment de càrrega, en els dos trams en els quals el procediment de càrrega va a velocitat constant. Així doncs, observem la recuperació dels elements de fixació mecànics al seu estat inicial tal i com ens mostra la gràfica de la normativa UNE 26891.

Seguint la línia gràfica PT2.02, no s'hi observa res estrany. Tot segueix segons la corba teòrica que hauria de fer la gràfica càrrega-desplaçament fins al moment que la proveta falla.

A la gràfica, s'observa com les dues línies gràfiques (PT2.02A i PT2.02B), van sincronitzades en concordança amb la PT2.02, de tal forma que podem afirmar que la proveta és suficientment plana com per que treballin les fixacions com un conjunt, fins al punt que arriben a la càrrega 20.144,06 N i desplaçament 0,85 mm, on deixen d'anar conjuntament.

Finalment, just al arribar a la càrrega de trencament 48.223,66 N, és on es tornen a ajuntar amb un desplaçament de 7,02 mm.

Interpretació del mode de falla del formigó

L'avaluació de la qualitat del formigó utilitzat en aquesta proveta, es tracta de l'extret de la mostra F2.3 amb 27 dies de curat, amb una mitja de resistència de càlcul de 16,27 N/mm. Aquesta proveta ha estat en procés de curació 27 dies, fallant als 596,1 s des de l'inici de l'assaig.

A l'hora d'interpretar el mode de falla del formigó de la proveta PT2.02, observem afeccions, a les quatre cares visibles de l'element de formigó (cara davantera, cara posterior, inferior i superior. Mentre que les esquerdes produïdes a la cares davantera i posterior són més llargues, les de les cares superior i inferior són mossegades en forma de cunya.

Primerament observem la cara davantera, on hi apareix una esquerda que neix a la cara inferior del costat B i travessa la cara diagonalment fins arribar gairebé a l'altre extrem oposat del costat superior A.



Il·lustració 5.25. Interpretació falla formigó PT2.02

Com hem comentat, observem afeccions a la part posterior de la proveta. Una esquerda central, neix de la aresta base de l'element de formigó, arribant fins al mateix pla que l'esquerda de la cara davantera.



Il·lustració 5.26. Interpretació falla formigó PT2.02

Si parlem de les cares superiors, observem una mossegada en forma de cunya a cada cara i en el mateix costat B.



Il·lustració 5.27. Interpretació falla formigó PT2.02





Per últim, observem que el resultat final de l'element de formigó, tot i conformar un sol element, difícil de petar, segueix sent el formigó, l'element que falla abans.



Il·lustració 5.28. Interpretació falla formigó PT2.02

Interpretació del mode de falla dels tirafons

Observant l'estat final dels tirafons, podem veure les fletxes corresponents a cada tirafons.

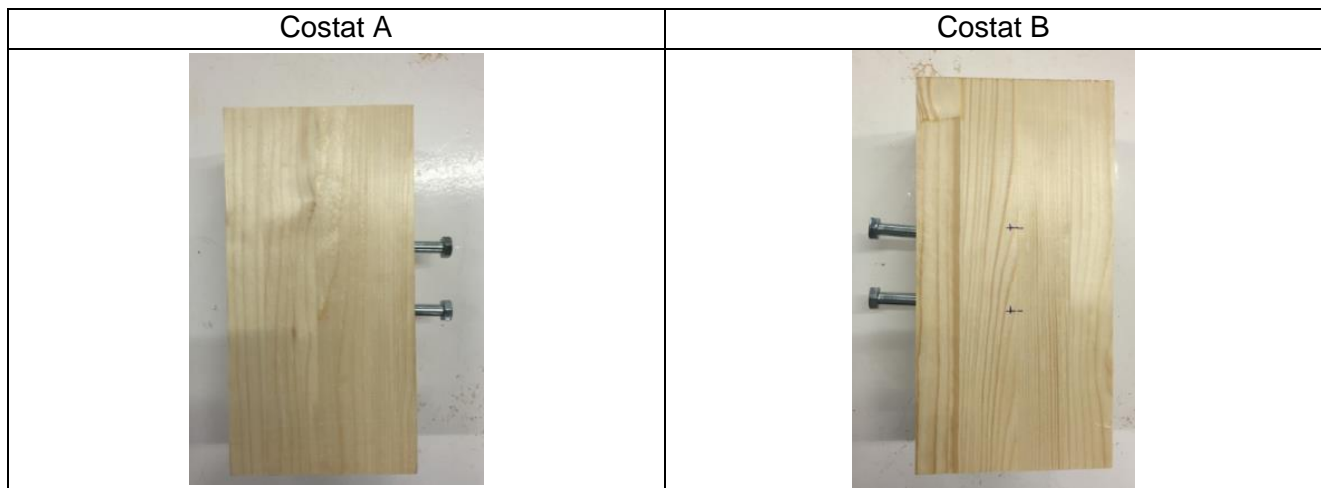
Costat B	Costat A
PT2.02.A(2)  Fletxa: 4,28 mm	PT2.02.B(1)  Fletxa: 4,20 mm
PT2.02.A(1)  Fletxa: 4,37 mm	PT2.02.B(2)  Fletxa: 3,40 mm

Observant-los, poder veure una similitud entre les fletxes produïdes en els tirafons del costat de la PT2.02.A, Ambdós tenen un resultat similar. En cas dels tirafons ubicats al costat PT2.02.B, observem una dissimilitud, però el tirafons superior va en concordança de fletxa amb els del costat A.

Els dos tirafons localitzats al costat PT2.02.A, com hem comentat abans tenen una certa similitud; el tirafons PT2.02.A(1) té una fletxa de 4,28mm i el PT2.02.B(2) correspon amb un desplaçament de fletxa de 4,37 mm. Per tant, són similars.

En canvi, la parella de tirafons del costat PT2.02.B, té una dissimilitud de resultat. Mentre que el tirafons PT2.02.B(1) ha resultat tenir una fletxa de 4,20 mm aproximant-se així a resultats de l'altre parella de tirafons, el tirafons PT2.02.B(2) té una fletxa de 3,40 mm, sent una diferència de 0,8 mm.

Així doncs, observem una semblança de resultats entre els tirafons del costat A de la proveta, però una diferència dels tirafons del costat B, entre ells.

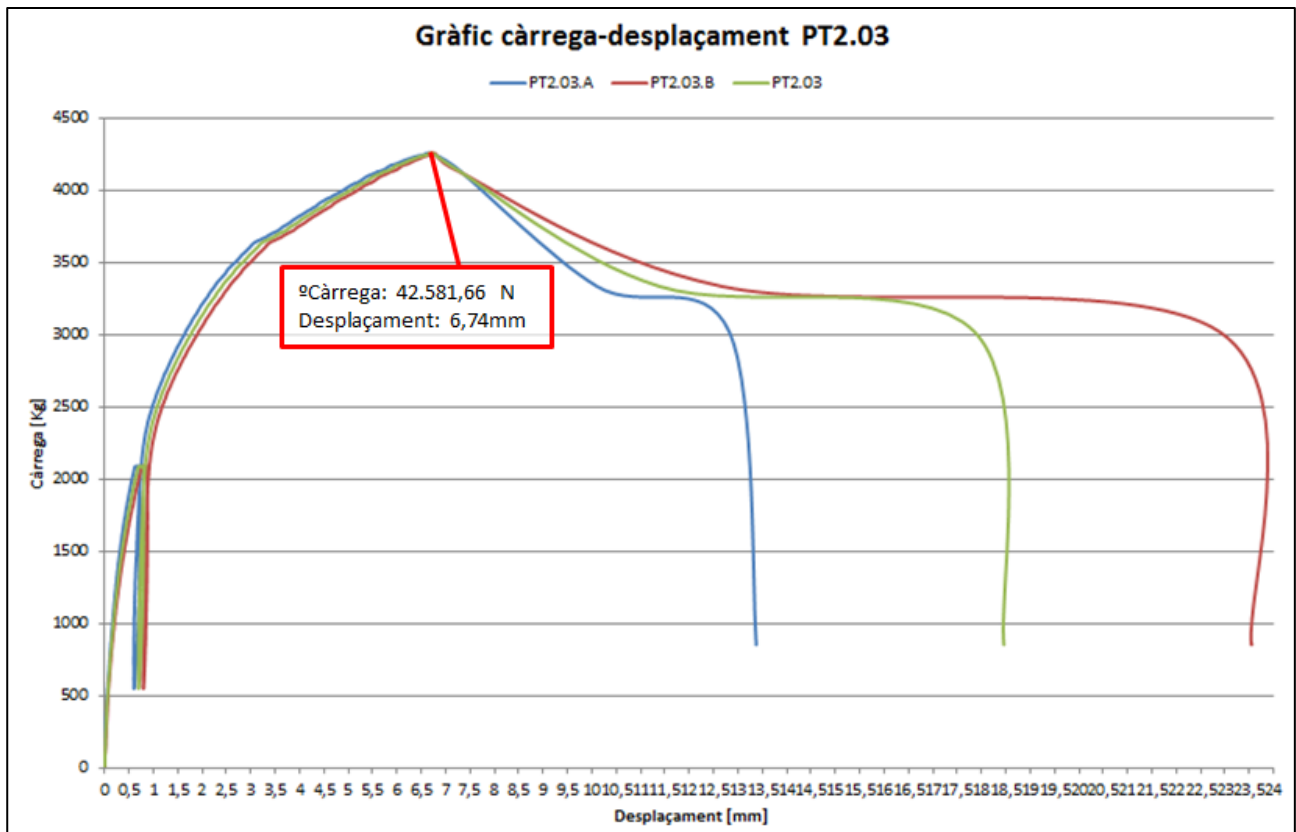


Observem com l'angle de clavament del costat A, és similar. Però els angles de clavament del costat B, són diferents. Aquí trobem el problema.

Proveta PT2.03

Interpretació del gràfic

El gràfic càrrega-desplaçament de la proveta PT2.03 és el següent:



Observant el procediment de càrrega de la proveta PT2.03, amb la gràfica de desplaçament-càrrega, seguint la línia de visió denominada PT2.03, podem observar clarament sense diferències la influència del procediment de càrrega, en els dos trams en els quals el procediment de càrrega va a velocitat constant. Així doncs, observem la recuperació dels elements de fixació mecànics al seu estat inicial tal i com ens mostra la gràfica de la normativa UNE 26891.

Seguint la línia gràfica PT2.03, no s'hi observa res estrany. Tot segueix segons la corba teòrica que hauria de fer la gràfica càrrega-desplaçament fins al moment que la proveta falla.

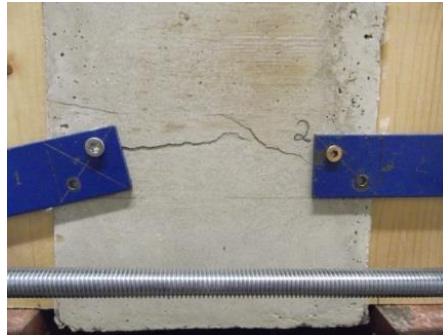
A la gràfica, s'hi observa que la proveta no és ben bé plana, ja que, s'observa com les línies gràfiques PT2.03.A i PT2.03.B no tenen just el mateix recorregut, però podem considerar que la diferència de desplaçament no és suficient com per dir que van desincronitzades. Així doncs, realitzant l'assaig, arribem a una càrrega de trencament de 42.581,66 N amb un desplaçament de 6,74 mm.

Interpretació del mode de falla del formigó

L'avaluació de la qualitat del formigó utilitzat en aquesta proveta, es tracta de l'extret de la mostra F3 amb 11 dies de curat, amb una mitja de resistència de càlcul de 13,68 N/mm. Aquesta proveta ha estat en procés de curació 10 dies, fallant als 511,1 s des de l'inici de l'assaig.

A l'hora d'interpretar el mode de falla podem observar només afeccions en la cara davantera i posterior del formigó.

En la cara davantera, observem dos esquerdes importants naixent dels claus de clavament de les platines de mesura, arribant a contactar al centre de l'element. costat A, separades entre elles i dos més neixen al costat B.



Il·lustració 5.29. Interpretació falla formigó PT2.03

En canvi, a la cara posterior, observem una esquerda profunda sorgint del clau de la platina de mesura del costat B, i petites esquerdes al seu voltant.



Il·lustració 5.30. Interpretació falla formigó PT2.03

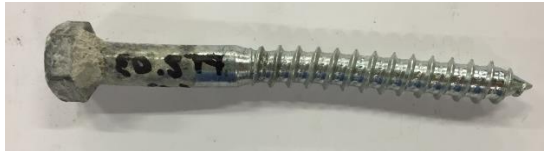
Observant la forma final de l'element de formigó, veiem com l'element de formigó, s'ha després de tal manera que només ha quedat la part superior posterior d'aquest.



Il·lustració 5.31. Interpretació falla formigó PT2.03

Interpretació del mode de falla dels tirafons



Observant l'estat final dels tirafons, podem veure les fletxes corresponents a cada tirafons.

Costat A	Costat B
PT2.03.A(1)  Fletxa: 3,81 mm	PT2.03.B(1)  Fletxa: 4,52 mm
PT2.03.A(2)  Fletxa: 3,36 mm	PT2.03.B(2)  Fletxa: 4,43 mm

Observant-los, poder veure una similitud entre les fletxes produïdes en els tirafons del costat de la PT2.03.B, Ambdós tenen un resultat similar. En cas dels tirafons ubicats al costat PT2.03.A, observem una diferència de 0,5 mm aproximadament.

Els dos tirafons localitzats al costat PT2.03.B, com hem comentat abans tenen una certa similitud; el tirafons PT2.03.B(1) té una fletxa de 4,52 mm i el PT2.03.B(2) correspon amb un desplaçament de fletxa de 4,43 mm. En canvi, la parella de tirafons del costat PT2.03.A, té una dissimilitud de resultat de 0,5 mm i amb els tirafons del costat B. Mentre que el tirafons PT2.03.A(1) ha resultat tenir una fletxa de 3,81 mm, el tirafons PT2.03.A(2) té una fletxa de 3,36 mm.

Així doncs, observem una semblança de resultats entre els tirafons del costat B de la proveta, però una minsa diferència dels tirafons del costat A.

Costat A	Costat B
	

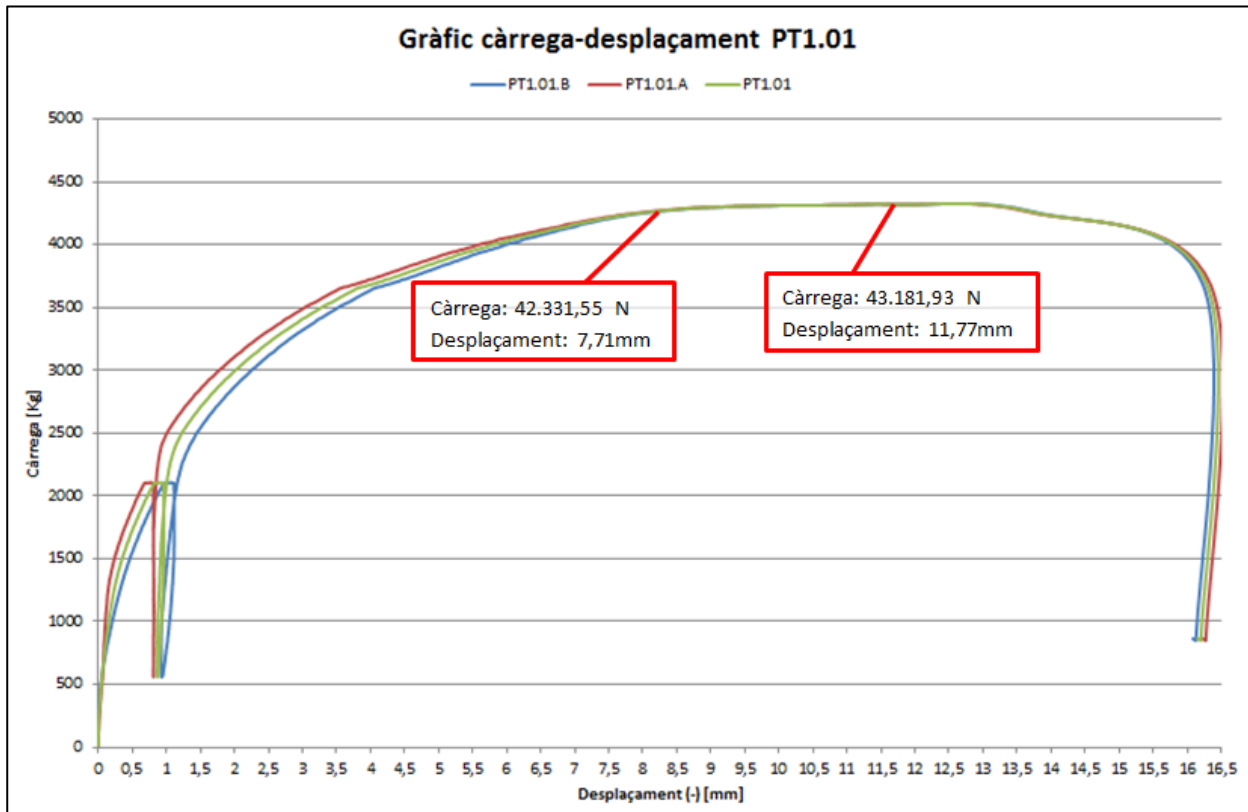
Com podem observar, no existeixen grans variacions d'angles de clavament entre els tirafons, i si haguéssim d'esmentar el costat amb més diferència, seria el costat A.

5.4- Provetes PT1

Proveta PT1.01

Interpretació del gràfic

El gràfic càrrega-desplaçament de la proveta PT1.01 és el següent:



Observant el procediment de càrrega de la proveta PT1.01, amb la gràfica de desplaçament-càrrega, seguint la línia de visió denominada PT1.01, podem observar clarament sense diferències la influència del procediment de càrrega, en els dos trams en els quals el procediment de càrrega va a velocitat constant. Així doncs, observem la recuperació dels elements de fixació mecànics al seu estat inicial tal i com ens mostra la gràfica de la normativa UNE 26891. Seguint la línia gràfica PT1.01, no s'hi observa res estrany. Tot segueix segons la corba teòrica que hauria de fer la gràfica càrrega-desplaçament fins al moment que la proveta falli. En aquest cas però, no observem cap davallada en la gràfica perquè arribem a la càrrega màxima i l'assaig s'ha d'aturar.

A la gràfica, s'hi observa que la proveta no és plana totalment. Podem observar una certa dissimilitud de 0,5mm de desplaçament entre els dos costats de la proveta (PT1.01A i PT1.01B) fins que no arriben a la sincronització entre aquests dos línies gràfiques. Així doncs, s'observa que la línia gràfica PT1.01B està per sota la mitjana, fet que descriu que el problema resideix en aquest costat de la proveta per que necessita trobar un punt de suport més estable. Mentre, degut a aquest fet, la PT1.01A no avança tan en el desplaçament.

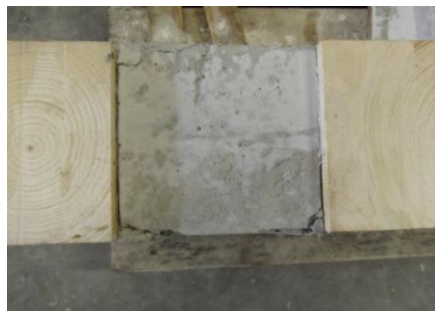
Fins que la PT1.01B no té suficient contacte amb el suport com per ésser estable, i com a conseqüència tota la proveta, l'unió no comença a treballar conjuntament.

Així doncs, la proveta al no ésser plana, no comença a treballar fins al punt de la connexió de les dos línies gràfiques A i B, que són els 42.331,55 N de càrrega. Aquest punt, correspon a un desplaçament de 7,71 mm, ja en l'últim tram de la V2. Seguidament, observem que arriba a la càrrega de trencament 43.181,93N poc després de que treballin conjuntament els dos costats, marcant un desplaçament total de 11,77 mm.

Interpretació del mode de falla del formigó

L'avaluació de la qualitat del formigó utilitzat en aquesta proveta, es tracta de l'extret de la mostra F3 amb 11 dies de curat, amb una mitja de resistència de càlcul de 13,68 N/mm. Aquesta proveta ha estat en procés de curació 9 dies, fallant als 525,1 s des de l'inici de l'assaig. A més li hem afegit el sistema de precompressió del formigó. A l'hora d'interpretar el mode de falla podem observar com l'element de formigó segueix com un tot i no s'ha partit com altres provetes amb els mateixos dies de curat.

Primerament, cal comentar l'observació d'unes esquerdes que han aparegut en la cara superior del formigó de la proveta. Aquestes, estan distribuïdes fent una espècie de cunya a la cantonada, fent que aquestes es despreguin, quedant el centre totalment intacte, just on s'hi col·loquen les platines per la compressió del formigó.. En aquesta imatge d'aquí podem observar el que s'ha comentat.



Il·lustració 5.32. Interpretació falla formigó PT1.01

En la cara de davant, observem certes esquerdes. La primera que observem, es tracta de l'inici d'una de les esquerdes observades a la cara superior de l'element de formigó i neix del centre del forat per on passem la barra superior del 12, del sistema de compressió del formigó. La segona també neix aquí, però va en direcció oposada i surt a la cara superior, però no amb tanta importància com ho fa la primera.



Il·lustració 5.33. Interpretació falla formigó PT1.01

Finalment observem, una fina línia oberta, que sorgeix de la barra inferior del sistema de compressió que no sembla tenir gaire importància i una esquerda singular a la part inferior davantera del formigó, com s'hi fos una mossegada.



Il·lustració 5.34. Interpretació falla formigó PT1.01

Observant la forma final de l'element de formigó, observem un con com a resultat. Allà on teníem col·locats els tirafons queda una forma còncava totalment trinxada, degut a l'ubicació d'aquests. En canvi, allà on no hi havia cap element mecànic de fixació, a quedat una forma convexa.




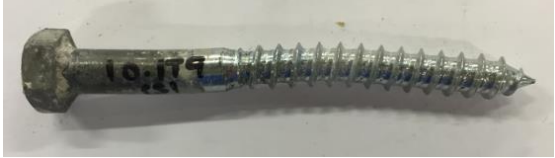


Il·lustració 5.35. Interpretació falla formigó PT1.01



Observem també el resultat de les esquerdes, quedant a la cara superior menys superfície que a l'inferior però amb les cunyes esmentades anteriorment. També observem el resultat d'utilitzar l'element de compressió, que es veu perfectament marcat en la forma de la platina del sistema, evitant la partició de l'element de formigó. Per tant, es pot dir que ha fallat el formigó.

Interpretació del mode de falla dels tirafons

Observant l'estat final dels tirafons, podem veure les fletxes corresponents a cada tirafons.

Costat B	Costat A
PT1.01.B(1)  Fletxa: 4,32 mm	PT1.01.A(1)  Fletxa: 3,84 mm
PT1.01.B(2)  Fletxa: 5,60 mm	PT1.01.A(2)  Fletxa: 3,98 mm

Observant-los, poder veure una similitud entre les fletxes produïdes en els tirafons del costat de la PT1.01.A, Ambdós tenen un resultat similar. En cas dels tirafons ubicats al costat PT1.01.B, observem una gran diferència. Els dos tirafons localitzats al costat PT1.01.A, com hem comentat abans tenen una certa similitud; el tirafons PT1.01.A(1) té una fletxa de 3,84mm i el PT1.01.B(2) correspon amb un desplaçament de fletxa de 3,98 mm. En canvi, la parella de tirafons del costat PT1.01.B, té una dissimilitud de resultat molt evident. Mentre que el tirafons PT1.01.B(1) ha resultat tenir una fletxa de 4,32 mm aproximant-se així a resultats de l'altre parella de tirafons, el tirafons PT1.01.B(2) té una fletxa de 5,60 mm, superant en més de 1mm els altres elements. Així doncs, observem una semblança de resultats entre els tirafons del costat A de la proveta, però una diferència molt gran dels tirafons del costat B, entre ells.

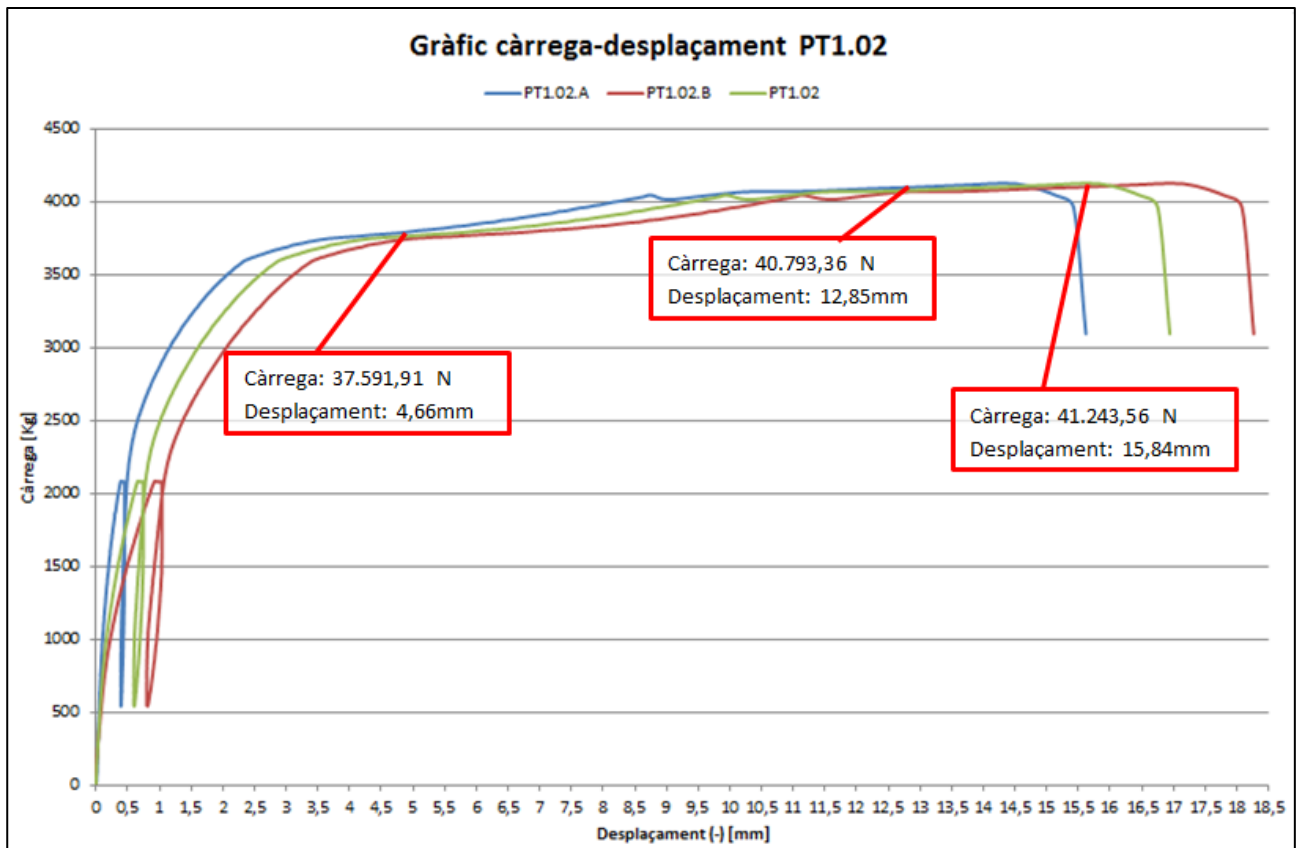
Costat B	Costat A
	

Com podem observar, existeix una petita variació en l'angle de clavament dels parells de tirafons PT1.01.B(1) i el PT1.01.B(2). Així doncs, pot ésser possible que sigui el fet pel qual donen un resultat tan distant. En canvi els parells PT1.01.A(1) i el PT1.01.A(2), tenen un angle de clavament semblant.

Proveta PT1.02

Interpretació del gràfic

El gràfic càrrega-desplaçament de la proveta PT1.02 és el següent:



Observant el procediment de càrrega de la proveta PT1.02, amb la gràfica de desplaçament-càrrega, seguint la línia de visió denominada PT4.01, podem observar clarament la influència del procediment de càrrega, en els dos trams en els quals el procediment de càrrega va a velocitat constant. Així doncs, observem la recuperació dels elements de fixació mecànics al seu estat inicial tal i com ens mostra la gràfica de la normativa UNE 26891.

Seguint la línia gràfica PT1.01, no s'hi observa res estrany, només una certa anomalia en la càrrega 40.000 N, en la que fa una certa davallada de càrrega. Tot i així no considerem prou important aquest fet, i tot segueix segons la corba teòrica que hauria de fer la gràfica càrrega-desplaçament fins al moment que la proveta falli. En aquest cas però, no observem la davallada als 15mm que és quan es para l'assaig, perquè s'ha arribat al límit de desplaçament establert.

A la gràfica, s'hi observa que la proveta no és plana totalment. Podem observar una certa dissimilitud de 1 mm (aproximadament) de desplaçament entre els dos costats de la proveta (PT1.02A i PT1.02B) fins que no arriben al punt de càrrega 37.591,91 N i 4,66 mm, que sembla que es comencen a sincronitzar.

A partir d'aquell punt però tornen a separar-se, així que la proveta encara no està treballant com un conjunt i no és fins al punt de càrrega 40.793,36 N i desplaçament 12,85 mm que sembla que agafen una línia similar i la proveta comença a treballar com un tot.

Tot i així, no es veu una línia neta que segueixi la mitjana, és a dir, que la proveta no està treballant com ho hauria de fer, i això dura fins als 15mm màxims establerts a una càrrega de 41.243,56 N.

Interpretació del mode de falla del formigó

L'avaluació de la qualitat del formigó utilitzat en aquesta proveta, es tracta de l'extret de la mostra F3 amb 11 dies de curat, amb una mitja de resistència de càlcul de 13,68 N/mm. Aquesta proveta ha estat en procés de curació 10 dies, fallant als 503,1 s des de l'inici de l'assaig. A més li hem afegit el sistema de compressió del formigó.

A l'hora d'interpretar el mode de falla podem observar com l'element de formigó segueix com un tot i no s'ha partit com altres provetes amb els mateixos dies de curat.

Primerament, cal comentar l'observació de que no ha aparegut cap mena d'esquerda ni a la part superior, ni a la part inferior de l'element de formigó. Fet que no ha succeït amb les altres.

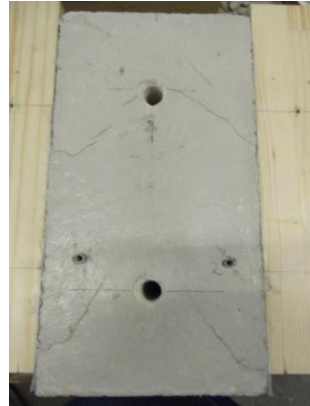
Així doncs, només han aparegut esquerdes a la part davantera i de darrere. Primerament a la part davantera, han aparegut dues esquerdes a la part superior de la cara. Una d'elles sembla fer una cunya amb la cantonada superior de l'element de fusta PT1.02.A i l'altre neix des del centre de la cara i arriba quasi bé a l'obertura realitzada en el formigó per poder executar el sistema de compressió del formigó.

Les altres dues esquerdes inferiors són més lleus i semblen fer una línia des de la cantonada inferior de la cara fins al centre.



Il·lustració 5.36. Interpretació falla formigó PT1.02

Com hem comentat, han aparegut també esquerdes a la part de darrere. Han sortit dues esquerdes a la part superior i dues més a la part inferior. Les dues superiors segueixen el mateix patró, ja que, neixen del centre de la cara (per costats oposats) i arriben a l'obertura realitzada per poder executar el sistema de compressió del formigó. Les dues esquerdes inferiors apareixen prop de les seves cantonades inferiors respectives i acaben a l'alçada de l'obertura feta per el sistema de compressió del formigó, però en aquest cas no arriben al contacte.



Il·lustració 5.37. Interpretació falla formigó PT1.02

Observant la forma final de l'element de formigó, observem un con com a resultat. Allà on teníem col·locats els tirafons queda una forma còncava totalment trinxada, degut a l'ubicació d'aquests. En canvi, allà on no hi havia cap element mecànic de fixació, a quedat una forma convexa.

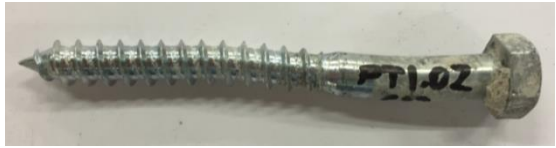





Il·lustració 5.38. Interpretació falla formigó PT1.02

Observem també el resultat de les esquerdes, quedant a la cara superior menys superfície que a l'inferior. Aquí a diferència d'altres provetes ja assajades no s'observa la clara silueta de la platina del sistema de compressió, ja que, ha quedat trossejada i esmicolada tota la part superior de l'element de formigó.

Interpretació del mode de falla dels tirafons

Observant l'estat final dels tirafons, podem veure les fletxes corresponents a cada tirafons.



Costat A	Costat B
PT1.02.A(1)  Fletxa: 4,01 mm	PT1.02.B(1)  Fletxa: 5,21 mm
PT1.02.A(2)  Fletxa: 3,92 mm	PT1.02.B(2)  Fletxa: 6,24 mm

Observant-los, poder veure una similitud entre les fletxes produïdes en els tirafons del costat de la PT1.02.A, Ambdós tenen un resultat similar. En cas dels tirafons ubicats al costat PT1.01.B, observem una diferència de 1mm aproximadament.

Els dos tirafons localitzats al costat PT1.01.A, com hem comentat abans tenen una certa similitud; el tirafons PT1.01.A(1) té una fletxa de 4,01mm i el PT1.01.B(2) correspon amb un desplaçament de fletxa de 3,92 mm. Uns resultats similars amb els tirafons del costat A de la PT1.01.

En canvi, la parella de tirafons del costat PT1.02.B, té una dissimilitud de resultat molt evident. Mentre que el tirafons PT1.01.B(1) ha resultat tenir una fletxa de 5,21 mm, el tirafons PT1.01.B(2) té una fletxa de 6,24 mm, superant en més de 1mm els altres elements. Per tant, no existeix una relació i potser així ens ho marcava el esmicolament de l'element de formigó.

Així doncs, observem una semblança de resultats entre els tirafons del costat A de la proveta, però una diferència molt gran entre els tirafons del costat B.

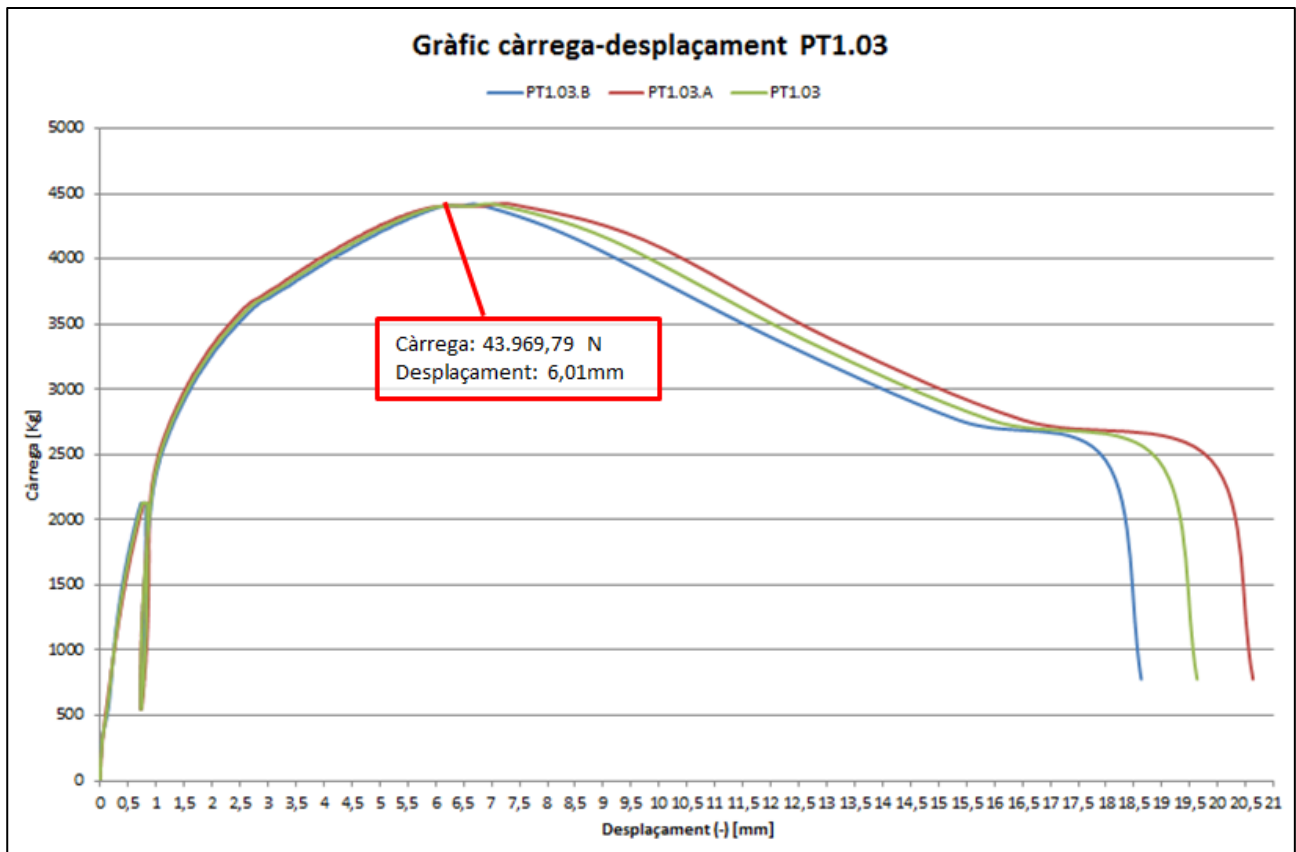
Costat A	Costat B
	

Tampoc s'observa cap discrepància en l'angle de clavament dels tirafons per explicar la diferència de resultat.

Proveta PT1.03

Interpretació del gràfic

El gràfic càrrega-desplaçament de la proveta PT1.03 és el següent:



Observant el procediment de càrrega de la proveta PT1.03, amb la gràfica de desplaçament-càrrega, seguint la línia de visió denominada PT1.03, podem observar clarament la influència dels dos trams en els quals la pressió de la màquina va a velocitat constant. Així doncs, observem la recuperació dels elements de fixació mecànica al seu estat inicial tal i com ens mostra la gràfica de la normativa UNE 26891.

Seguint la línia gràfica PT1.03, no s'hi observa res estrany. Tot segueix segons la corba teòrica que hauria de fer la gràfica càrrega-desplaçament.

A la gràfica, podem observar una proveta estable i amb bon suport. A diferència d'altres gràfiques, la línia gràfica mitjana dels dos costats, va amb concordança amb les línies gràfiques d'aquests. Així que, aquesta proveta des d'un inici té un contacte ple amb el suport i és estable, i per tant, treballa com un conjunt des de l'inici.

Si passem a observar els valors indicatius diferenciadors de l'assaig observem que en aquesta gràfica, observem que les línies gràfiques després de fer la corba de la recuperació al seu estat inicial, tendeixen a separar-se una mica, però no li donarem importància.

I arribem en el moment de falla amb càrrega 43.969,79 N i un desplaçament de l'unió de 6,01 mm.

Interpretació del mode de falla del formigó

L'avaluació de la qualitat del formigó utilitzat en aquesta proveta, es tracta de l'extret de la mostra F3 amb 11 dies de curat, amb una mitja de resistència de càlcul de 13,68 N/mm. Aquesta proveta ha estat en procés de curació 10 dies, fallant als 525,1 s des de l'inici de l'assaig.

A l'hora d'interpretar el mode de falla del formigó observant els resultats, observem primerament dos clares i importants esquerdes. Una a la cara superior que no arriba a la part inferior i una altre a les cares davantera i darrere que van de cara a cara, partint en dos l'element de formigó en el sentit transversal d'aquestes cares.

Així doncs, tenim l'esquerda superior. Aquesta està ubicada a la part davantera, separada 15mm de l'aresta en el punt més proper a aquesta. Va de costat a costat, en el sentit longitudinal de la proveta de tal forma que parteix l'element de formigó per la part superior.



Il·lustració 5.39. Interpretació falla formigó PT1.03

També observem l'aparició d'esquerdes a la part davantera i de darrere de la proveta. A la part davantera però, observem dos esquerdes.



Il·lustració 5.40. Interpretació falla formigó PT1.03

Aquestes dues, neixen de la mateixa zona, però van en direccions oposades. Mentre que la més important cau en el sentit de la força que li apliquem a la proveta, la menys important va en sentit oposat. Tota la resta de la cara davantera, no queda malmesa.

Si passem a observar la cara de darrere, observem una esquerda considerable. Aquesta va en sentit longitudinal a la proveta, i va de costat a costat. Curiosament, sembla néixer d'allà on estan ubicats els tirafons.



Il·lustració 5.41. Interpretació falla formigó PT1.03

Finalment, al treure la proveta del sistema d'assaig, observem l'efecte de les tres esquerdes comentades. L'esquerda superior, ha originat un tall que ha arribat fins al centre de l'element de formigó on hi ha les esquerdes paral·leles al terra. És en aquest punt, on l'esquerda de la part de davant l'ha frenat, originant un buit, evitant que l'element de formigó es partís en dos blocs similars.

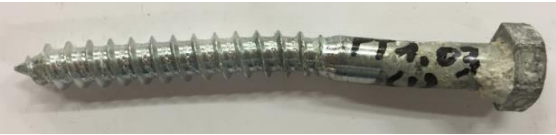





Il·lustració 5.42. Interpretació falla formigó PT1.03

S'observa que l'esquerda de darrere, tot i ésser important no ha tingut prou rellevància com per partir el formigó.



Interpretació del mode de falla dels tirafons

Observant l'estat final dels tirafons, podem veure les fletxes corresponents a cada tirafons.

Costat A	Costat B
PT1.03.A(1)  Fletxa: 4,00 mm	PT1.03.B(1)  Fletxa: 5,91 mm
PT1.03.A(2)  Fletxa: 4,93 mm	PT1.03.B(2)  Fletxa: 4,42 mm

Observant-los, no s'hi pot apreciar cap similitud de resultats. No s'hi observa cap similitud diagonal ni de costat, i cada tirafons ha resultat tenir una fletxa massa diferent a la resta, com per poder comparar aquests.

Els dos tirafons localitzats al costat PT1.03.A, tenen un desplaçament de fletxa de 4,00mm per al PT1.03.A(1) i un desplaçament de 4,93mm de la PT1.03.A(2). Els dos tirafons del costat PT1.03.B, també són molt dissimilars, mentre que el tirafons PT1.03.B(1) té una fletxa de 5,91mm, el tirafons PT1.03.B(2) té una fletxa de 4,42mm. Així doncs, en aquesta proveta existeix molta dissimilituds i diferències en el resultat de cada tirafons.

Costat A	Costat B
	

Tampoc podem explicar aquesta diferència de resultats amb l'angle de col·locació dels tirafons, ja que, el costat A, han sigut clavats sense diferències d'angle. En canvi, el costat B si que resulta tenir una diferència en l'angle de clavament del tirafons inferior respecte el superior, i és per això que donen un resultat més distant respecte l'altre parella.

6- Conclusions

Com hem comentat inicialment en la introducció del treball, aquest projecte s'ha fet amb l'objectiu de realitzar una petita campanya per iniciar i avaluar l'estudi d'un procés o mètode, que permeti avaluar i valorar el comportament de la connexió en forjats de fusta-formigó, ja que, el comportament d'aquests encara és matèria d'estudi.

Per tant, no buscàvem ni esperàvem resultats concloents en si, que ens fessin arribar a una determinada conclusió, sinó simplement aconseguir dissenyar, projectar i formar un procediment capaç de avaluar les connexions mecàniques realitzades en forjats mixtes de fusta-formigó.

Així doncs, creiem que hem pogut concloure el treball, amb un procediment realitzat i vàlid per valorar i avaluar aquestes connexions, que era el nostre objectiu, ja que, després d'haver estudiat i avaluat tot el procediment, s'ha observat que s'han considerat totes les variables necessàries per realitzar aquest procés, i que estan incorporades en aquest.

Tot i així, hem intentat avaluar aquests resultats (extrets dels assajos realitzats), en funció d'aquestes variables. Això, s'ha realitzat, no només per veure si el procediment funcionava, sinó també per poder extreure'n més informació, de cara a la recerca de futures línies d'investigació, ja que els resultats, no han sigut del tot clars.

6.1- Respecte el desplaçament estimat

Respecte a les pautes que seguïem pel que fa a l'aplicació de la càrrega, i respecte als resultats de lliscament i duració obtinguts, creiem que el cicle de càrrega podria ser l'adequat, però el lliscament a assolir de 15mm és massa elevat per la unió mecànica de fusta - formigó, ja que, el procediment està pensat per unió mecànica de fusta – fusta.

La fusta és un material més tou que el formigó. Així doncs, probablement si realitzéssim l'assaig amb fusta-fusta, la deformació es produiria als dos costats, assolint els 15 mm de lliscament.

En canvi, amb fusta-formigó, creiem que la nostra tipologia de proveta, al haver-hi la connexió entre un element tou (fusta) amb un altre element rígid (formigó), el primer, es deforma més que l'altre, sent impossible arribar als 15 mm en condicions normals, degut a que el formigó es trenca abans que la fusta i els tirafons es puguin deformar i/o aixafar més.

Per tal de que això no succeís, realitzàvem el confinament del formigó amb un sistema de precompressió de l'element de formigó. Tot i així, només en dos casos, PT1.02 i PT4.03, de les quatre provetes realitzades d'aquesta forma, hem superat els 15 mm. En la resta de casos, incloses les provetes en las que el formigó no ha estat confinat amb el sistema esmentat, han resultat entre 4,5 mm i 12 mm, observant diferències de resultat entre les provetes confinades que no han arribat als 15 mm i les que no han estat confinades.

Com podem observar, les provetes confinades, han resultat un desplaçament major, independentment de la resistència que hagi mostrat la mostra de formigó:

Proveta	Desplaçament de la proveta	Precompressió formigó	Resistència de la mostra de formigó
PT1.01	11,73 mm	Si	13,68 N/mm
PT1.02	15,84 mm	Si	13,68 N/mm
PT1.03	6,01 mm	No	13,68 N/mm
PT2.01	9,45 mm	No	19,42 N/mm
PT2.02	7,02 mm	No	16,27 N/mm
PT2.03	6,74 mm	No	13,68 N/mm
PT3.01	4,67 mm	No	11,78 N/mm
PT3.02	9,95 mm	No	19,42 N/mm
PT3.03	11,59 mm	Si	16,27 N/mm
PT4.01	8,39 mm	No	11,78 N/mm
PT4.02	9,39 mm	No	11,78 N/mm
PT4.03	16,06 mm	Si	11,78 N/mm

Tot i així, no hem pogut determinar el comportament de aquestes dues provetes que han arribat a superar els 15 mm, ja que, el formigó ha quedat esmicolat allà on residia la connexió mecànica realitzada amb tirafons.

6.2- Respecte la càrrega màxima estimada

Respecte la càrrega estimada, només tres provetes (PT3.03, PT4.02 i PT4.03), de les dotze provetes que s'han assajat, han superat la càrrega estimada de trencament. La resta s'han quedat per sota d'aquesta:

Proveta	Càrrega de trencament	Precompressió formigó	Resistència de la mostra de formigó
PT1.01	43.181,94 N	Si	13,68 N/mm
PT1.02	41.243,56 N	Si	13,68 N/mm
PT1.03	43.969,79 N	No	13,68 N/mm
PT2.01	50.397,68 N	No	19,42 N/mm
PT2.02	48.223,66 N	No	16,27 N/mm
PT2.03	42.581,66 N	No	13,68 N/mm
PT3.01	43.031,86 N	No	11,78 N/mm
PT3.02	48.884,50 N	No	19,42 N/mm
PT3.03	57.990,48 N	Si	16,27 N/mm
PT4.01	41.343,61 N	No	11,78 N/mm
PT4.02	52.423,60 N	No	11,78 N/mm
PT4.03	51.085,49 N	Si	11,78 N/mm

No hem observat, una clara relació entre l'assoliment o superació de la càrrega i els dies de curat o resistència del formigó, segons mostres assajades.

Com podem veure a la taula anterior, els resultats referents a la càrrega són molt variats, ja que, per exemple en els casos amb una mateixa resistència del formigó, obtenim resultats difícils de relacionar.

Per exemple, les mostres PT1; hi observem que realitzant una precompressió a les PT1.01 i PT1.02 arribem a una càrrega de trencament de la PT1.03 igual o inferior a aquestes, sense haver-li realitzat una precompressió del formigó.

També, observem un cas similar amb les mostres PT4. La PT4.03 ha sigut realitzada amb sistema de precompressió del formigó, en canvi, la PT4.02 no. Tot i això la PT4.02, ha mostrat arribar a una càrrega superior abans de fallar que la PT4.03.

L'únic grup on el sistema de precompressió ha tingut rellevància en la càrrega de trencament, ha sigut en la PT3, on observem que la PT3.03 ha arribat a una càrrega de trencament major que les altres dues, aplicant-li el sistema de precompressió i no sent la proveta amb més resistència de totes tres.

Així doncs, amb una sola família o grup de mostres, considerem que no podem concloure una relació entre aquestes dades.

6.3- Respecte el desenvolupament càrrega-desplaçament

Si observem la relació entre la càrrega a la que han trencat les provetes, i el desplaçament del conjunt d'aquestes, tampoc podem establir-ne una relació comuna entre totes les famílies de proveta.

En la relació de resultats en el grup de la PT2 i PT3, observem que a major càrrega de trencament, major desplaçament ha protagonitzat la proveta. En canvi, amb les PT1 i les PT4, els resultats són variats, i poc concloents.

Proveta	Càrrega trencament	Desplaçament proveta
PT1.01	43.181,94 N	11,73 mm
PT1.02	41.243,56 N	15,84 mm
PT1.03	43.969,79 N	6,01 mm
PT2.01	50.397,68 N	9,45 mm
PT2.02	48.223,66 N	7,02 mm
PT2.03	42.581,66 N	6,74 mm
PT3.01	43.031,86 N	4,67 mm
PT3.02	48.884,50 N	9,95 mm
PT3.03	57.990,48 N	11,59 mm
PT4.01	41.343,61 N	8,39 mm
PT4.02	52.423,60 N	9,39 mm
PT4.03	51.085,49 N	16,06 mm

Així doncs, tenint només el 50% de resultats relacionats, no podem concloure que tinguin lligam.

Falta observar però, el comportament del conjunt de la proveta, tenint en compte aquests dos factors:

- el desenvolupament de la càrrega
- el desenvolupament del desplaçament

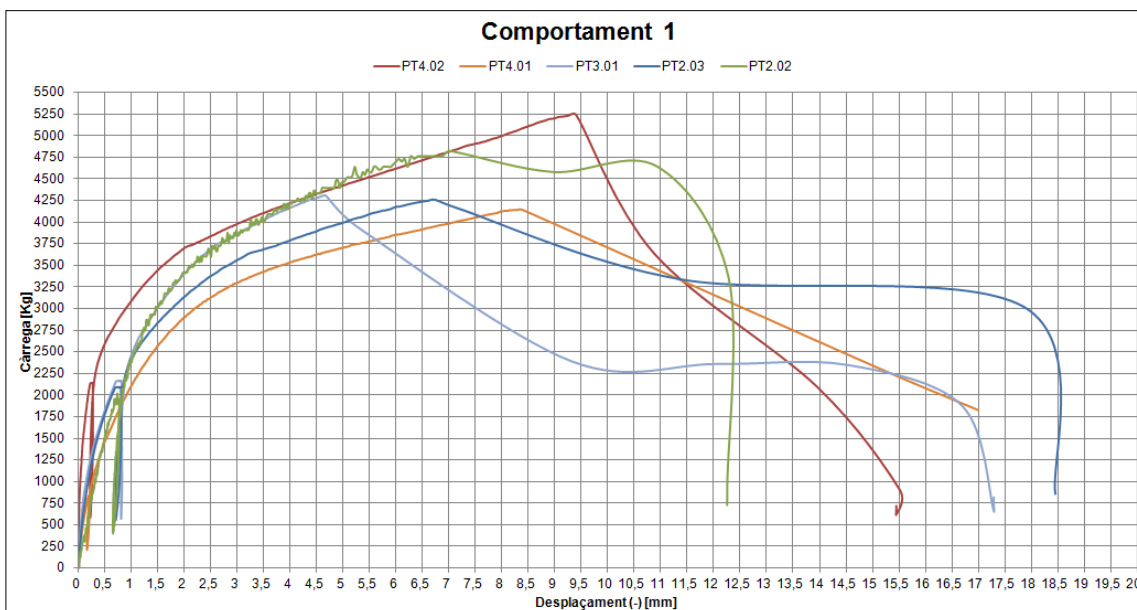
L'evolució d'aquestes dues línies, són valors diferents a avaluar.

Respecte a les gràfiques es veuen tres comportaments diferents:

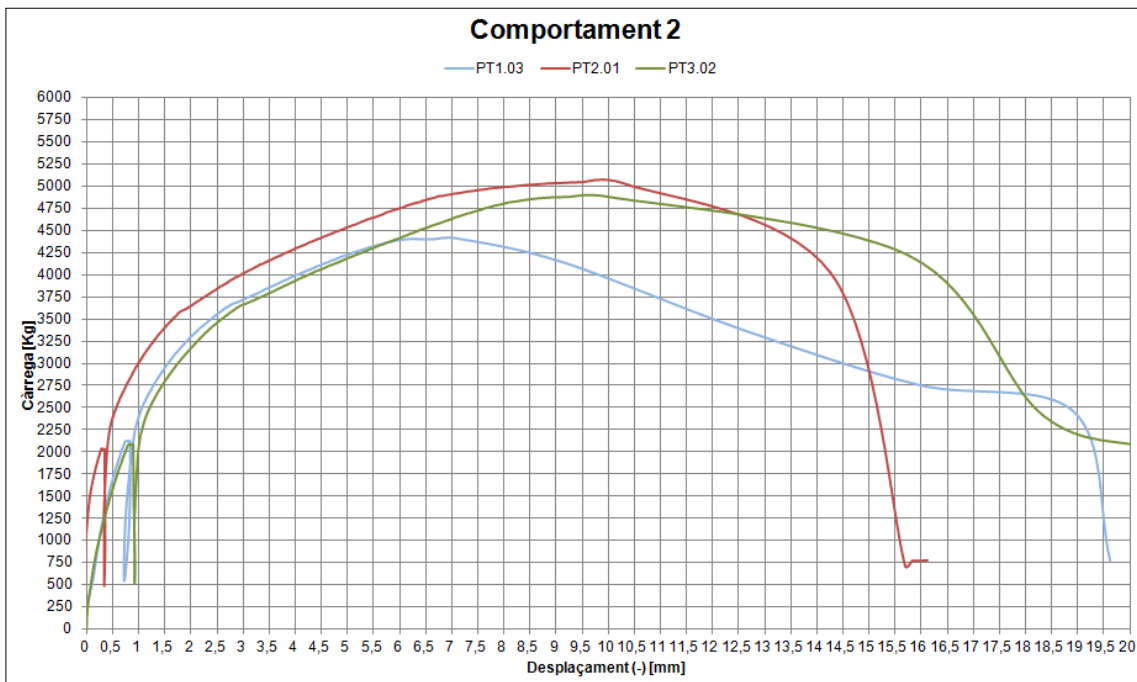
- El primer: puja la càrrega i cau de cop fent un pic a la càrrega màxima assolida.
- El segon: puja la càrrega i baixa suaument.
- El tercer: puja la càrrega i quan s'acosta a la càrrega màxima estimada, aguanta la càrrega durant uns segons i finalment baixa.

Aquests comportaments, els hem estudiat i comparat segons els dies de curat de la proveta, la forma de trencament de la proveta, etc.

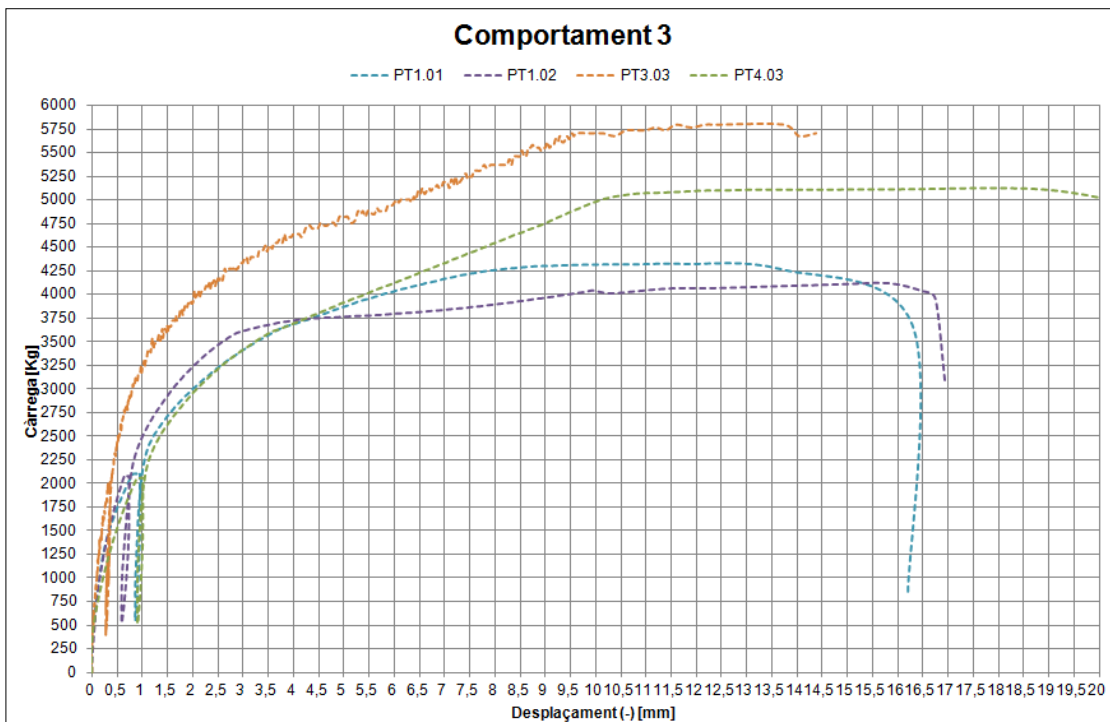
En el primer comportament explicat, 4 de les 5 provetes han trencat verticalment de dalt a baix per la línia dels tirafons, la que ha trencat diferent ha trencat també vertical però l'esquerda no és paral·lela a la cara que observem del formigó, com en tots els altres casos, sinó que és paral·lela a la cara on estan cargolats els tirafons.



També, en referència al segon comportament, hem observat que les tres provetes que presenten aquesta conducta, també presenten un trencament semblant. Aquest, es tracta d'un trencament vertical des de la part superior de la proveta fins a passar els dos tirafons inferiors. A partir d'aquest tram, el trencament apareix horitzontal.



Hem trobat una relació amb el comportament explicat en tercer lloc i és que les provetes que presenten aquesta gràfica són les que vàrem confinar el formigó, (PT1.01, PT1.02, PT3.03 i PT4.03).



6.4- Respecte a la duració de l'assaig

El mateix que en l'apartat anterior, succeeix amb el límit de duració de l'assaig (que en teoria dura entre 13 i 15 minuts). En gairebé tots els casos, la duració es troba entre els 8 i 11 minuts. L'únic assaig realitzat en una proveta, que ha resultat arribar i superar amb escreix els 15 minuts (ha arribat als 19 minuts i 36 segons), és l'assaig realitzat en la proveta PT4.01, resultat que considerem dubtós i confús, ja que, no ha sigut de les provetes amb més desplaçament i tampoc hi havíem afegit el sistema de precompressió de formigó.

Proveta	Duració de l'assaig (s)	Duració de l'assaig (m)
PT1.01	522,1 s	8 m 42 s
PT1.02	503,1 s	8 m 22 s
PT1.03	525,1 s	8 m 45 s
PT2.01	611,1 s	10 m 10 s
PT2.02	596,1 s	9 m 56 s
PT2.03	511,1 s	8 m 31 s
PT3.01	505,1 s	8 m 25 s
PT3.02	581,1 s	9 m 41 s
PT3.03	711,1 s	11 m 51 s
PT4.01	1.177,1 s	19 m 36 s
PT4.02	615,1 s	10 m 15 s
PT4.03	621,1 s	10 m 21 s

Així doncs, com hem comentat anteriorment, totes les mostres acabaven fallant perquè el formigó es trencava esmicolant-se, de tal forma que, al arribar al punt de falla, aquest baixava molt ràpid. És per això, que no hem pogut arribar a veure què passava si acabàvem d'arribar als 15 minuts.

6.5- Respecte les dimensions provetes

Respecte a les mides de les provetes, creiem que les dimensions d'aquestes s'assimilen bastant a la realitat per als dos elements:

- Element de fusta: Hem utilitzat elements de 150x140 mm², que són els estàndards corresponents a les bigues que actuen normalment a obra, en els forjats mixtes als que ens referim.
- Element de formigó: Normalment, per les rehabilitacions i construccions d'obra nova amb forjats de fusta-formigó, s'utilitza una xapa de formigó d'uns 5-10 cm de gruix. Així doncs, nosaltres hem realitzat una assimilació a aquesta xapa. Però contant que aquesta xapa valia per dos bigues, al estar confinada entre dos elements de fusta. Així doncs, al dividir aquests 150 mm, ens dóna un resultat de 7,5 cm (mitjana de la xapa de formigó que s'utilitza normalment).

A més, les alçades de 300 mm de la nostra tipologia de proveta, hi caben perfectament dins la maquinària i aparells de l'assaig realitzat.

6.6- Respecte la relació entre les propietats de la fusta i el formigó

Respecte als resultats esperats, esperàvem que fallés la fusta o bé que la fletxa de la deformació dels tirafons fos molt més gran. És per això, que es va suposar que el formigó amb 7 dies de curat hauria assolit una resistència de 80% i resistirà suficientment la càrrega aplicada durant l'assaig. Contra tot pronòstic, el que falla és el formigó.

Primerament, vam pensar que el fet de que el formigó fallés abans que l'element de fusta, era perquè no havia assolit el 80% de la resistència, ja que, al obrir la primera proveta assajada (PT4.01), vam observar un color més fosc a l'interior de l'element de formigó com si no hagués tingut prou duració de curat.

També s'observava que el formigó no estava tot cohesionat uniformement. És per això, que vam decidir provar la resta de provetes a 10 o 11 dies de curat. Tot i això, les provetes seguien fallant per el formigó, i no assolien el temps d'assaig ni el lliscament esperat.

Per aquest motiu, vam deixar, les últimes provetes que volíem assajar (PT4.03) curar a 21 dies i dues més (PT2.02 i PT3.03) a 27 dies de curat. Tot i així, aquestes provetes també van fallar degut al formigó.

Així doncs, concloem que el formigó utilitzat, no ha sigut l'adequat, ja que, en cap moment ha arribat a assolir els 25 N/mm desitjats per la realització del assaig. Però també, arribem a la conclusió de que el material utilitzat com a element de fusta (fusta laminada GL24h), no és la òptima per a realitzar l'assaig, ja que, té massa resistència al tall. A més, el material i l'estat en que es troba aquest, no serà mai el que ens trobarem en una rehabilitació per forjats mixtes de bigues de fusta-formigó. Les propietats reals de la fusta que ens trobarem per les rehabilitacions, seran més dolentes que les del laboratori.

Tot i així, els resultats ens ajuden a veure el comportament dels tirafons. Aquí us mostrem la mitjana de les fletxes dels quatre tirafons utilitzats per a cada proveta en relació al desplaçament del conjunt de la proveta:

Proveta	Desplaçament proveta	Fletxa tirafons
PT1.01	11,73 mm	4,44 mm
PT1.02	15,84 mm	4,85 mm
PT1.03	6,01 mm	4,82 mm
PT2.01	9,45 mm	3,26 mm
PT2.02	7,02 mm	4,06 mm
PT2.03	6,74 mm	4,03 mm
PT3.01	4,67 mm	6,21 mm
PT3.02	9,95 mm	4,89 mm
PT3.03	11,59 mm	4,11 mm
PT4.01	8,39 mm	4,99 mm
PT4.02	9,39 mm	3,92 mm
PT4.03	16,06 mm	4,56 mm

No observem doncs, cap relació. Seguim amb el comportament dels tirafons, en relació a la càrrega de trencament:

Proveta	Càrrega trencament	Fletxa tirafons
PT1.01	43.181,94 N	4,44 mm
PT1.02	41.243,56 N	4,85 mm
PT1.03	43.969,79 N	4,82 mm
PT2.01	50.397,68 N	3,26 mm
PT2.02	48.223,66 N	4,06 mm
PT2.03	42.581,66 N	4,03 mm
PT3.01	43.031,86 N	6,21 mm
PT3.02	48.884,50 N	4,89 mm
PT3.03	57.990,48 N	4,11 mm
PT4.01	41.343,61 N	4,99 mm
PT4.02	52.423,60 N	3,92 mm
PT4.03	51.085,49 N	4,56 mm

Pel que fa al comportament dels tirafons, respecte la càrrega a la que ha fallat la proveta, tampoc en podem concloure un desenllaç.

7- Línies de futura investigació

Com hem dit anteriorment, l'objectiu del treball no era aconseguir resultats, ja que, la campanya de provetes realitzada no seria suficient per contrastar-los, sinó que tractava de definir un procediment d'assaig i validar-lo observant si amb aquest es podien treure alguns resultats.

Considerem, que amb els pocs resultats que hem obtingut, hem observat que no tots els paràmetres tenen la mateixa influència sobre la unió. Així doncs, proposem que en les futures investigacions es creïn campanyes més nombroses de provetes i s'investigui sobre un sol paràmetre.

Així doncs, un cop realitzat aquest projecte, i tenint en compte lo prèviament comentat en el paràgraf anterior, creiem convenient seguir investigant en els següents aspectes:

- Buscar un mètode més eficaç alhora de realitzar la planeïtat de les provetes, per tal de perfeccionar, millorar i fer més exactes les lectures dels resultats, proporcionant una millor comparació entre aquestes, evitant la influència d'aquest paràmetre.
- Indagar en la possibilitat de realitzar una campanya amb formigons més resistents i fustes menys resistents al tall, evitant el sistema de precompressió del formigó.
- Estudiar la reducció de la duració de l'assaig a 12 minuts màxim, ja que, només hem arribat als 15 minuts establerts, en dos ocasions.
- Possibilitat d'incorporar dues cèl·lules de càrrega, en el mètode d'assaig, sota cadascun dels elements de fusta, per tal de proporcionar una valoració de cadascun d'ells, junt amb la consideració de la fletxa dels tirafons.

S'haurà de prioritzar però, que es segueixi el nostre procediment, ja que, hem observat que és completament vàlid.

8- Agraïments

En primer lloc, per brindar-nos la oportunitat de realitzar aquest treball, per les seves aportacions, les seves classes, per brindar-nos l'oportunitat de conèixer un grup de gent dedicada a la investigació, per la seva dedicació i per guiar-nos en tot moment, volem donar les gràcies al nostre tutor, en Miquel Llorenç.

En segon lloc, per la seva disposició, la dedicació, l'esforç que hi ha projectat durant el transcurs de tot el treball, aconsellant-nos, guiant-nos en tot moment i ajudant-nos en el "set-up" i al laboratori volem donar les gràcies en Joan Llorenç.

En tercer lloc, per la seva disposició a ajudar-nos en tot el necessari durant els treballs de laboratori i per totes les hores dedicades per tal que es fes possible la realització d'aquest treball, confeccionant l'utillatge adequat, manipulant la maquinària, proporcionant-nos els materials necessaris, etc, volem donar les gràcies al responsable del laboratori, en Pere Bellvehí.

També agrair al senyor Josep Belles per interessar-se pel nostre treball, explicar-nos la seva investigació sobre el forjat mixta Acer-Formigó, ensenyar-nos el seu càlcul sobre aquest tipus de forjat i aportar-nos idees per adaptar-ho al nostre.

A Jordi Figueres i l'empresa Tecnifusta, per l'ho ben rebuts que ens vam sentir a la fàbrica en les visites que hi vam fer, pel subministrament de les peces de fusta a mida i amb els tirafons col·locats i pels consells que ens ha aportat sobre el tema.

A la ACE, Associació de Consultors d'Estructures, que fa recerca sobre el tema de forjats mixtes de fusta-formigó, per assistir des de Barcelona i altres indrets a escoltar la nostre presentació del treball i donar-nos consells i puntualitzacions per la seva millora, per ajudar-nos a resoldre dubtes de càlcul i confirmar-nos que l'ho fet és correcte i per observar l'assaig d'alguna proveta i aportar-nos idees noves per resoldre problemes sorgits durant el trencament.

Per acabar, agrair a les nostres famílies tot el recolzament rebut durant la realització d'aquest projecte.

9- Recursos bibliogràfics

Libres:

Argüelles Alvarez, R., Arriaga Martitegui, F., i Martínez Calleja, J.J. (2000). *Estructuras de madera: diseño y cálculo* (2ª ed.). Madrid: AITIM

Arriaga, F., Peraza, F., Esteban, M., Bobadilla, I., i García, F. (2002). *Intervención en estructuras de madera*. Madrid: AITIM

García Muñoz, J., Grau Engüix, J., i Ramírez Masferrer, J. A. (2006). *Maderas: Apuntes de construcción* (1a ed.). Madrid: Vision Net Libros.

Monfort Leonart, J. (2002). *Estructuras mixtas para edificación: según criterios del Eurocódigo 4* (1ª ed.). Valencia: Editorial de la U.P.V.

Pardo Ros, J.L. i Monfort Leonart, J. (1997). *Estructuras mixtas de hormigón-madera aplicadas a la rehabilitación de forjados*. Valencia: Editorial de la U.P.V.

Revistes, articles i estudis:

Prakash, A., Anandavalli, N., Madheswaran, C. K., i Lakshmanan, N. (2012). Modified Push-out Tests for Determining Shear Strength and Stiffness of HSS Stud Connector-Experimental Study. *International Journal of Composite Materials*, 2 (3), 22-31.

Gattesco, N. (2001). Experimental Study on Different Dowel Techniques for Shear Transfer in Wood-Concrete Composite Beams. *Creative Systems in Structural and Construction Engineering*, 1, 487- 492.

Easterling, W. S., Gibbings, D. R., i Murray, T. M. (1993). Strength of Shear Studs in Steel Deck on Composite Beams and Joists. *Engineering journal*, 2nd quarter, 44 – 55.

Qian, S., Kim, Y. Y., i Li, V.C. (2004). Influence of concrete material ductility on the behavior of stud shear connection. *Fracture Mechanics of Concrete Structures*, Abril 2004, 1045 – 1050.

Kim, J.H., Shim, C.S, Matsui, S., i Chang, S.P. (2002). The Effect of Bedding Layer on the Strength of Shear Connection in Full-Depth Precast Deck. *Engineering journal*, 3rd quarter, 127 – 135.

Topkaya, C., Yura, J., i Williamson, E. (Juny 2004). Composite Shear Stud Strength at Early Concrete Ages. *Journal of Structural Engineering*, 130 (6), 952 – 960.

Qian, S., i Li, V.C (2006). Influence of Concrete Material Ductility on Shear Response of Stud Connections. *ACI Materials Journal*, 103 (1), 60 – 66.

Valente, I. i Cruz, P. J. S. (2005). Experimental studies on shear connection between steel and lightweight concrete. *Eurosteel 2005 : proceedings of the European Conference on Steel and Composite Structures*, 4, B, p. 4.7-95 - 4.7-102.

Chuah, C. L., Shima, H., i Virach, R. (Agost 1991). Load-displacement relationship of plate shape shear connector in steel-concrete composite structures. *Japan Society of Civil Engineers*, 15 (433), 223 – 229.

Jurkiewicz, B., i Hottier, J. M. (2005). Static behaviour of a steel-concrete composite beam with an innovative horizontal connection. *Journal of Constructional Steel Research*, 61, 1286 – 1300.

Ellobody, E., i Young, B. (2006) Performance of shear connection in composite beams with profiled steel sheeting. *Journal of Constructional Steel Research*, 62, 682 – 694.

Laura Miquel López. *Estudio comparativo de tipologías de forjados analizando su coste económico, social y ambiental* (2008) [en línia]. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya. Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona. Departament de enginyeria de la construcció, 2008. <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/5656/03.pdf?sequence=4> [Consulta: Febrer 2016]

Jonatan Vicente Navarro. *La evolución de los forjados de edificación hacia unes tècniques más competitives económicamente* (2009) [en línia]. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya. Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona. Departament de enginyeria de la construcció, 2009. <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/8534/00.pdf> [Consulta: Febrer 2016]

Gayo Calo, L. *Estudio comparativo de sistemas de rehabilitación en forjados de madera* (2015) [en línia]. Coruña: Universidad da Coruña. Escuela universitaria de Arquitectura técnica. Departamento de tecnología de la construcción, 2015. <http://hdl.handle.net/2183/15254> [Consulta: abril 2016]

Jose M^a Iglesias Estellés. *Proyecto y cálculo de forjados mixtos con chapa nervada* (2009) [en línia]. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya. Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona. Departament de enginyeria de la construcció, 2009. <file:///C:/Users/PC/Downloads/00.pdf> [Consulta: abril 2016]

Normes tècniques:

AENOR. Norma espanyola: UNE-EN 1992-1-1 – Abril 2013 – Títol: «Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón»

AENOR. Norma espanyola: UNE-EN 1994-1-1 – Abril 2013 – Títol: «Eurocódigo 4: Proyecto de estructuras mixtas de acero y hormigón»

AENOR. Norma espanyola: UNE-EN 1995-1-1 – Octubre 2006 – Títol: «Eurocódigo 5: Proyecto de estructuras de madera»

AENOR. Norma espanyola: UNE-EN 383 – Juliol 2007 – Títol: «Estructuras de madera: métodos de ensayo. Determinación de la resistencia al aplastamiento y del módulo de aplastamiento para los elementos de fijación tipo clavija»

AENOR. Norma espanyola: UNE-EN 26891 –Novembre 1992– Títol: «Estructuras de madera: uniones realizadas con elementos de fijación mecánicos»

Codi tècnic de l'Edificació: DB SE-M –Abril 2009– Títol: «Documento básico: seguridad estructural, madera»

Fons d'informació electrònica:

Slideshare. Presentació sobre estructures de fusta i visió del material i disseny. URL: [<http://es.slideshare.net/cjvial/diseo-madera>]. Juliol 2009.

Codi tècnic. Document bàsic de seguretat estructural fusta. Document pdf. URL: [<http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadEstructural/DBSE-M.pdf>]. Abril 2009.

Tecnaria. Tipus de connectors i característiques tècniques. URL: [<http://www.refuerzo-forjados.com/legno/scheda-tecnica.htm>]. 2003.

Rothoblaas. Sistemes de fixació, documentació tècnica. URL: [<http://www.rothoblaas.com/es/es/productos/sistemas-de-fijacion/documentacion-tecnica.html>].

Construmàtica. Cerca d'informació sobre forjats mixtes. URL: [<http://www.construmatica.com/construpedia/>]

Econstrucció. Estudi sobre la rehabilitació de forjat tradicionals. URL: [<https://econstruccion.wordpress.com/2012/07/06/estudi-sobre-la-rehabilitacio-de-forjats-tradicionals-sistema-sostenible-estructures-mixtes-de-fusta-i-algeps/>]

Dictionary of construction. Consulta i definicions de paraules tècniques en anglès. URL: [<http://www.dictionaryofconstruction.com/>]

BVSDE. Diccionari de construcció espanyol-anglès de Hispanics work safe. Document pdf. URL: [http://www.bvsde.paho.org/foro_hispano/Diccionario_de_Construccion.pdf]



ANNEXOS

ANNEX 1

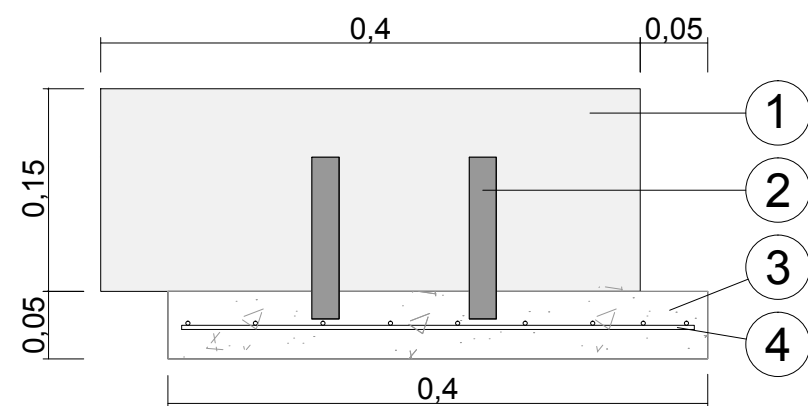
Desenvolupament del “set-up”

Capítol 1: Plànols proposta 01

Capítol 2: Plànols proposta 02

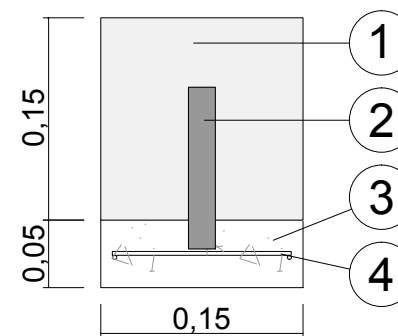
Capítol 3: Plànols proposta 03

ALÇAT PROVETA 01



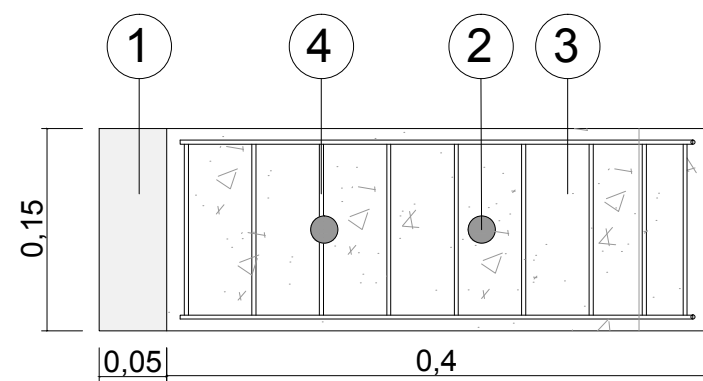
E:1/5

PERFIL PROVETA 01



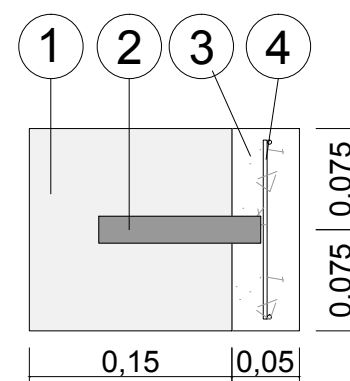
E:1/5

PLANTA PROVETA 01



E:1/5

PERFIL PROVETA 01



E:1/5

LLEGENDA

- ① Element de fusta*
- ② Unió mecànica*
- ③ Xapa formigó armat
- ④ Mallat armadura Ø6mm

* Tipologia a decidir conjuntament amb el fabricant/proveïdor

Universitat de Girona (UdG)

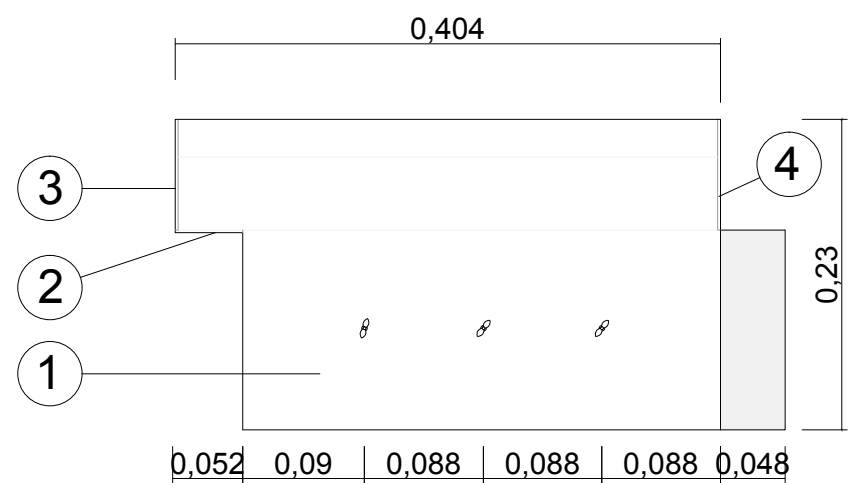
Anàlisi dels connectors emprats en el reforç dels sostres de fusta

nº-
1.1

Annex 1

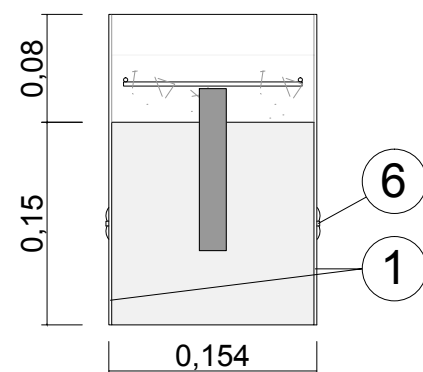
Capítol 1

ALÇAT ENCOFRAT 01



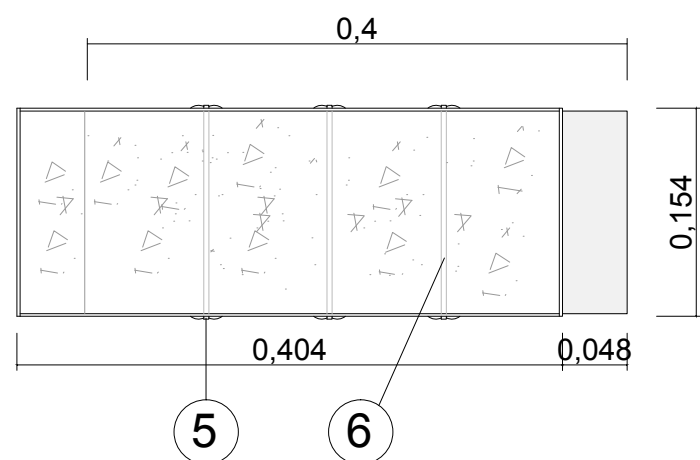
E:1/5

PERFIL ENCOFRAT 01



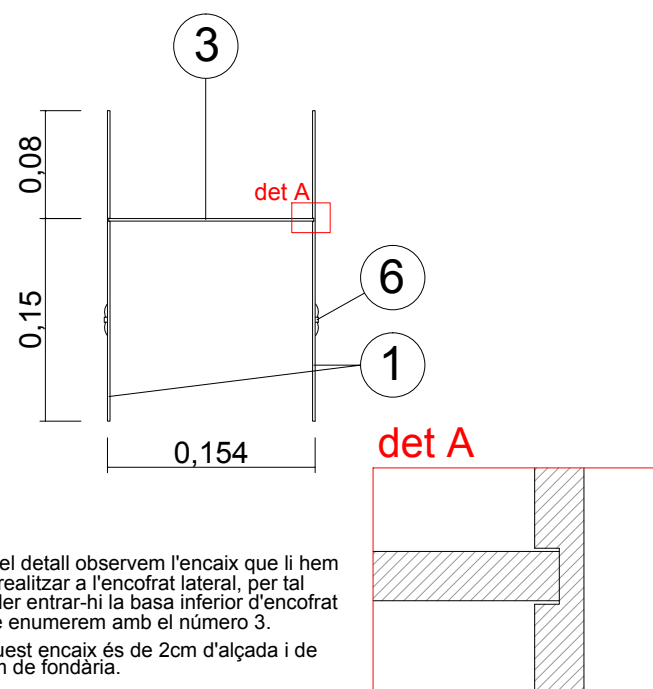
E:1/5

PLANTA ENCOFRAT 01



E:1/5

DETALL ENCOFRAT 01



E:1/5

LLEGENDA

- ① Fullola encofrat lateral 2cm de gruix tallada a mida
- ② Fullola tap inferior 2cm gruix
- ③ Fullola tap vertical 01 de 2cm gruix
- ④ Fullola tap vertical 02 de 2cm gruix
- ⑤ Sergant amb pas de $\varnothing 6\text{mm}$
- ⑥ Barilla roscada $\varnothing 6\text{mm}$ i longitud de 180mm

Universitat de Girona (UdG)

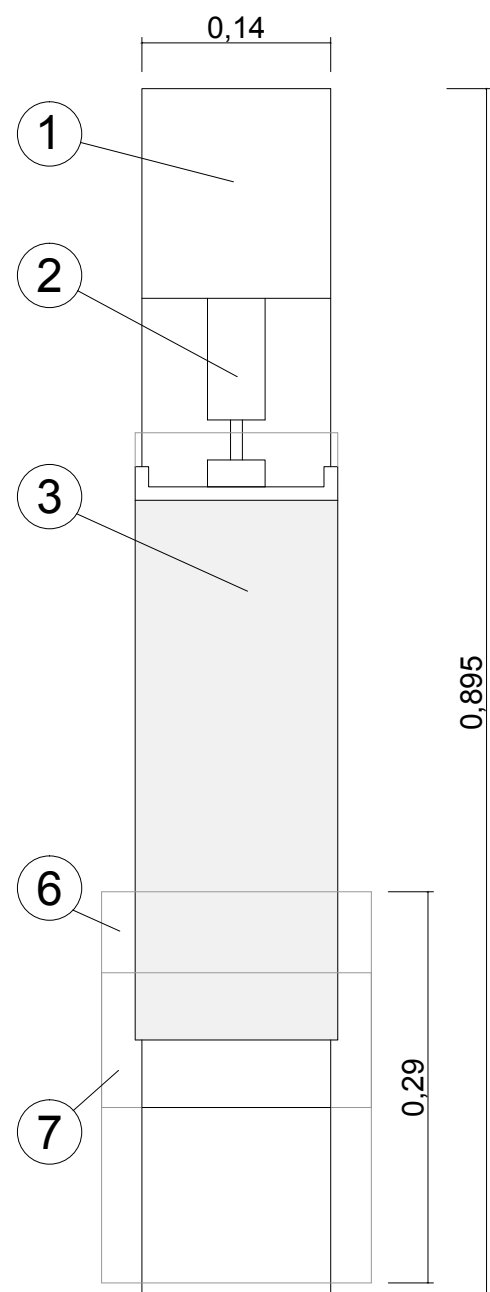
Anàlisi dels connectors emprats en el reforç dels sostres de fusta

nº-
1.2

Annex 1

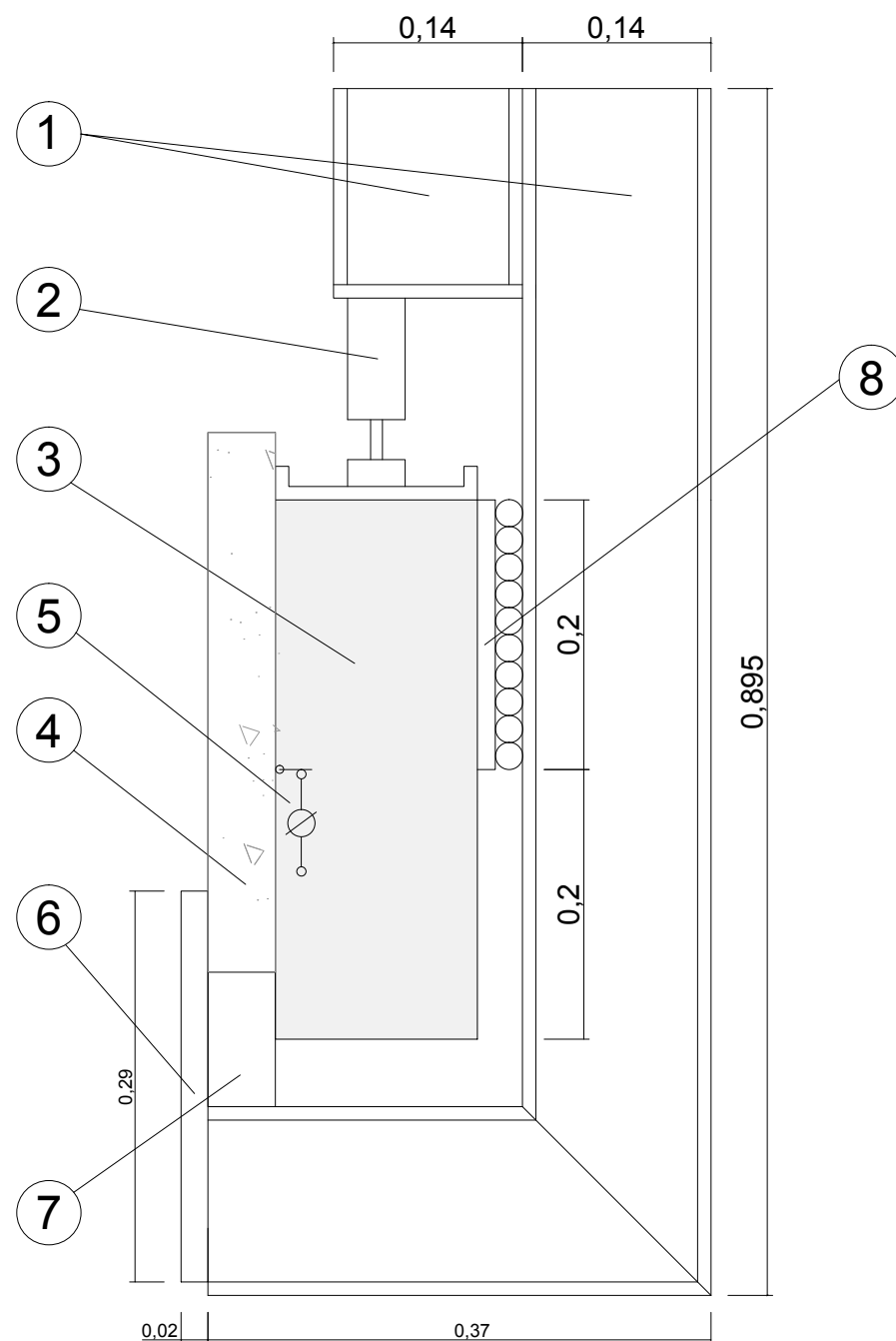
Capítol 1

PERFIL EQUIP ASSAIG 01



E:1/5

ALÇAT EQUIP ASSAIG 01



E:1/5

LLEGENDA

- ① Biga metàl·lica HEA 140
- ② Pistó hidràulic
- ③ Fusta 150x150x400mm
- ④ Formigó 50x150x400mm
- ⑤ Traductor
- ⑥ Massís acer 20x200x290mm
- ⑦ Massís acer 100x200x50mm
- ⑧ Suport compost per:
- Platina acer 200x133x140
- Rodets acer 140 x 20

Universitat de Girona (UdG)

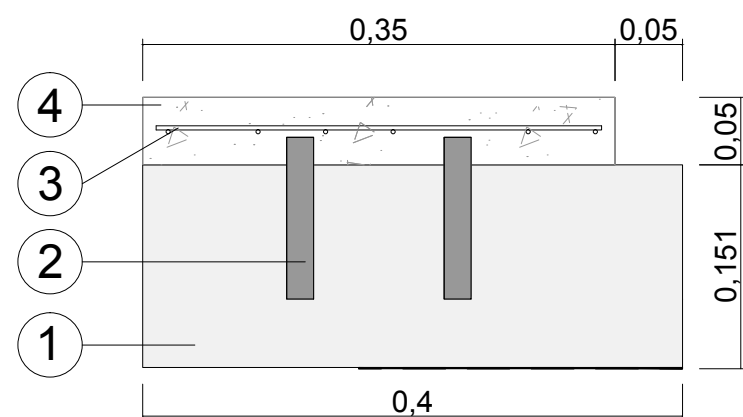
Anàlisi dels connectors emprats
en el reforç dels sostres de fusta

nº-
1.3

Annex 1

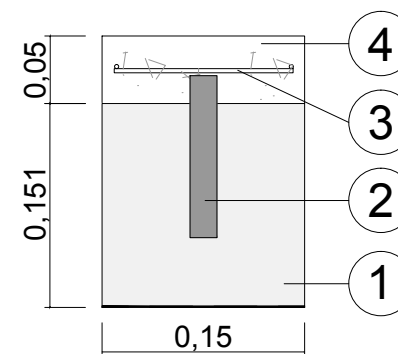
Capítol 1

ALÇAT PROVETA 02



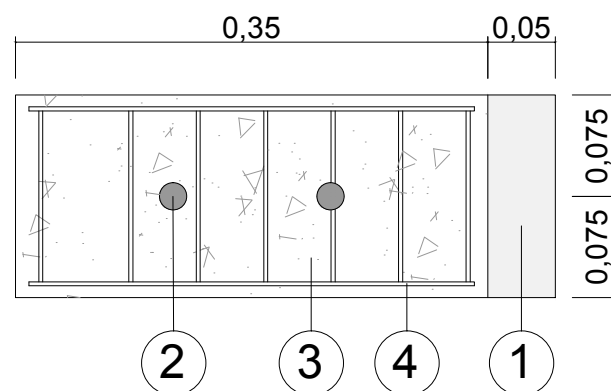
E:1/5

PERFIL PROVETA 02



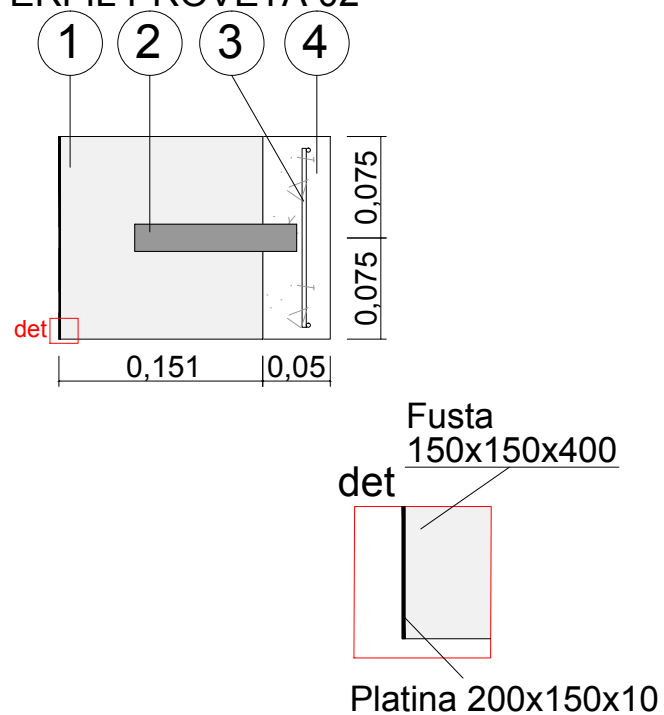
E:1/5

PLANTA PROVETA 02



E:1/5

PERFIL PROVETA 02



E:1/5

LLEGENDA

- ① Element de fusta*
- ② Unió mecànica*
- ③ Xapa formigó armat
- ④ Mallat armadura Ø6mm

* Tipologia a decidir conjuntament amb en fabricant/proveïdor

Universitat de Girona (UdG)

Anàlisi dels connectors emprats en el reforç dels sostres de fusta

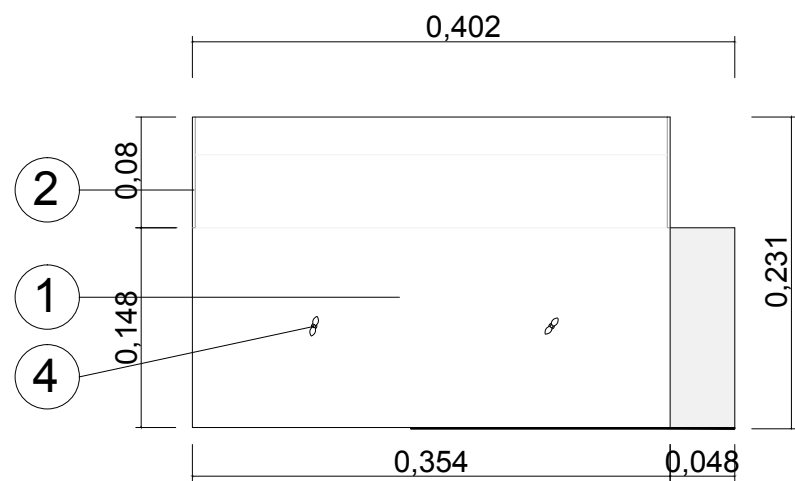
nº-

2.1

Annex 1

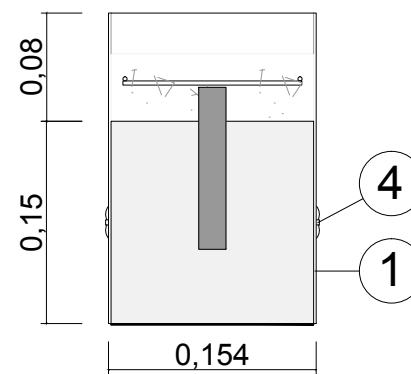
Capítol 2

ALÇAT ENCOFRAT 02



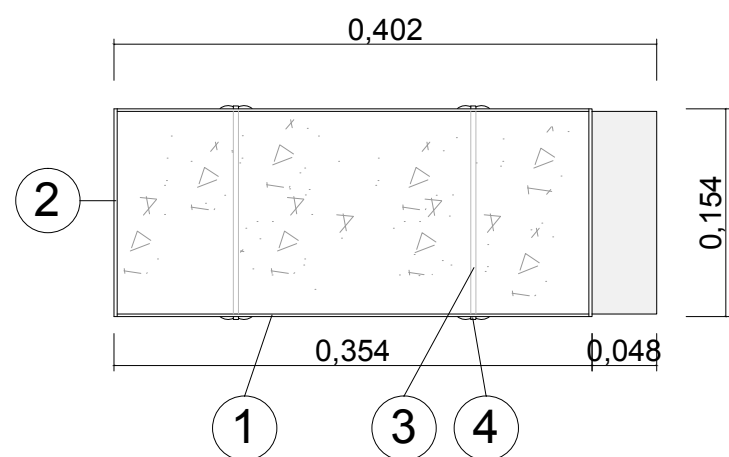
E:1/5

PERFIL ENCOFRAT 02



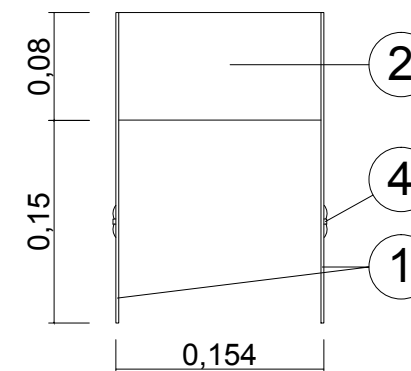
E:1/5

PLANTA ENCOFRAT 02



E:1/5

DETALL ENCOFRAT 02



E:1/5

LLEGENDA

- ① Fullola encofrat lateral 230x354x20mm
- ② Fullola tap vertical 80x154x40mm
- ③ Barilla roscada Ø6mm i longitud de 180mm
- ④ Sergant amb pas de Ø6mm

Universitat de Girona (UdG)

Anàlisi dels connectors emprats
en el reforç dels sostres de fusta

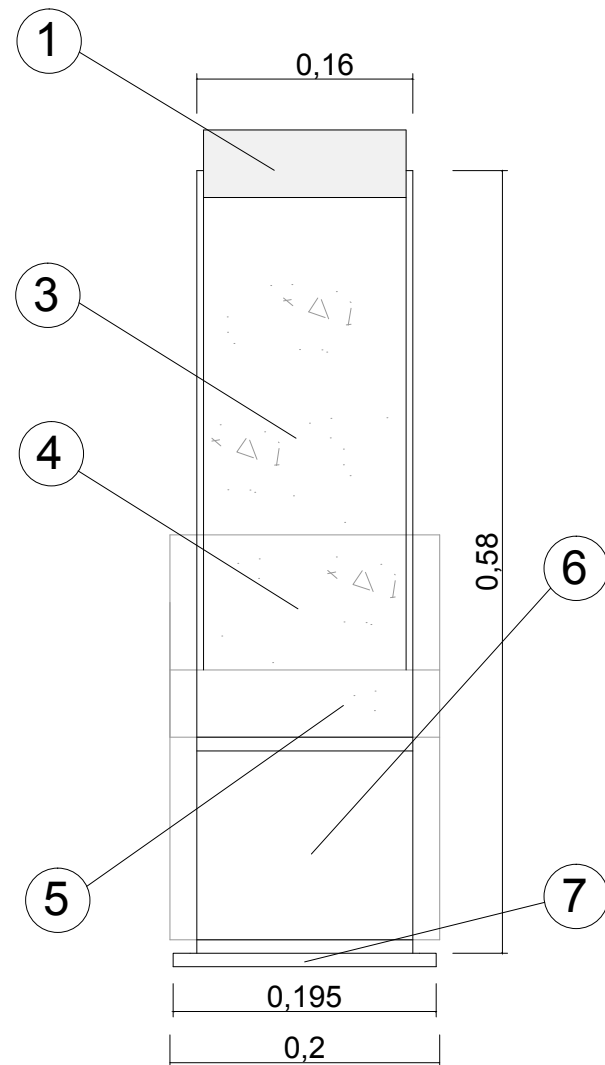
nº-

2.2

Annex 1

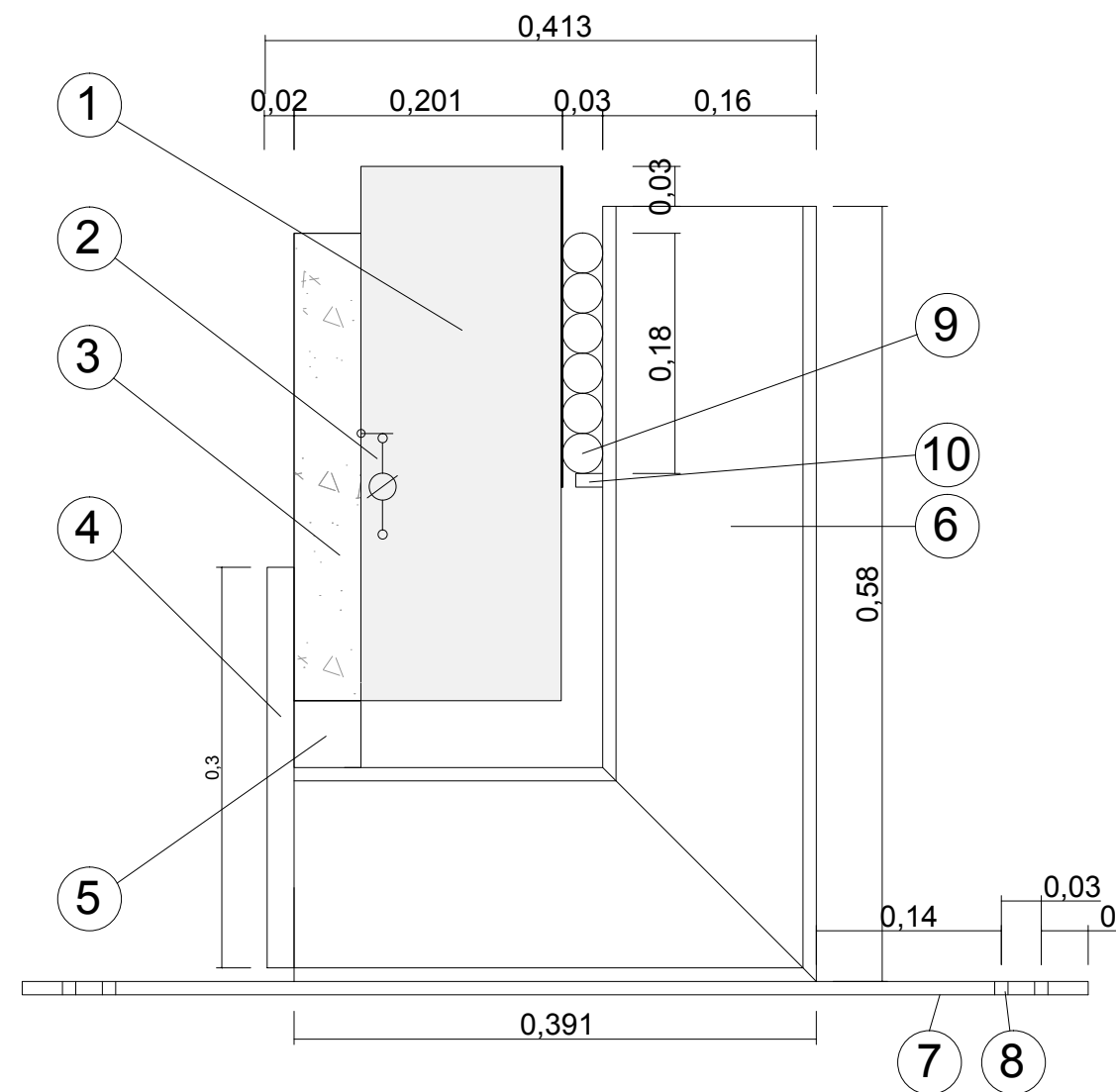
Capítol 2

PERFIL EQUIP ASSAIG 02



E:1/5

ALÇAT EQUIP ASSAIG 02



E:1/5

LLEGENDA

- ① Fusta 150x150x400mm
- ② Traductor
- ③ Formigó 50x150x400mm
- ④ Massís acer 300x200x20mm
- ⑤ Massís acer 50x200x50mm
- ⑥ Biga metàl·lica HEA 160 en "L"
- ⑦ Platina d'ancoratge 800x195x10mm
- ⑧ Forats d'anclatge pas=10mm
- ⑨ Rodets cilíndrics r=30mm longitud 160mm
- ⑩ Massís acer 160x20x10mm

Universitat de Girona (UdG)

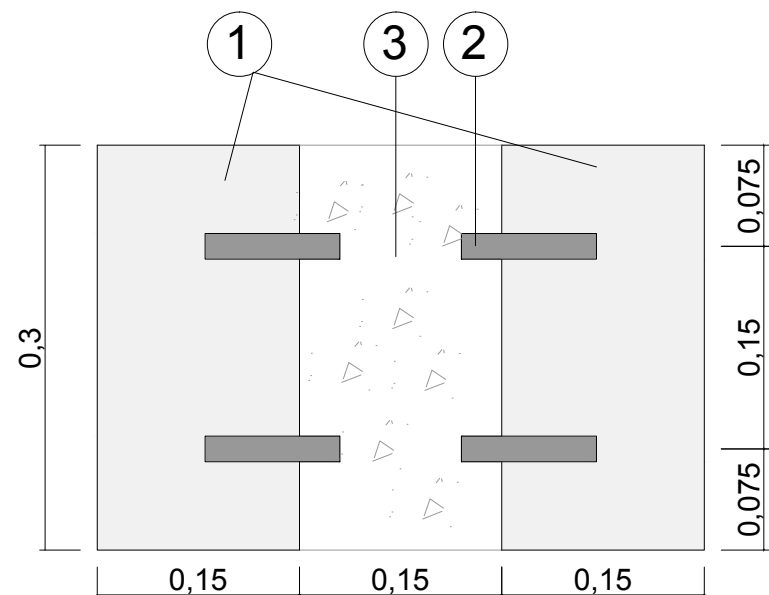
Anàlisi dels connectors emprats en el reforç dels sostres de fusta

nº-
2.3

Annex 1

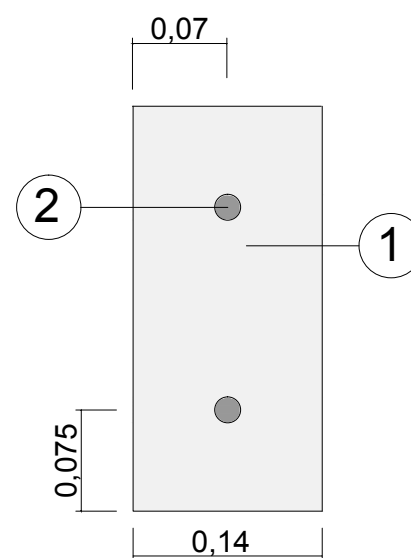
Capítol 2

ALÇAT PROVETA 03



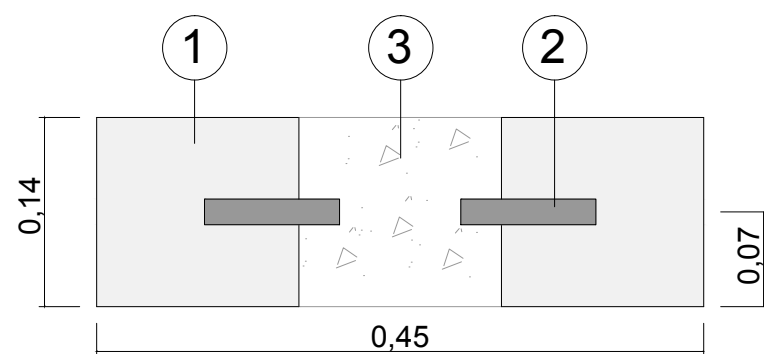
E:1/5

PERFIL PROVETA 03



E:1/5

PLANTA PROVETA 03



E:1/5

LLEGENDA

- ① Element de fusta*
- ② Unió mecànica*
- ③ Element de formigó

* Tipologia a decidir conjuntament amb en fabricant/proveïdor

Universitat de Girona (UdG)

Anàlisi dels connectors emprats en el reforç dels sostres de fusta

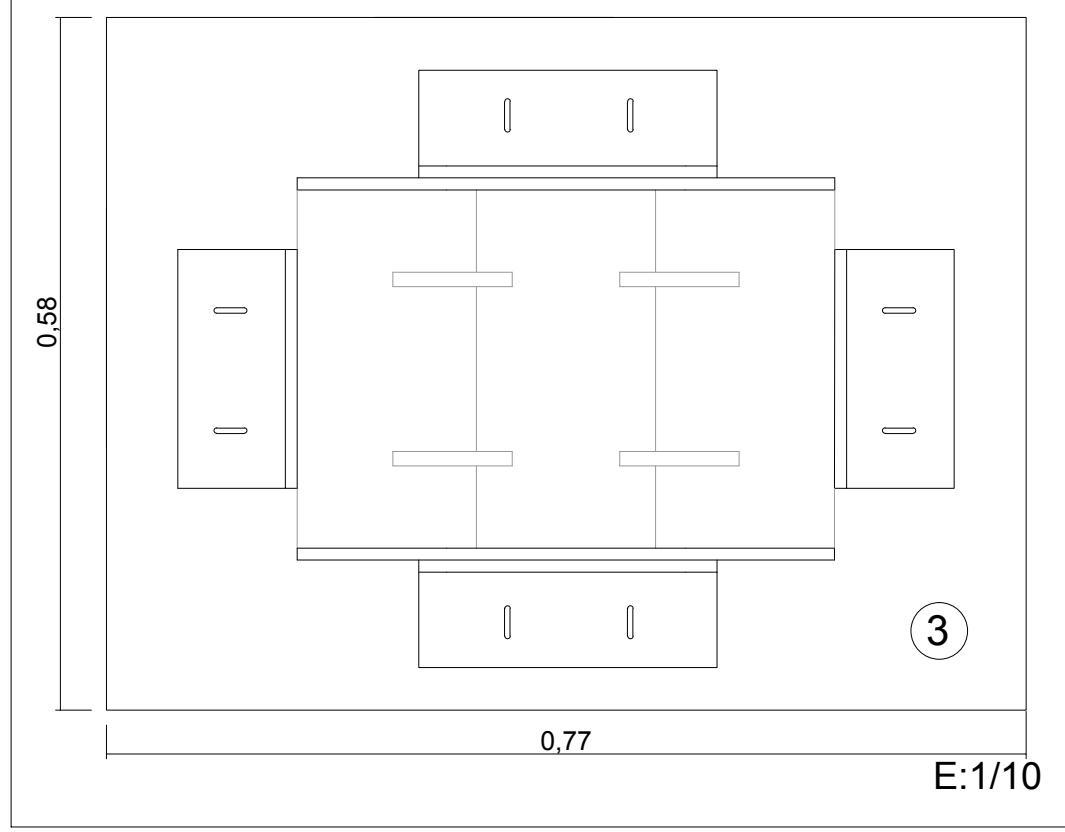
nº-

3.1

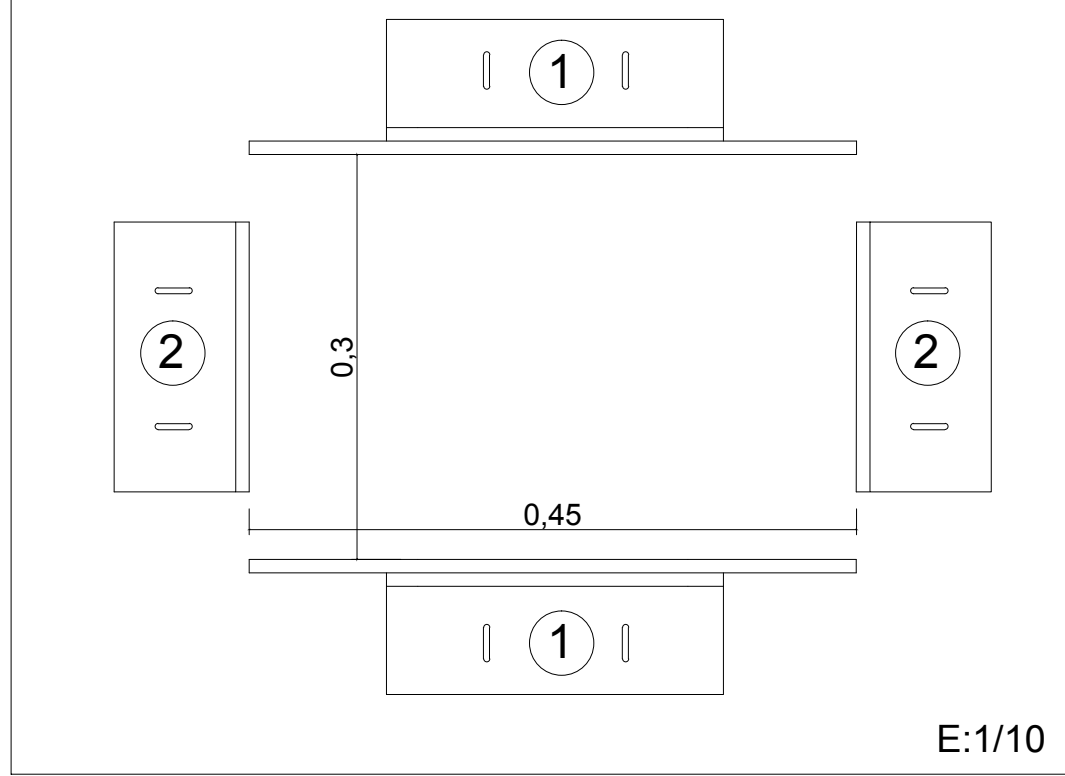
Annex 1

Capítol 3

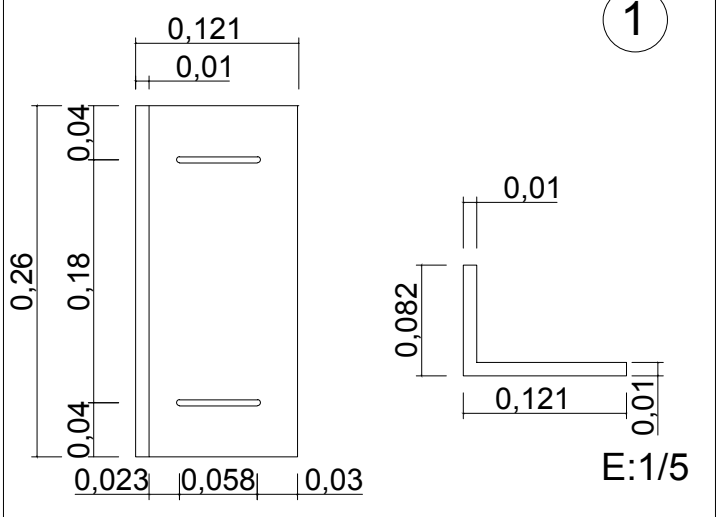
PLANTA ENCOFRAT 03



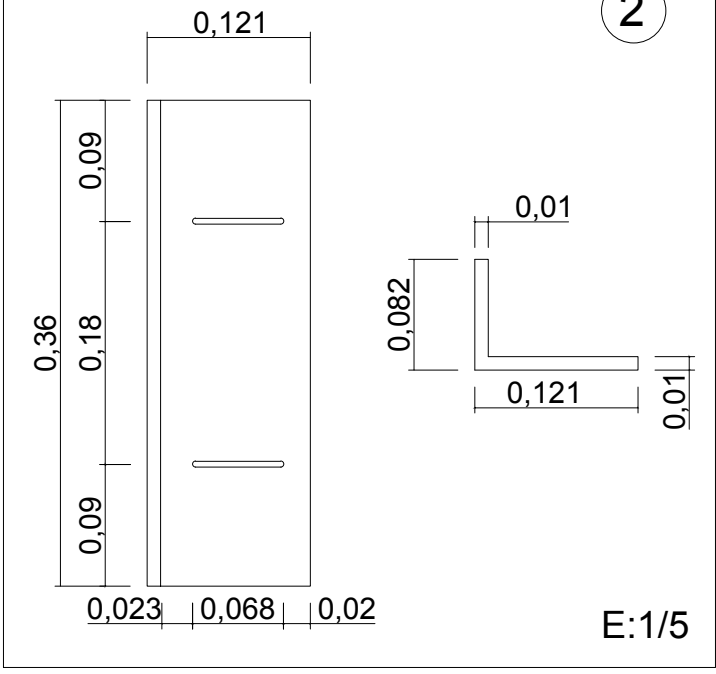
PLANTA ENCOFRAT 03



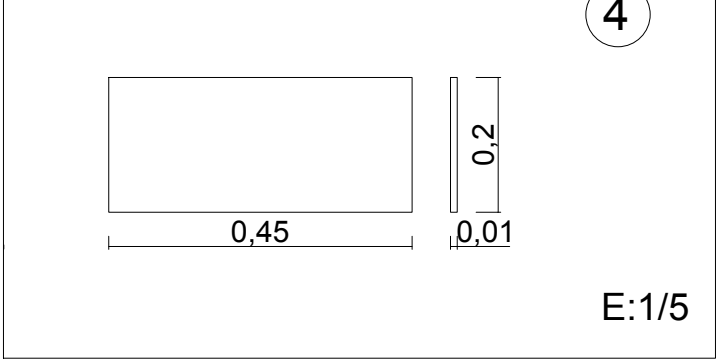
PERFIL 01 ENCOFRAT 03



PERFIL 02 ENCOFRAT 03



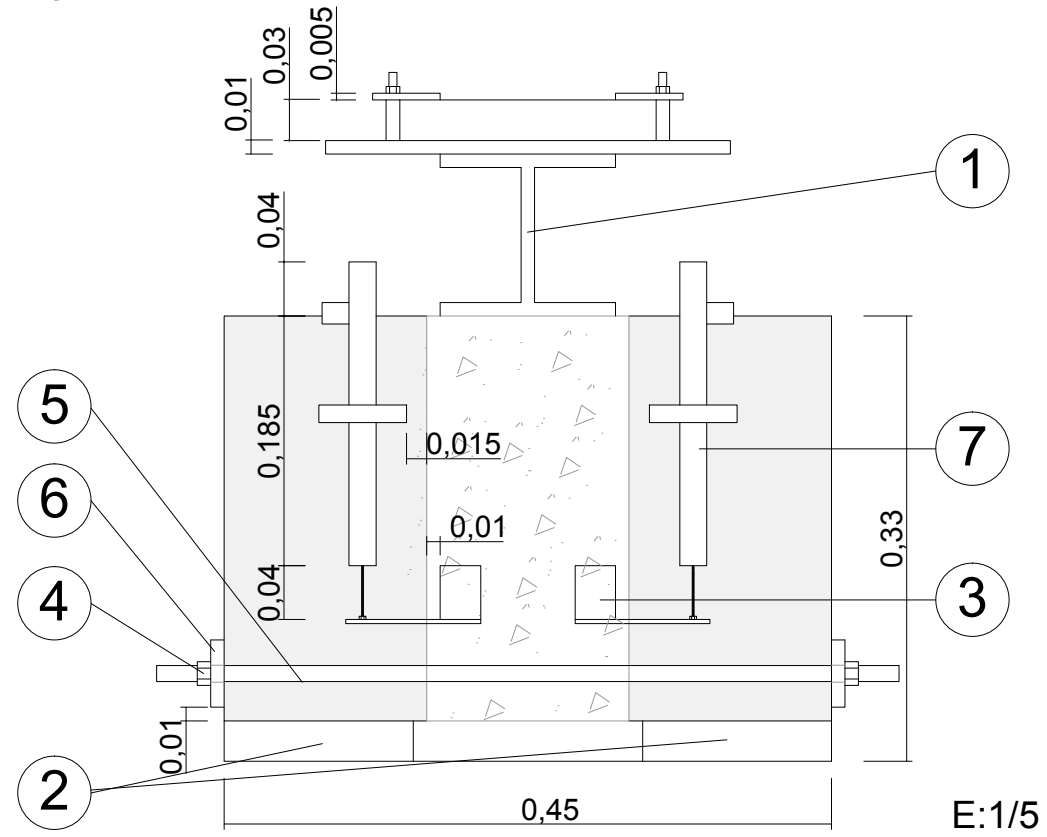
PERFIL 03 ENCOFRAT 03



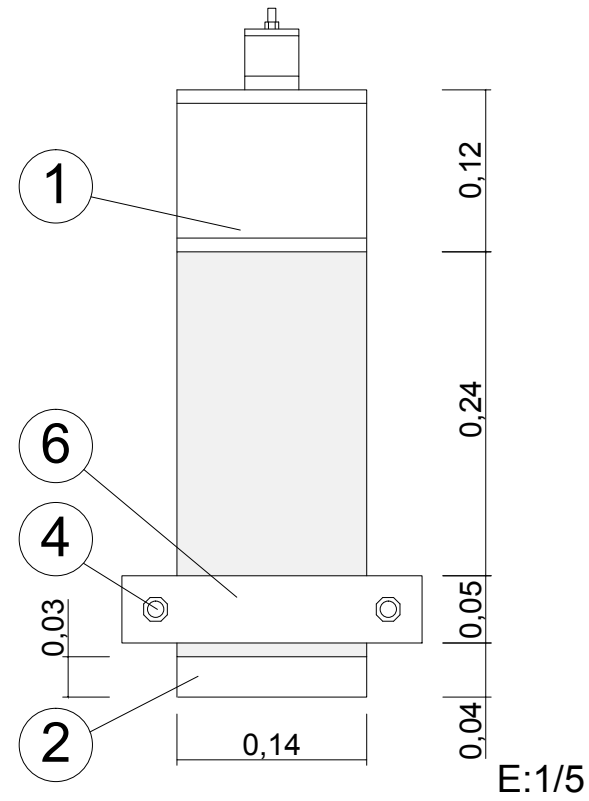
LLEGENDA

- ① Platina en forma de "L"
Perfil encofrat 01
- ② Platina en forma de "L"
Perfil encofrat 02
- ③ Platina base
600x600x10mm
- ④ Platina quadrangular
450x200x10mm

ALÇAT EQUIP ASSAIG 03



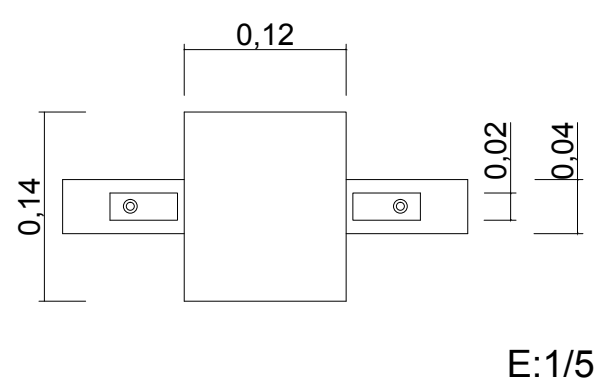
PERFIL EQUIP ASSAIG 03



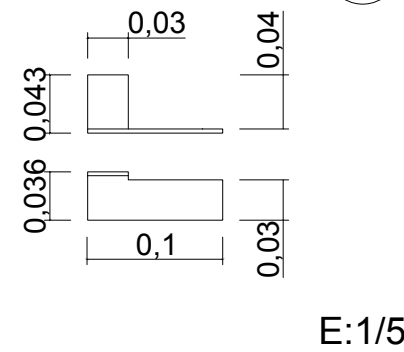
LLEGENDA

- ① HEB 120 tallada
- ② Massís acer 140x140x30mm
- ③ Platines per lectura transductor
- ④ Femella acer pas Ø12,5mm
- ⑤ Barilla roscada Ø12mm
- ⑥ Platina acer ajusta-proveta
- ⑦ Transductor

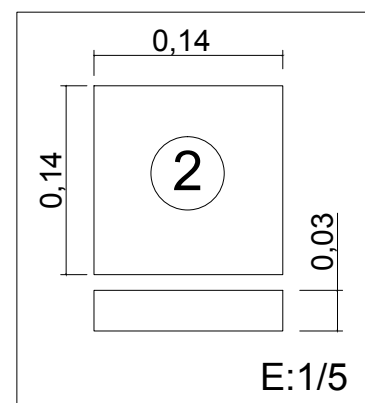
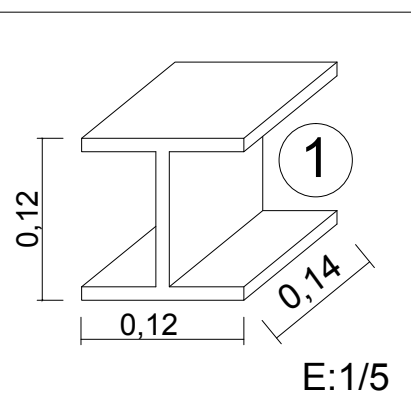
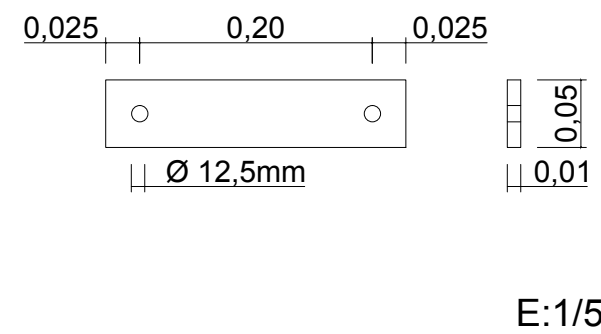
PLAT PREMSA 03



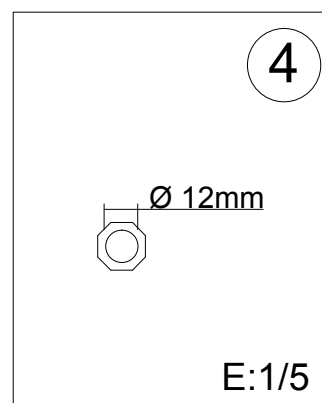
③



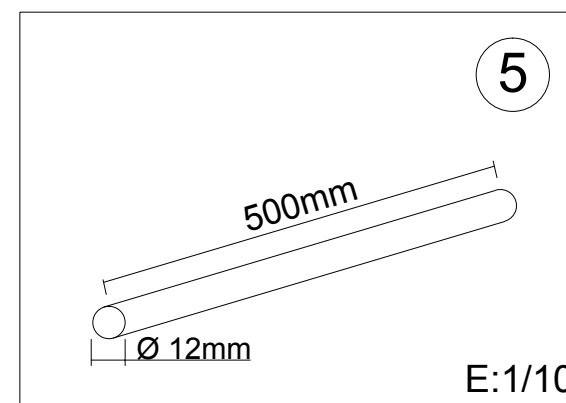
⑥



④



⑤



Universitat de Girona (UdG)

Anàlisi dels connectors emprats
en el reforç dels sostres de fusta

nº-
3.3

Annex 1

Capítol 3

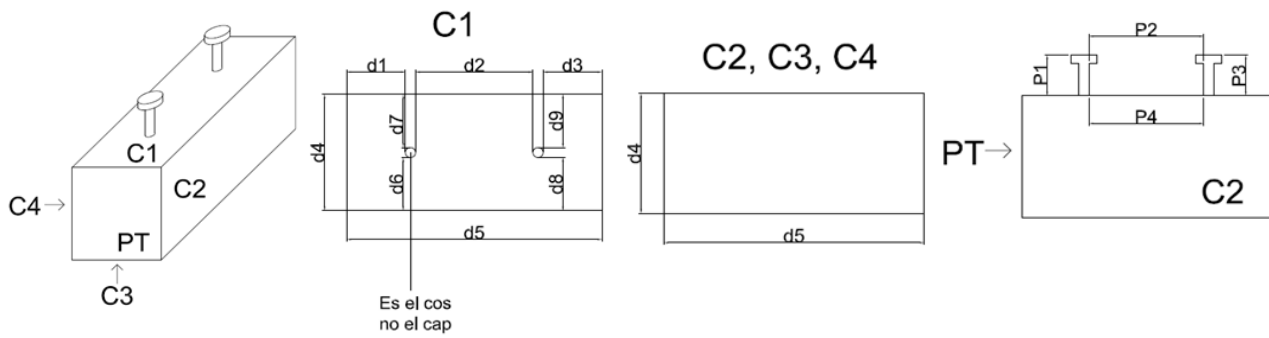


ANNEX 2

Fitxes d'observació inicial i resultats de provetes

PROVETA 4.01

Geometria:



d2 s'agafa a baix els pernns arran de fusta

PT4.01.A	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
C1	7	13,8	6,2	14	29,4	6,3	6,5	6,4	6,4
C2				15	29,4				
C3				14	29,4				
C4				15	29,4				
P1	4,4	P3	4,5	P2	13,73	P4	13,76		

PT4.01.B	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
C1	6,9	13,9	6,2	14	29,4	6,4	6,4	6,6	6,2
C2				14,9	29,4				
C3				14	29,4				
C4				14,9	29,4				
P1	4,1	P3	4,5	P2	13,7	P4	13,9		

PROVETA: PT4.01.A

CPT:



C1:



C2:



C0:



C3:



C4:



Observacions:

Observem un nus central a la C1, entre els dos tirafons i un altre nus més petit, però més descentrat cap a l'esquerre.

Observem que la C1, a simple vista no té una superfície plana a 90 graus. A la C1 també s'hi observa una mossegada a la part inferior dreta degut a un nus

També observem que allà on s'hi ha clavats els tirafons, han aparegut esclatxes en el sentit de la fibra degut a l'entrada dels tirafons. També observem un parell de nusos més. Un dels quals ubicat entre els dos tirafons.

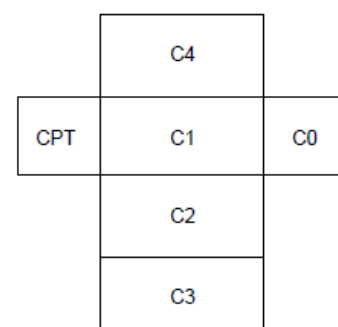
A la C2 seguim observant la mossegada del nus, i tres nusos més i un altre tallat perpendicularment. A part de tenir una inclinació cap avall dels tirafons.

A la C3 observem un sol nus petit.

A la c4 hi observem dos nusos.

Observem que la C1, a simple vista no té una superfície plana a 90 graus.

Il·lustració:



PROVETA: PT4.01.B

CPT:



C1:



C2:



C0:



C3:



C4:



Observacions:

A la C1 s'hi observen petits nusos repartits per tota la cara i un petit cop que ha provocat un petit aixafament a la fusta. Observem també un nus perpendicular i un en diagonal tocant a l'aresta esquerre. Observem també poc linealitat o rectitud en l'aresta inferior.

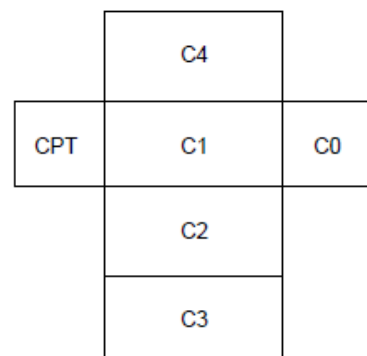
A la C2 també hi trobem tres nusos d'una dimensió més gran. Observem també aquí que el tirafons superior, no està correctament alineat. Està lleugerament esbiaixat cap avall.

A la C3 s'hi observen petits nusos i un gran nus amb una esquerra dins i a la C4 observem un gran nus a la part superior també esquerdat.

A la C0, s'hi observa clarament com el tirafons superior, a més està inclinat cap a la dreta també.

Observem que la cara C0 està esbiaixada, tenint un costat més alt que l'altre.

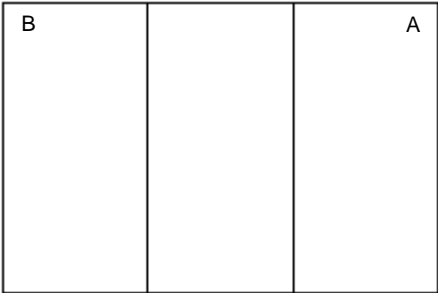
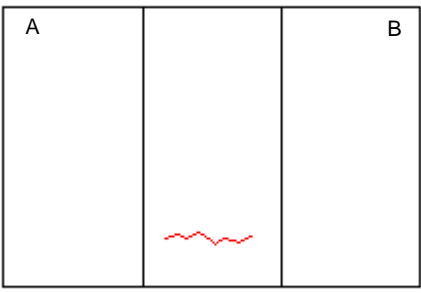
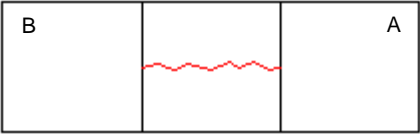
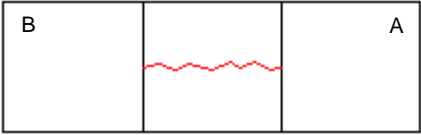


Il·lustració:



Dades de l'assaig:

PT4.01	
Compressió formigó	No
Data de formigonat	23-05-16
Data d'assaig	30-05-16
Dies curat formigó	7 dies
Càrrega estimada	20.245,7 N
Càrrega trencament	41.343,61 N
Desplaçament màxim	8,39 mm
Duració de l'assaig	1177,1 s

Mode de falla:

PROVETA: PT4.01	
Observacions esquemàtiques	
Davant: 	Darrere: 
Sobre: 	Sota: 
Observacions gràfiques	
	

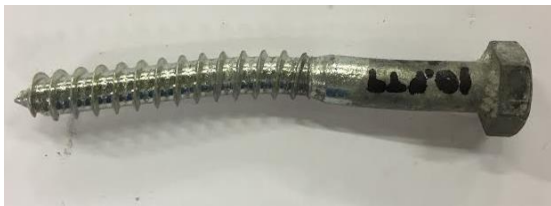


Costat A



Costat B

PT4.01.A(1)



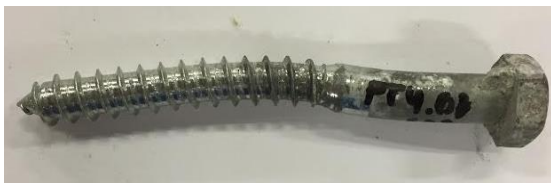
Fletxa: 5,92 mm

PT4.01.B(1)



Fletxa: 6,10 mm

PT4.01.A(2)



Fletxa: 5,94 mm

PT4.01.B(2)



Fletxa: 2,01 mm

Observacions

L'estat del formigó després de l'assaig és una partició en dos de dalt a baix en sentit transversal.

No s'observa esmicolament del formigó ni tampoc cap falla a la fusta.

Ha aparegut una esquerda entre els dos claus de collat de la platina.

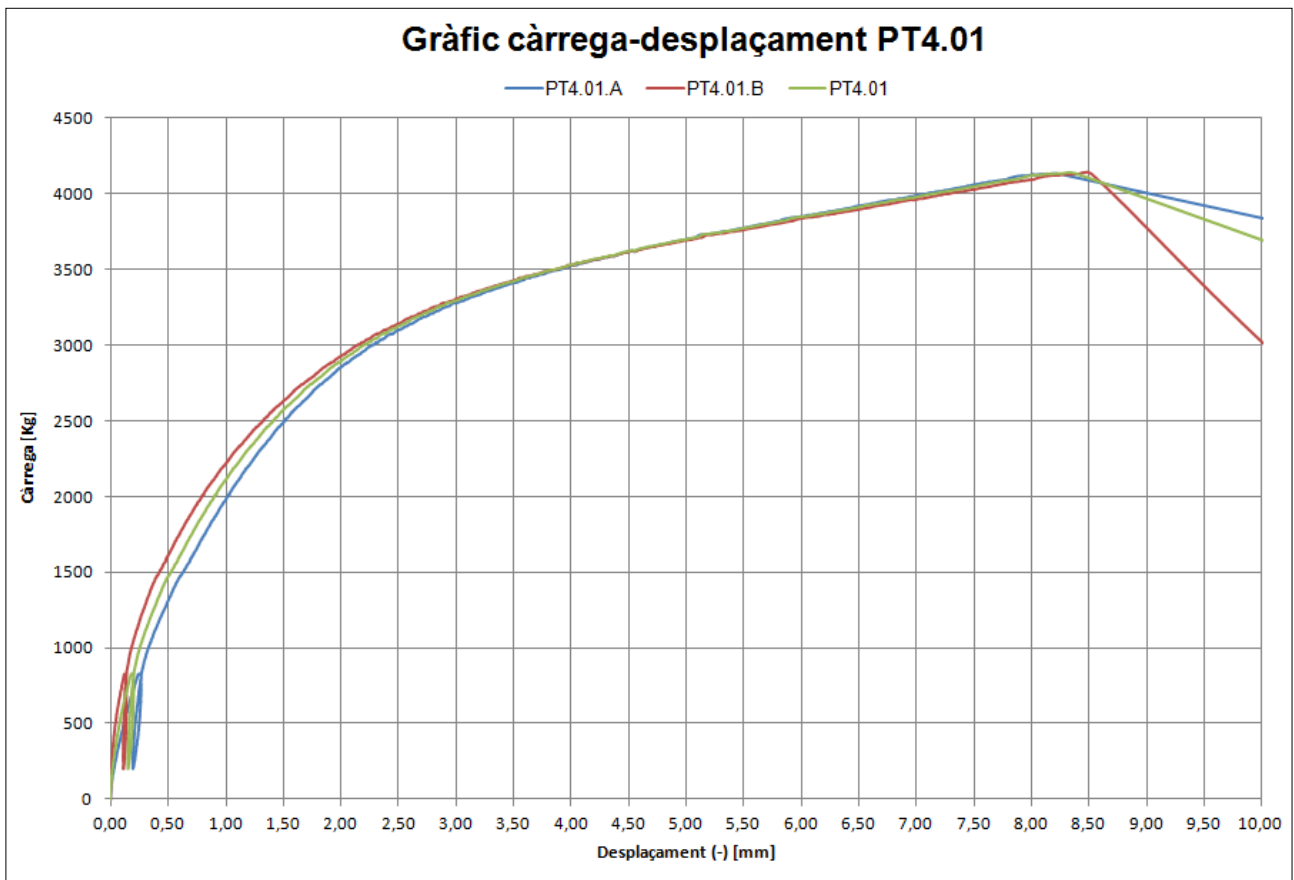
La cara de davant del formigó ha avançat 8mm.

També es pot veure el buit que deixen els tirafons al formigó, produït per la força a la que està sotmès aquest i a la resistència al tall que presenten els tirafons respecte aquesta força.

És curiosa la diferència de fletxa entre el tirafons (2) del costat B de la proveta i la resta de tirafons. Possiblement es podria explicar degut a l'angle que presentava el tirafons clavats a la fusta.

Observem que la càrrega de trencament és el doble de l'estimada, és per això que en les següents provetes decidim aplicar la carrega estimada calculada que presenta un valor superior.

Gràfic càrrega-desplaçament:

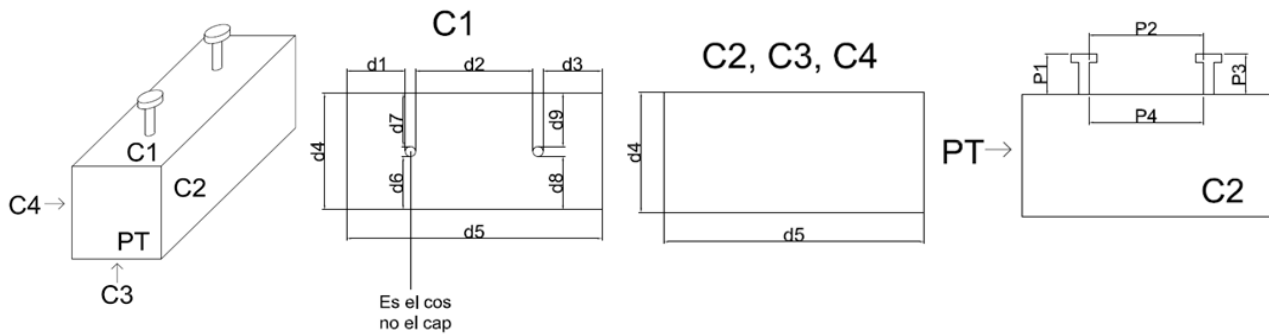


En aquest gràfic es poden observar 3 línies anomenades PT4.01.A, PT4.01.B i PT4.01. La línia denominada PT4.01.A, correspon a la mitjana dels resultats dels dos transductors col·locats a la fusta A de la proveta, la línia PT4.01.B a la mitjana dels resultats dels dos transductors col·locats a la fusta B de la proveta i finalment la línia anomenada PT4.01, és la mitjana dels 4 transductors.

A la gràfica si seguim la línia PT4.01 podem observar que la càrrega assolida es troba entre 4.000 i 4.500 Kg que són 40.000-45.000N i que el desplaçament màxim es troba entre 8 i 8,5 mm. Les dades exactes de trencament es poden trobar a la taula de l'apartat dades de l'assaig d'aquest mateix annex.

PROVETA 4.02

Geometria:



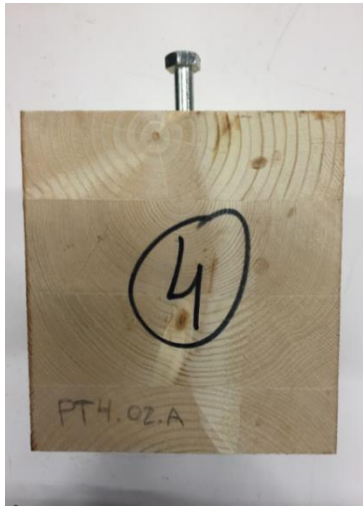
d2 s'agafa a baix els perns arran de fusta

PT4.02.A	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
C1	6,8	13,9	6,2	14	29,4	6,4	6,4	6,3	6,5
C2				14,9	29,4				
C3				14	29,4				
C4				14,9	29,4				
P1	4,9	P3	4,9	P2	13,9	P4	13,9		

PT4.02.B	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
C1	6,9	14	6,1	14	29,4	6,3	6,5	6,3	6,5
C2				14,9	29,4				
C3				14	29,4				
C4				14,9	29,4				
P1	4,6	P3	4,7	P2	13,9	P4	14		

PROVETA: PT4.02.A

CPT:



C1:



C2:



C0:



C3:



C4:



Observacions:

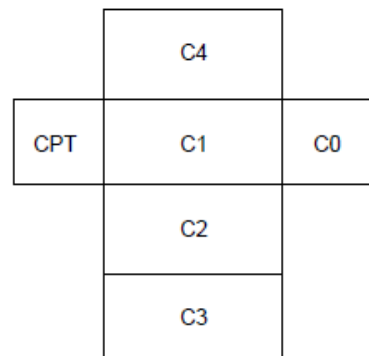
Observem a la C1, dos nusos centrals ubicats entre els dos tirafons, dos petits nusos centrats a la part superior i un també centrat a la part inferior.

Observem també a la C1, que la part superior del tirafons inferior, està lleugerament enfonsada i que els dos tirafons han sigut clavats de tal forma que queden un pel oberts entre ells. També observem que les arestes inferiors i superiors no són paral·leles.

A la C2 observem com la C0 té un costat més alt que l'altre i un nus al pla central de la mostra.

A la C3 observem dos nusos petits i tornem a observar la no planeïtat de la C0.

Il·lustració:



PROVETA: PT4.02.B

CPT:



C1:



C2:



C0:



C3:



C4:



Observacions:

A la cara CPT observem unes mossegades a la part superior i inferior dreta i que aquesta cara està pintada de rosa.

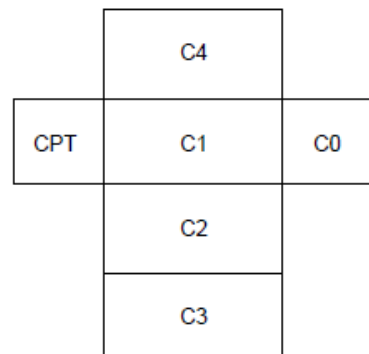
A la C1, observem que dos inicis de nusos a la part inferior de la mostra i tres repartits a la part superior, un dels quals està posicionat entre els dos tirafons.

A la C1, també s'hi observa una petita escletxa a la part superior del tirafons inferior.

A la C2, hi observem la diferencia d'alçada entre els dos punts de la C0 (no té planeïtat).

A la C3 observem un nus gran centrat i estellat i dos nusos molt petits a la part inferior.

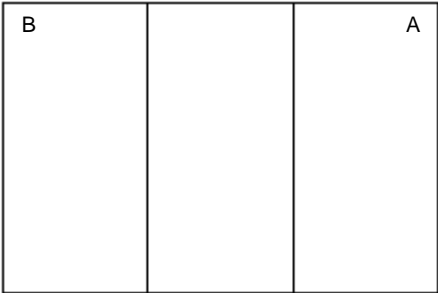
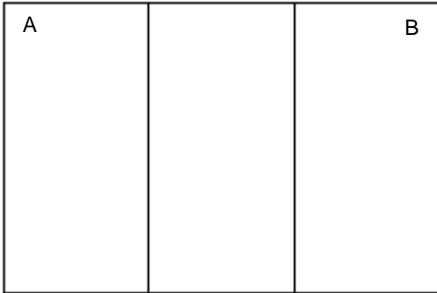
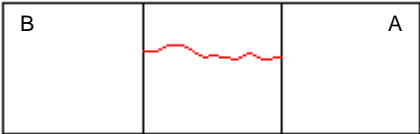
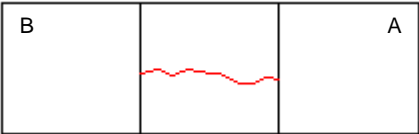

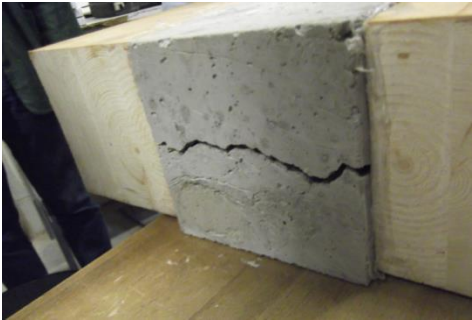
Il·lustració:



Dades de l'assaig:

PT4.02	
Compressió formigó	No
Data de formigonat	23-05-16
Data d'assaig	03-06-16
Dies curat formigó	11 dies
Càrrega estimada	50.435,69 N
Càrrega trencament	52.423,60 N
Desplaçament màxim	9,39 mm
Duració de l'assaig	615,1 s

Mode de falla:

PROVETA: PT4.02	
Observacions esquemàtiques	
Davant: 	Darrere: 
Sobre: 	Sota: 
Observacions gràfiques	
	



Costat A

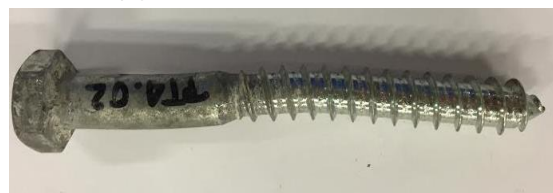
Costat B

PT4.02.A(1)



Fletxa: 4,00 mm

PT4.02.B(1)



Fletxa: 4,02 mm

PT4.02.A(2)



Fletxa: 3,81 mm

PT4.02.B(2)



Fletxa: 3,87 mm

Observacions

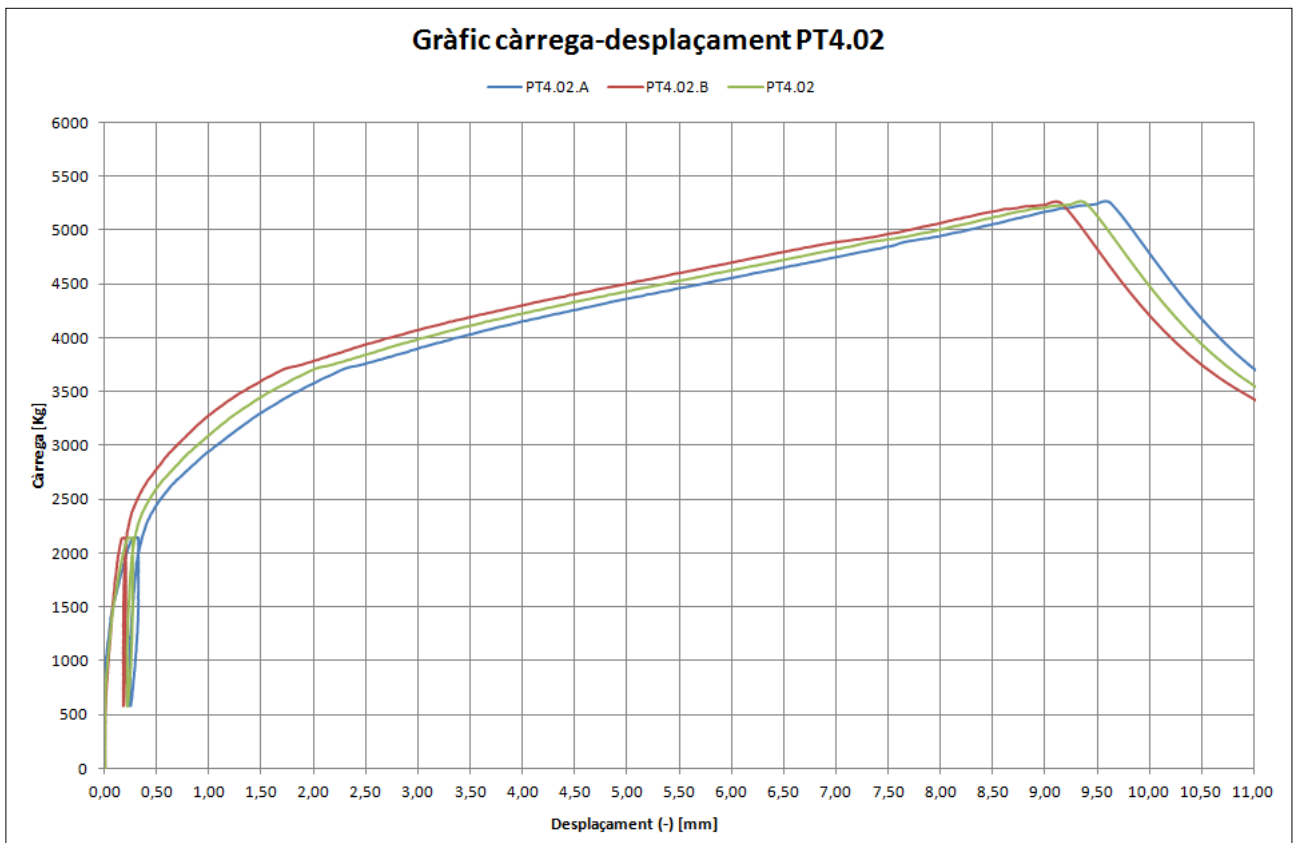
El formigó ha fallat clarament seguint el patró de trencament de la proveta anterior. És necessari reforçar-lo o utilitzar un altre tipus de formigó que ens doni més resistència, ja que l'usat no ens l'ha proporcionada.

Hi ha una similitud entre la fletxa dels 4 tirafons.

No s'observa tant de buit marcat en el formigó pels tirafons com en la mosta anterior.

Observem que la càrrega de trencament és una mica superior a l'estimada.

Gràfic càrrega-desplaçament:

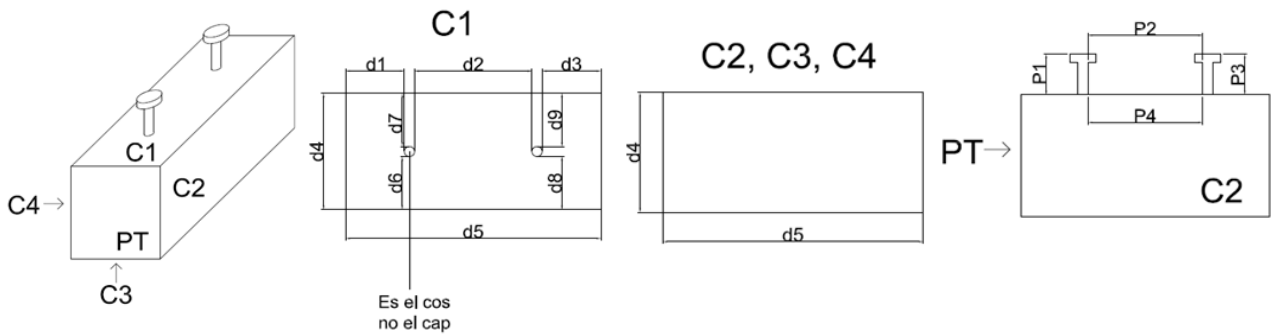


En aquest gràfic es poden observar 3 línies anomenades PT4.02.A, PT4.02.B i PT4.02. La línia denominada PT4.02.A, correspon a la mitjana dels resultats dels dos transductors col·locats a la fusta A de la proveta, la línia PT4.02.B a la mitjana dels resultats dels dos transductors col·locats a la fusta B de la proveta i finalment la línia anomenada PT4.02, és la mitjana dels 4 transductors.

A la gràfica si seguim la línia PT4.02 podem observar que la càrrega assolida es troba entre 5.000 i 5.500 Kg que són 50.000-55.000N i que el desplaçament màxim es troba entre 9 i 9,5 mm. Les dades exactes de trencament es poden trobar a la taula de l'apartat dades de l'assaig d'aquest mateix annex.

PROVETA 4.03

Geometria:



d2 s'agafa a baix els pernns arran de fusta

PT4.03.A	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
C1	6,9	14,1	6,1	14,1	29,5	6,6	6,3	6,4	6,5
C2				15,2	29,5				
C3				14,1	29,5				
C4				15,2	29,5				
P1	4,6	P3	4,6	P2	14,2	P4	14,1		

PT4.03.B	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
C1	6,9	14	6,2	14,1	29,4	6,7	6,3	6,6	6,4
C2				15,2	29,4				
C3				14,1	29,4				
C4				15,2	29,4				
P1	4,7	P3	4,6	P2	14,07	P4	14		

PROVETA: PT4.03.A

CPT:



C1:



C2:



C0:



C3:



C4:



Observacions:

A la CPT observem una C4 més gran que la C2, però la C1 és plana.

A la C1, observem unes esclertes visibles en direcció a la veta en l'element metàl·lic superior, provocades per l'entrada del tirafons dins la fusta. En l'element metàl·lic inferior, observem com certes vetes de la fusta, sobresurten, deixant una superfície no llisa (estelles). També podem veure nusos petits un dels quals està centrat entre els dos elements metàl·lics.

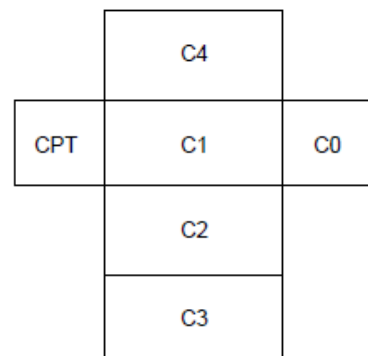
A la C2, observem que la C0 està esbiaixada, el tirafons inferior no està collat a 90° i tenim un nus important a la part superior de la cara.

A la C3 hi observem un nus gran i dos molt petits.

A la C4, observem dos nusos grans, un dels quals situat a la perpendicularitat del tirafons superior.

A la C0 observem com els tirafons estan lleugerament entrats cap a la dreta a la fusta i la C4 tampoc està tallada a 90°.

Il·lustració:



PROVETA: PT4.03.B

CPT:



C1:



C2:



C0:



C3:



C4:



Observacions:

A la CPT observem una estria en la cara.

A la C1, observem que el tirafons inferior està lleugerament més obert que el superior i observem tres nusos, dos dels quals estan posicionats a les cantonades de la cara. El més important és a la part inferior esquerra de la cara mostrant un gran espai buit (mossegada). També observem la no planeïtat de la cara C0.

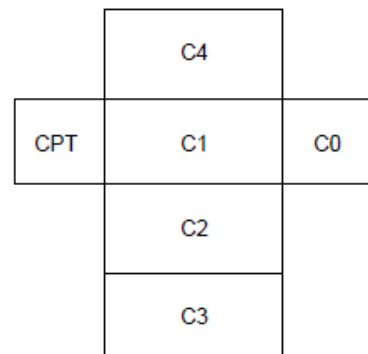
A la C2 tornem a observar el mateix respecte als tirafons i C0, que en la C1.

A la C3 observem un parell de nusos petits a la part superior i un inici de nus a la part inferior.

A la C4, observem a la part inferior dreta la mossegada (espai buit) comentat abans i un petit nus. També observem la no verticalitat dels tirafons.

A la C0, observem una mena d'esclletxa a la fusta.

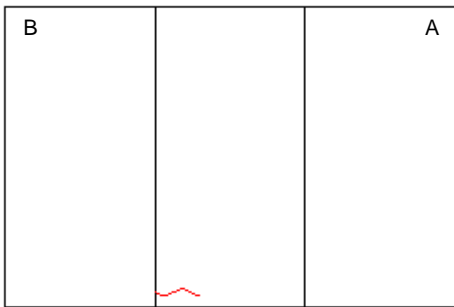
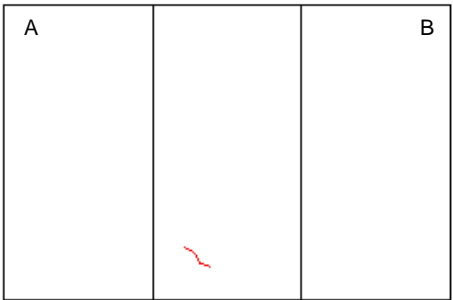
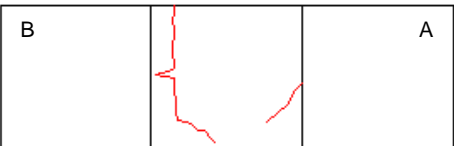



Il·lustració:

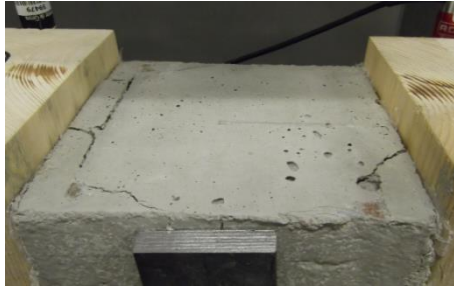


Dades de l'assaig:

PT4.03	
Compressió formigó	Si
Data de formigonat	23-05-16
Data d'assaig	03-06-15
Dies curat formigó	18 dies
Càrrega estimada	50.435,69 N
Càrrega trencament	51.085,49 N
Desplaçament màxim	16,06 mm
Duració de l'assaig	621,1 s

Mode de falla:

PROVETA: PT4.03	
Observacions esquemàtiques	
Davant: 	Darrere: 
Sobre: 	Sota: 
Observacions gràfiques	
	



Costat A

Costat B

PT4.03.A(1)



Fletxa: 5,21 mm

PT4.03.B(2)



Fletxa: 5,37 mm

PT4.03.A(2)



Fletxa: 3,93 mm

PT4.03.B(1)



Fletxa: 3,72 mm

Observacions

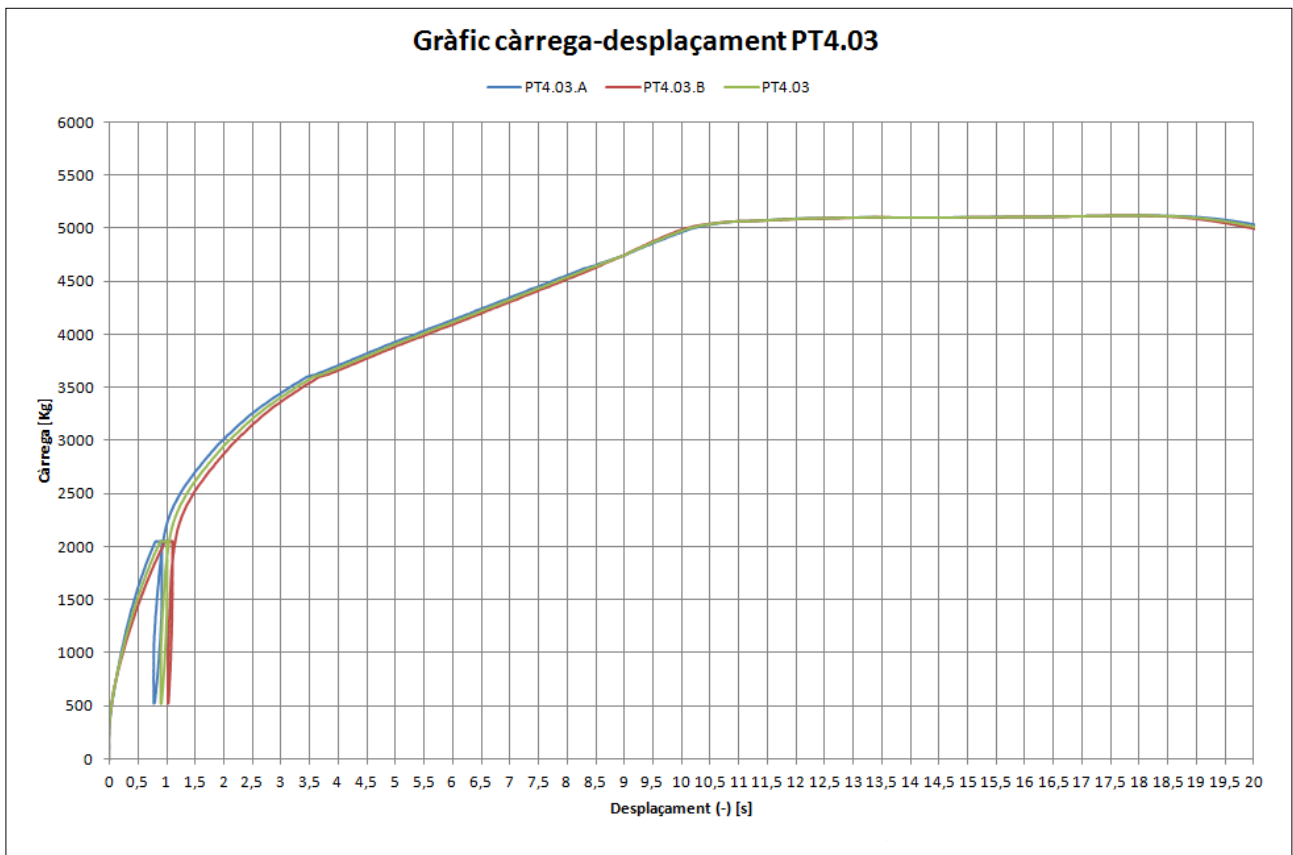
El sistema de precompressió / confinament del formigó per augmentar la resistència de l'element de formigó, observem que ha donat resultat, ja que hem aconseguit un major desplaçament.

El trencament del formigó ha estat en forma de rellotge de sorra, podem veure que allà on es trobaven els tirafons les formigó s'ha trencat formant un arc al voltant dels tirafons, mentre que entre els connectors no s'ha trencar el formigó.

La fusta segueix resistint i no falla.

Pel que fa als tirafons hem pogut observar que els que es troben a la part inferior de la proveta s'han deformat menys que els superiors.

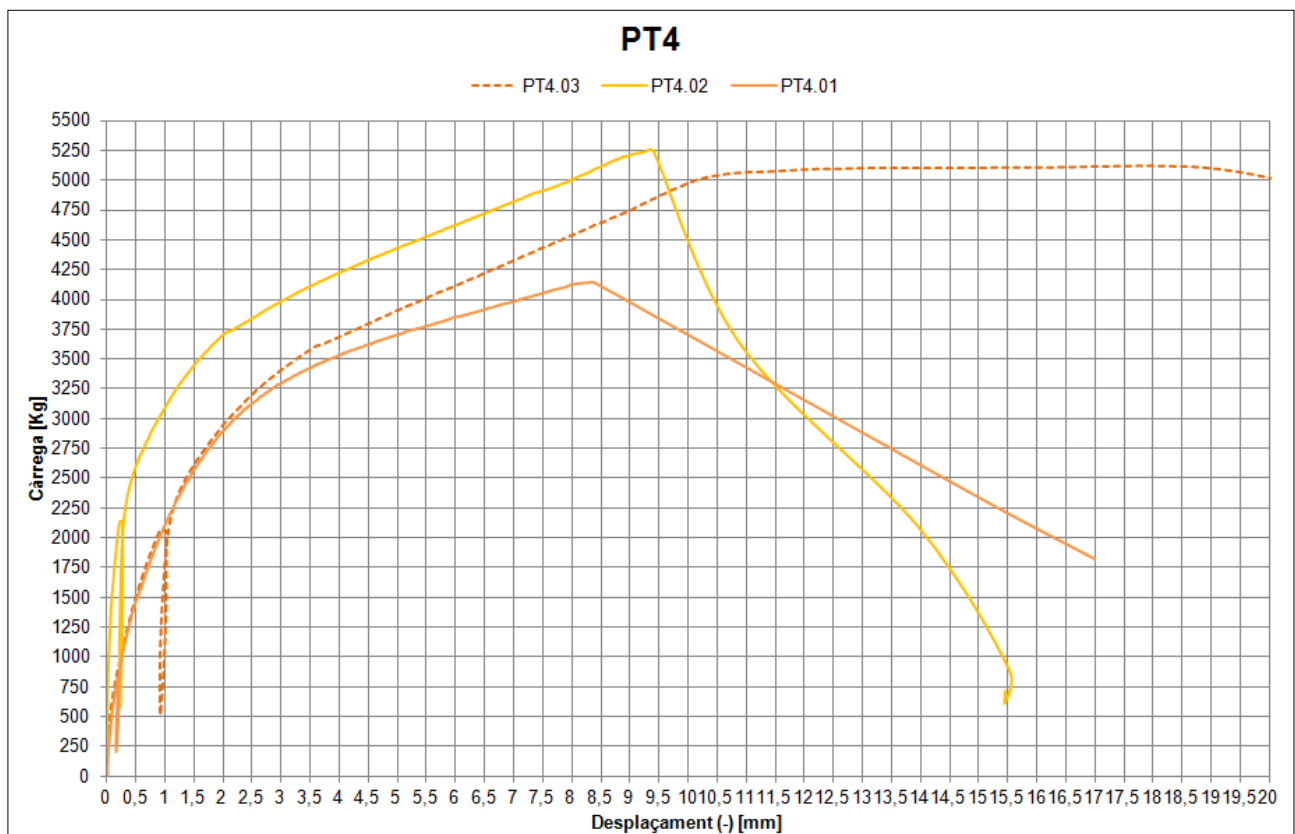
Gràfic càrrega-desplaçament:



En aquest gràfic es poden observar 3 línies anomenades PT4.03.A, PT4.03.B i PT4.03. La línia denominada PT4.03.A, correspon a la mitjana dels resultats dels dos transductors col·locats a la fusta A de la proveta, la línia PT4.03.B a la mitjana dels resultats dels dos transductors col·locats a la fusta B de la proveta i finalment la línia anomenada PT4.03, és la mitjana dels 4 transductors.

A la gràfica si seguim la línia PT4.03 podem observar que la proveta aguanta la càrrega màxima assolida durant uns segons mentre el desplaçament va augmentant, la càrrega màxima assolida es troba entre 5.000 i 5.500 Kg que són 50.000-55.000N i el desplaçament màxim hem considerat que es troba entre 16 i 16,5 mm, no es pot apreciar massa bé en el gràfic ja que sembla que després dels 16mm la càrrega augmenti o segueixi igual però a les dades de laboratori apreciem que a partir dels 16,01mm la càrrega comença a baixar pausadament. Les dades exactes de trencament es poden trobar a la taula de l'apartat dades de l'assaig d'aquest mateix annex.

Gràfic de les mitjanes de cada proveta tipus 4

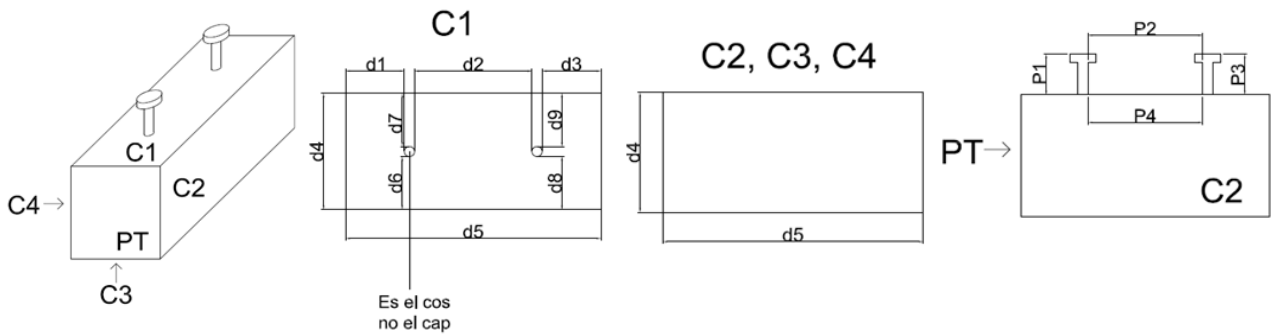


En aquest gràfic s'hi poden observar les línies de la mitjana dels 4 transductors de cada proveta del tipus 4: PT4.01, PT4.02, PT4.03

Aquest s'ha fet per tal de veure que tot i que les mides i separacions són igual i el formigó també, les provetes no tenen comportaments iguals. S'ha de recordar que els dies de curat del formigó si que són diferents: PT4.01 - 7 dies, PT4.02 - 11 dies i PT4.03 - 18 dies i que a més a la proveta PT4.03 si que s'hi ha aplicat un terme diferent de les altres que és el confinament del formigó.

PROVETA 3.01

Geometria:



d2 s'agafa a baix els pernns arran de fusta

PT3.01.A	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
C1	9,4	8,9	8,7	14	29,4	6,6	6,2	6,4	6,4
C2				14,9	29,4				
C3				14	29,4				
C4				14,9	29,4				
P1	4,5	P3	4,6	P2	8,8	P4	8,9		

PT3.01.B	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
C1	9,4	9,1	8,4	14	29,3	6,6	6,2	6,4	6,4
C2				14,9	29,4				
C3				14	29,4				
C4				14,9	29,3				
P1	4,4	P3	4,6	P2	9,2	P4	9,1		

PROVETA: PT3.01.A

CPT:



C1:



C2:



C0:



C3:



C4:



Observacions:

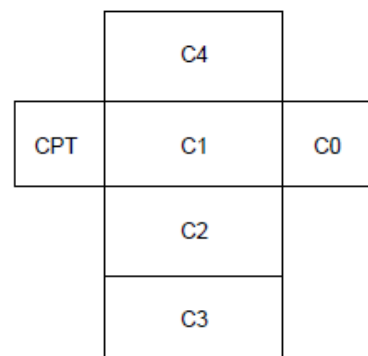
A la C1 observem com el tirafons inferior està més obert i l'altre està perfectament alineat. Hi observem també poca linealitat o rectitud en l'aresta inferior. També podem veure un nus gran i una escletxa amb resina a la part superior de la peça de fusta i dos nusos més petits a la part mitja inferior.

A la C2 també hi trobem tres nusos un d'una dimensió més gran a la part mitja superior i dos de més petits a la part inferior.

A la C3 s'hi observen petits nusos al llarg de la part superior de la peça.

A la C4 s'hi observen petits nusos al llarg de tota la fusta

Il·lustració:



ROVETA: PT3.01.B

CPT:



C1:



C2:



C0:



C3:



C4:



Observacions:

A la CPT observem tres nusos allargats.

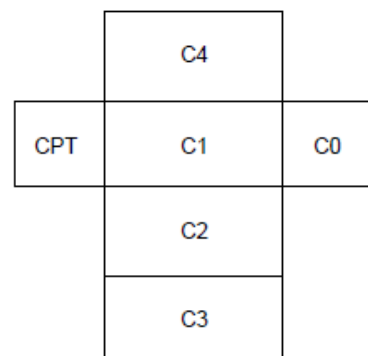
A la C1 observem com el tirafons inferior està més obert i l'altre està perfectament alineat. Hi observem també poca linealitat o rectitud en l'aresta inferior. També podem veure un nus gran i una esclatxa amb resina a la part superior de la peça de fusta i dos nusos més petits a la part mitja inferior.

A la C2 observem dos grans nusos, un a la part superior i un que només és la meitat i es troba a la part inferior. A més també veiem tres nusos més petits, dos a la part inferior i un a la superior.

A la C3 observem un parell de nusos petits a la part superior i inferior i un de gros a la meitat de la peça.

A la C4 observem tres nusos petits a la part superior i inferior i un de gros a la meitat de la peça.

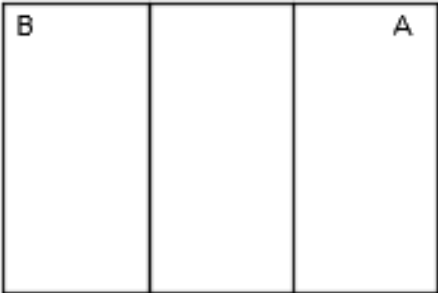
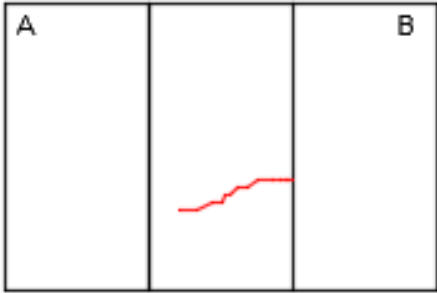
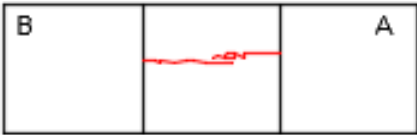
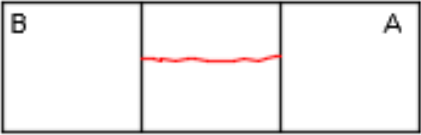

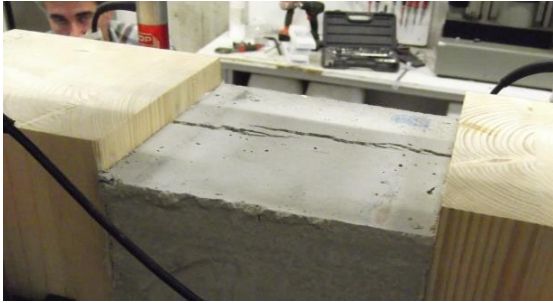
Il·lustració:



Dades de l'assaig:

PT3.01	
Compressió formigó	No
Data de formigonat	23-05-16
Data d'assaig	03-06-16
Dies curat formigó	11 dies
Càrrega estimada	50.435,69 N
Càrrega trencament	43.031,86 N
Desplaçament màxim	4,67 mm
Duració de l'assaig	505,1 s

Mode de falla:

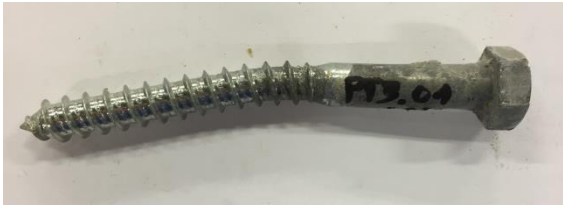
PROVETA: PT3.01	
Observacions esquemàtiques	
Davant: 	Darrere: 
Sobre: 	Sota: 
Observacions gràfiques	
	



Costat A

Costat B

PT3.01.A(1)



Fletxa: 6,04 mm

PT3.01.B(1)



Fletxa: 6,73 mm

PT3.01.A(2)



Fletxa: 6,10 mm

PT3.01.B(2)



Fletxa: 5,98 mm

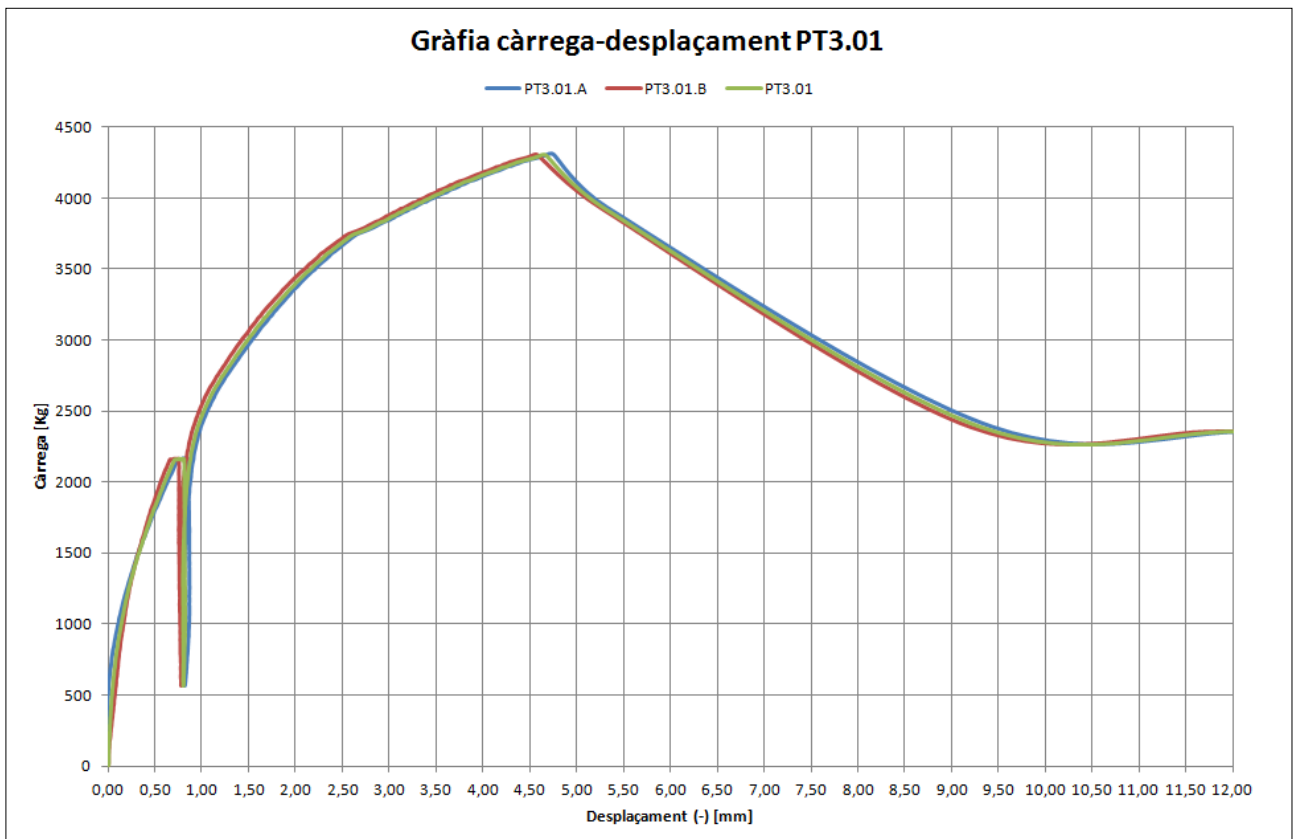
Observacions

Observem que la cara superior, hi neixen des dels dos costats, dues esquerdes que arriben al centre de l'element però que tot i ésser molt pròximes, no ens toquen. En canvi, a la part inferior s'observa una sola esquerda.

Observem una esquerda a la cara del darrera, nascuda del clau de platines de mesura del costat B.

Pel que fa als tirafons observem una semblança de resultats entre els tirafons PT3.01.A(1), PT3.01.A(2) i PT3.01.B(2), en canvi, la fletxa del tirafons PT3.01.B(1) es pot considerar massa distant de les altres fletxes.

Gràfic càrrega-desplaçament:

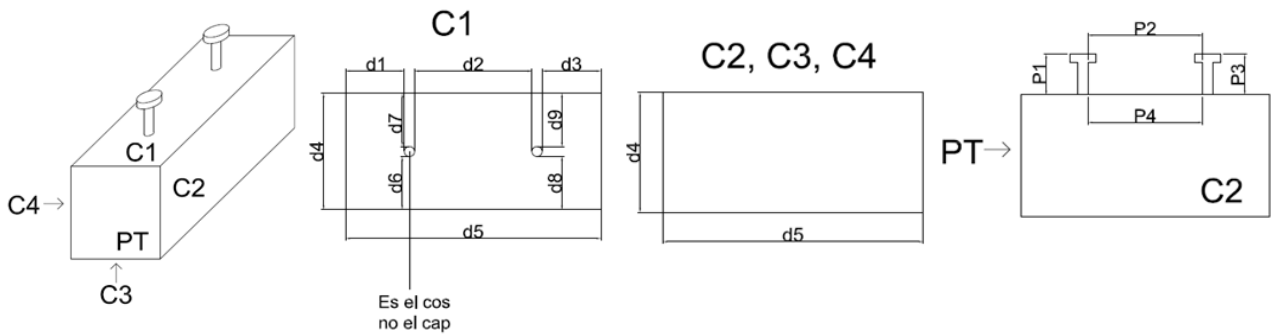


En aquest gràfic es poden observar 3 línies anomenades PT3.01.A, PT3.01.B i PT3.01. La línia denominada PT3.01.A, correspon a la mitjana dels resultats dels dos transductors col·locats a la fusta A de la proveta, la línia PT3.01.B a la mitjana dels resultats dels dos transductors col·locats a la fusta B de la proveta i finalment la línia anomenada PT3.01, és la mitjana dels 4 transductors.

A la gràfica si seguim la línia PT3.01 podem observar que la càrrega assolida es troba entre 4.000 i 4.500 Kg que són 40.000-45.000N i que el desplaçament màxim es troba entre 4,5 i 5 mm. Les dades exactes de trencament es poden trobar a la taula de l'apartat dades de l'assaig d'aquest mateix annex.

PROVETA 3.02

Geometria:



d2 s'agafa a baix els pernns arran de fusta

PT3.02.A	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
C1	9,3	9,1	8,6	13,9	29,2	6,3	6,5	6,1	6,6
C2				15,2	29,2				
C3				13,9	29,2				
C4				15,2	29,2				
P1	4,4	P3	4,6	P2	9	P4	9,1		

PT3.02.B	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
C1	8,4	9,4	9,3	14,1	29,5	6,7	6,3	6,6	6,4
C2				15,2	29,5				
C3				14,2	29,5				
C4				15,2	29,5				
P1	4,7	P3	4,5	P2	9,4	P4	9,4		

PROVETA: PT3.02.A

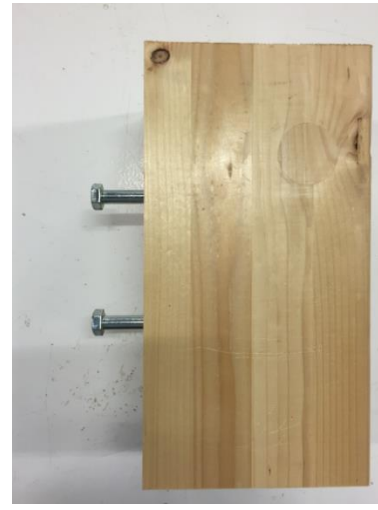
CPT:



C1:



C2:



C0:



C3:



C4:



Observacions:

A la CPT hi observem una ratllada sense importància i es veu com la C1 i la C2 no estan a escaire.

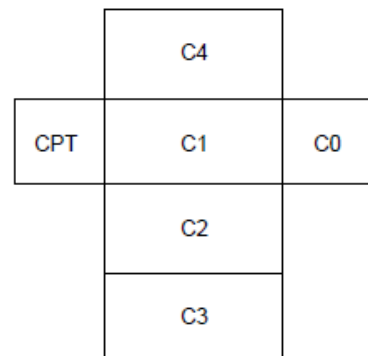
A la C1 observem com el tirafons inferior està més obert i l'altre està perfectament alineat. Hi observem també la no planeïtat de la C0 i el nus gran a la part superior de l'element metàl·lic superior. També podem entreveure unes mínimes esclatxes que neixen dels tirafons i van en direcció al element contrari.

A la C2 observem un tap a la part esquerra superior de la cara i també trobem un nus a la part superior esquerra de la cara. També s'observa un nus perpendicular al costat del tap.

A la C3 s'hi observa un altre tap a la part superior esquerra de la cara i un nus considerable a la part central superior de la cara.

A la C4 observem dos nusos petits i un de gros. A la C0 observem com els tirafons no fan els 90 graus i s'inclinen cap a la dreta.

Il·lustració:



PROVETA: PT3.02.B

CPT:



C1:



C2:



C0:



C3:



C4:



Observacions:

A la CPT observem que les C3 i C4 no estan a 90° entre elles i aquests 90° tampoc els compleixen els tirafons en relació la base de la superfície.

A la C1 hi observem la inclinació cap avall del tirafons inferior, un nus a la part esquerre de la mostra, just entre els dos elements metàl·lics i sobretot s'hi observa l'esclatxa en la base del tirafons inferior. També podem apreciar que la C0 no és totalment plana.

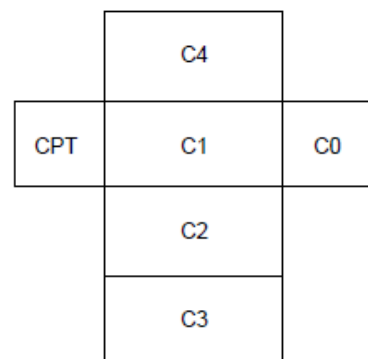
A la C2 observem dos petits nusos a la part inferior de la mostra i la no linealitat de la C0 per aquest cantó de la cara, a més de la lleugera inclinació cap avall del tirafons inferior.

A la C3, observem dos grans nusos tocant-se ubicats quasi al centre i dos petits nusos a la part superior i un a la part inferior esquerre. Aquí també observem la inclinació que segueix l'aresta de C0.

A la C4 observem dos nusos grans i un petit. Un dels grans està centrat perpendicularment entre tirafons.

A la C0 observem una diferencia de longitud entre la C1 i la C3.

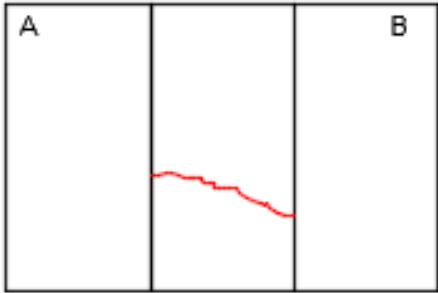
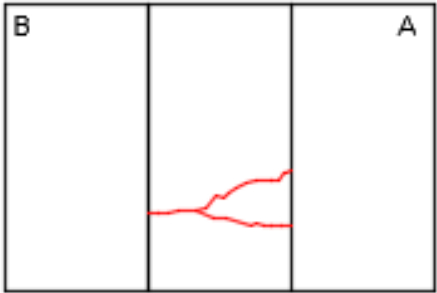


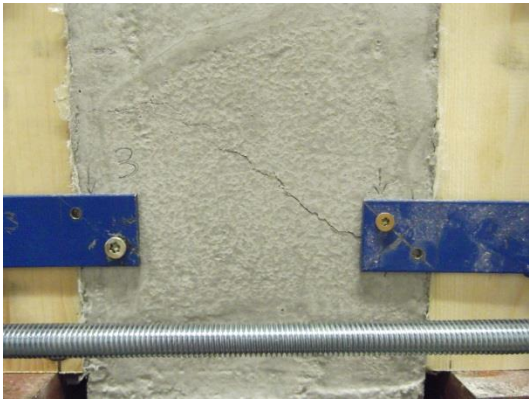

Il·lustració:



Dades de l'assaig:

PT3.02	
Compressió formigó	No
Data de formigonat	27-05-16
Data d'assaig	07-06-16
Dies curat formigó	11 dies
Càrrega estimada	50.435,69 N
Càrrega trencament	48.884,50 N
Desplaçament màxim	9,95 mm
Duració de l'assaig	581,1 s

Mode de falla:

PROVETA: PT3.02	
Observacions esquemàtiques	
Davant: 	Darrere: 
Sobre: 	Sota: 
Observacions gràfiques	
	



Costat A

Costat B

PT3.02.A(1)



Fletxa: 4,41 mm

PT3.02.B(1)



Fletxa: 5,63 mm

PT3.02.A(2)



Fletxa: 3,92 mm

PT3.02.B(2)



Fletxa: 5,61 mm

Observacions

Les esquerdes aparegudes a la part de davant i de darrera, presentes un mateix patró al néixer al mateix costat B, en el clau de les platines de mesura.

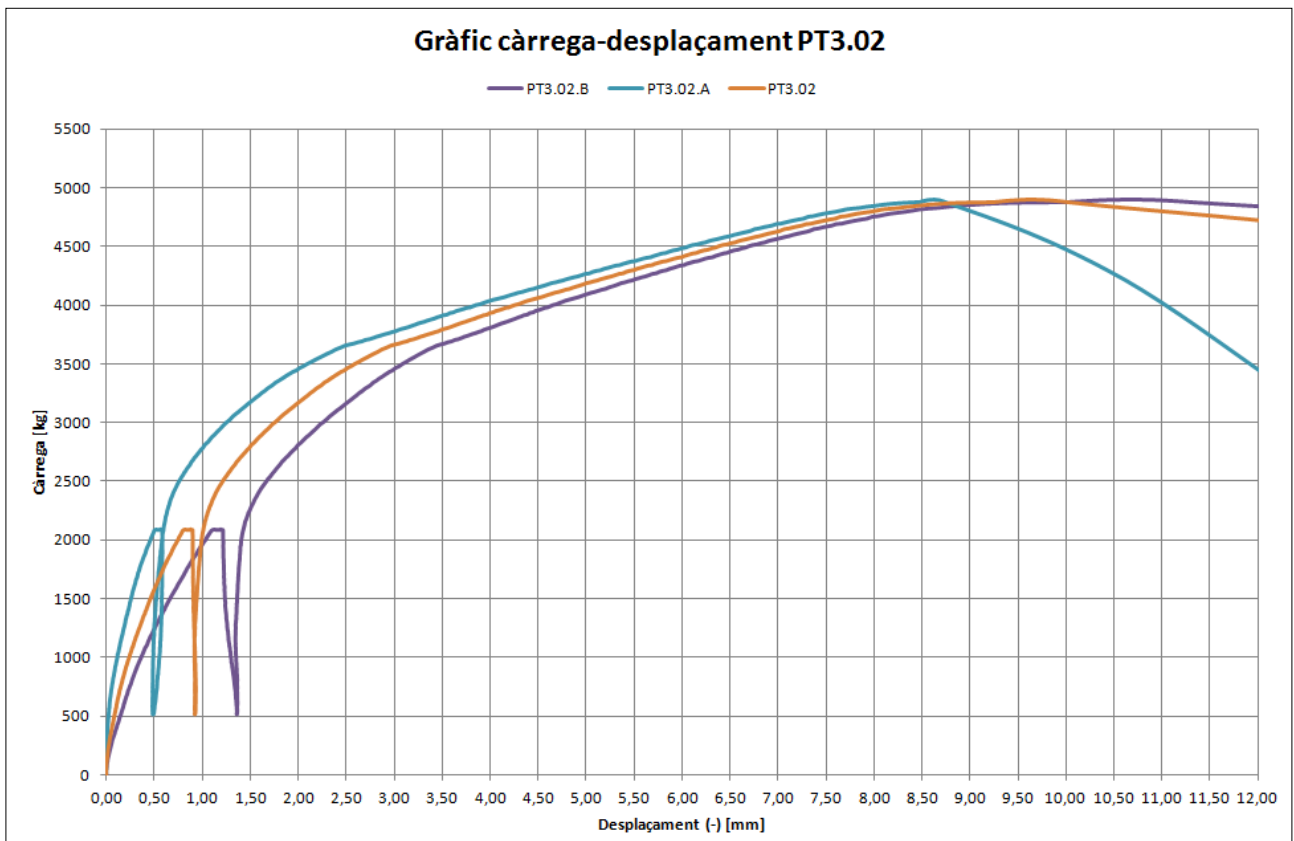
Observem una esquerda molt profunda a la cara superior.

L'element de formigó sobresurt 2mm respecte el pla de la proveta.

Observem una semblança de fletxa entre els tirafons del costat B, en canvi, els del costat A, tenen una diferència de fletxa de 0,5mm. Creiem que és una diferència gran com per dir que son similars.

Com a trencament final del formigó podem veure que aquest no ha patit tot un trencament lineal transversal sinó que ha tingut un trencament en forma de L.

Gràfic càrrega-desplaçament:



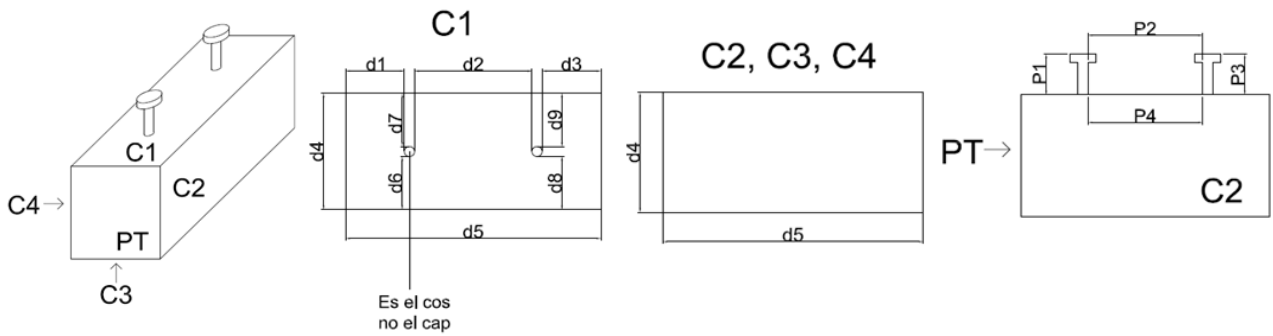
En aquest gràfic es poden observar 3 línies anomenades PT3.02.A, PT3.02.B i PT3.02. La línia denominada PT3.02.A, correspon a la mitjana dels resultats dels dos transductors col·locats a la fusta A de la proveta, la línia PT3.02.B a la mitjana dels resultats dels dos transductors col·locats a la fusta B de la proveta i finalment la línia anomenada PT3.02, és la mitjana dels 4 transductors.

A la gràfica si seguim la línia PT3.02 podem observar que la càrrega assolida es troba entre 4.500 i 5.000 Kg que són 45.000-50.000N i que el desplaçament màxim es troba entre 9,5 i 10 mm. Les dades exactes de trencament es poden trobar a la taula de l'apartat dades de l'assaig d'aquest mateix annex.

Podem veure també que la línia PT3.02.A té un desplaçament menor, això pot ser degut a que la fusta del costat A no tenia un planeïtat total.

PROVETA 3.03

Geometria:



d2 s'agafa a baix els perns arran de fusta

PT3.03.A	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
C1	8,61	8,78	9,66	13,98	29,25	6,37	6,47	6,54	6,28
C2				14,92	29,25				
C3				13,97	29,33				
C4				14,90	29,34				
P1	4,18	P3	4,2	P2	8,72	P4	8,78		

PT3.03.B	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
C1	9,40	9,11	8,60	13,98	29,29	6,36	6,56	6,59	6,27
C2				14,88	29,37				
C3				13,94	29,39				
C4				14,89	29,31				
P1	4,65	P3	4,59	P2	8,96	P4	9,11		

PROVETA: PT3.03.A

CPT:



C1:



C2:



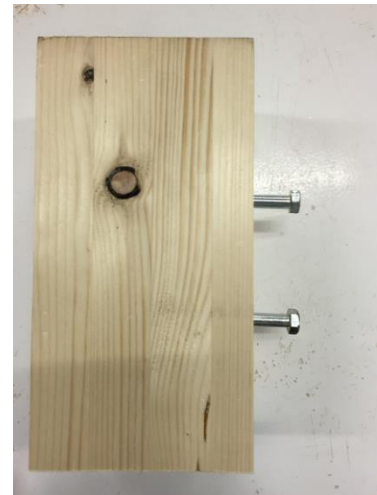
C0:



C3:



C4:



Observacions:

A la C1 observem una irregularitat en la direcció dels tirafons i dos nusos col·locats un a cada costat de la cara. També s'hi aprecia que la C0 dona pas a una inclinació de la mostra, ja que, no és plana. Observem també una petita esclatxa en la base de l'element metàl·lic superior, cap a l'altre element que té el mateix succés però amb una esclatxa minúscula i un aixafament en la mateixa direcció.

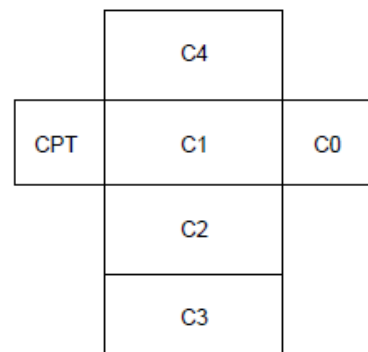
A la C2 acabem d'observar que els tirafons estan mal col·locats, en direcció cap avall. L'inferior més inclinat que l'altre. També observem que les arestes de C0 i la CPT no són paral·leles.

A la C3 ens trobem un forat que no en sabem apreciar la fondària, i un nus gran just al centre de la cara de la mostra i comencem a observar que la CPT tampoc és totalment plana.

A la C4 hi observem un parell de nusos a la part superior de la cara, junt amb la inclinació del tirafons i acabem validant que la CPT també és irregular. Un dels nusos està en estat molt avançat.

La C0 ens serveix per observar que les cares no compleixen els 90° entre elles i que els tirafons, sobretot el inferior, és inclinat cap un costat.

Il·lustració:



PROVETA: PT3.03.B

CPT:



C1:



C2:



C0:



C3:



C4:



Observacions:

A la CPT observem que la C1 té més distància transversal que la C3 i per tant no complim 90° , i que els tirafons estan inclinats cap un costat i per tant tampoc es regeixen per els 90° . Observem també que la CPT tampoc és totalment recte i/o plana i que té una secció més petita respecte la C0.

A la C1 observem que els tirafons no són paral·lels entre ells i que el tirafons inferior, està clavat just al centre d'un dels dos nusos que s'observen en la mostra. La base dels tirafons, hi apareixen unes esquerdes molt minses.

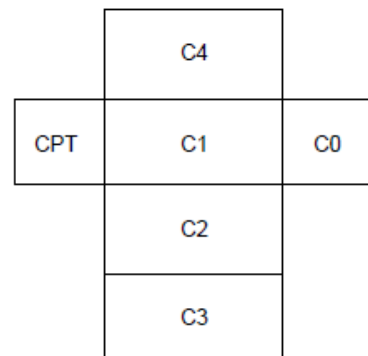
A la C2 observem la inclinació del tirafons inferior, la no planeïtat de la C0 i dos nusos grans un dels quals situat a la aresta dreta i en estat avançat. També observem que les C0 i la CPT no són paral·leles.

A la C3 observem dos nusos bastant avançats ubicats a dos arestes oposades, un dels quals formant una mossegada.

A la C4 observem dos nusos grans i esquerdat, un dels quals ubicats a la base del tirafons, observem dos nusos molt petits ubicats a la part inferior casi tocant l'aresta inferior i l'altre a la part superior, i també observem un tap executat a la part superior de l'aresta esquerre.

A la C0 també observem com la C1 té més distància transversal que la C4.

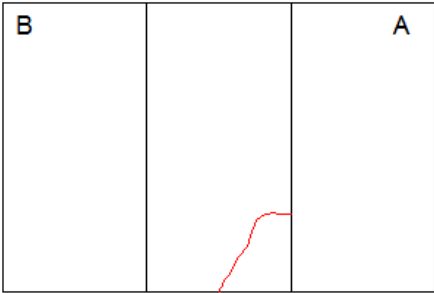
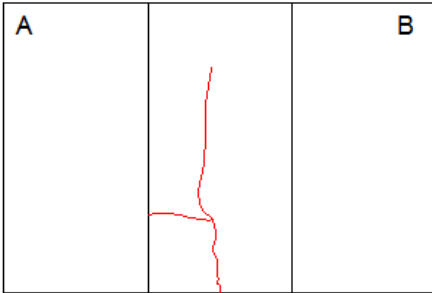


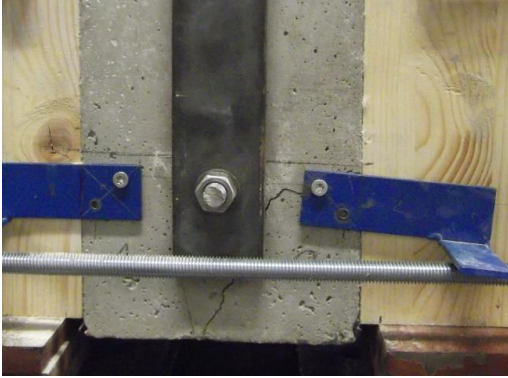

Il·lustració:



Dades de l'assaig:

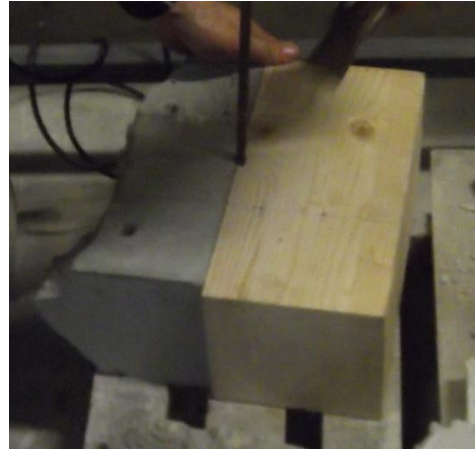
PT3.03	
Compressió formigó	Si
Data de formigonat	27-05-16
Data d'assaig	23-06-16
Dies curat formigó	27 dies
Càrrega estimada	50.435,69 N
Càrrega trencament	57.990,48 N
Desplaçament màxim	11,59 mm
Duració de l'assaig	711,1 s

Mode de falla:

PROVETA: PT3.03	
Observacions esquemàtiques	
Davant: 	Darrere: 
Sobre: 	Sota: 
Observacions gràfiques	
	



Costat A



Costat B

PT3.03.A(2)



Fletxa: 4,20 mm

PT3.03.B(2)



Fletxa: 4,47 mm

PT3.03.A(1)



Fletxa: 4,00 mm

PT3.03.B(1)



Fletxa: 3,75 mm

Observacions

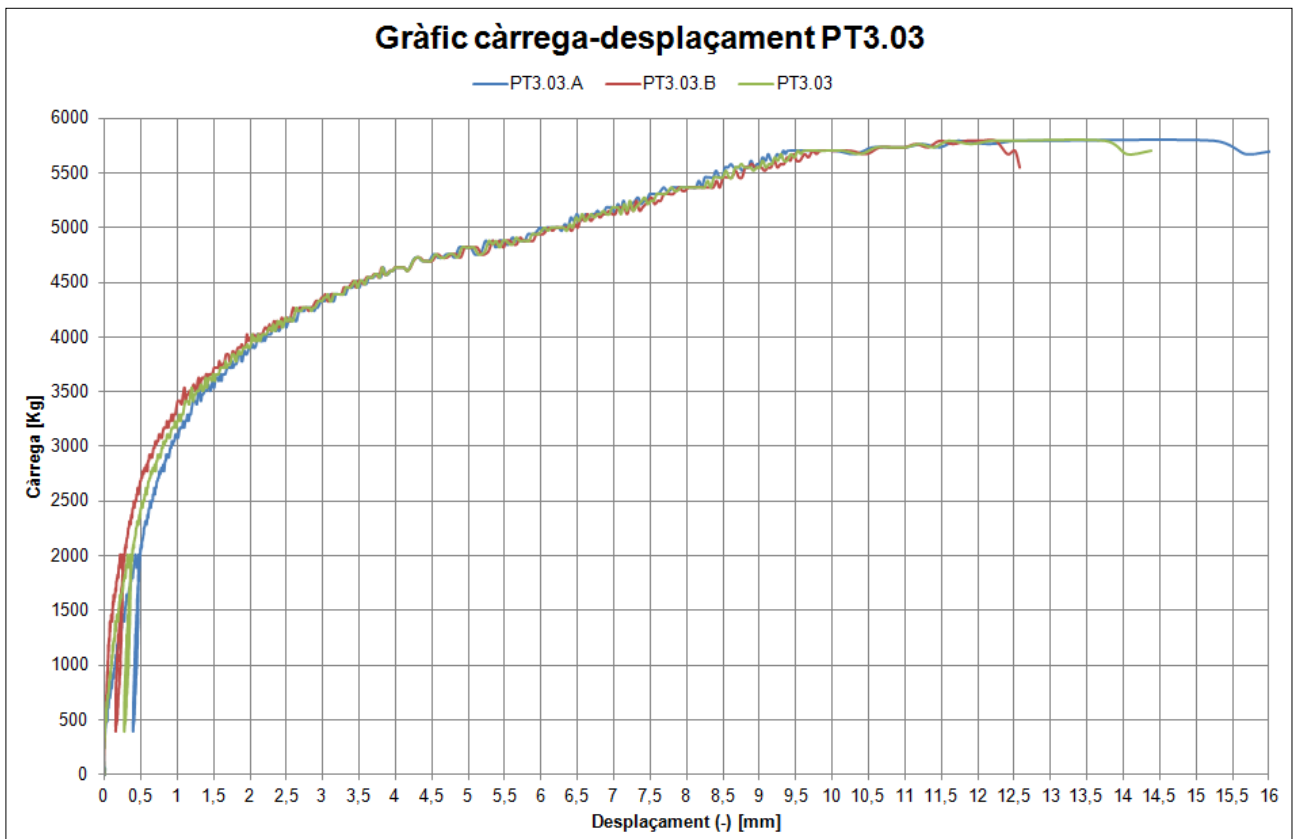
Observem que a la cara del davant apareix una esquerda que comença al costat A i segueix diagonalment fins a la part inferior, a la part inferior l'esquerda segueix longitudinalment i arriba a la cara del darrera i puja amunt per aquesta cara.

El trencament també ha estat en forma de rellotge de sorra igual que en la PT4.03, però en aquest cas només ha passat per un costat, l'A, el costat B no hi ha haver manera de trencar el formigó a mà i per això no sabem quina forma va quedar a aquesta costat perquè al picar-lo amb martell pneumàtic es va picar de totes maneres sense seguir cap forma.

Pel que fa als tirafons veiem que al costat A entre ells hi ha una diferència de 0,2mm i al costat B de 0,72mm la diferència entre ells és major que al costat A però tot i així són diferències petits, estem parlant de menys d'1mm i poden ser degudes a la col·locació inicial que mai és perfectament vertical.

Pel que fa a la càrrega assolida veiem que ha estat aprox. 7.500N superior que l'estimada creiem que per una banda ha estat degut al confinament del formigó i per altre perquè el formigó tenia més dies de curat (27 dies)

Gràfic càrrega-desplaçament:

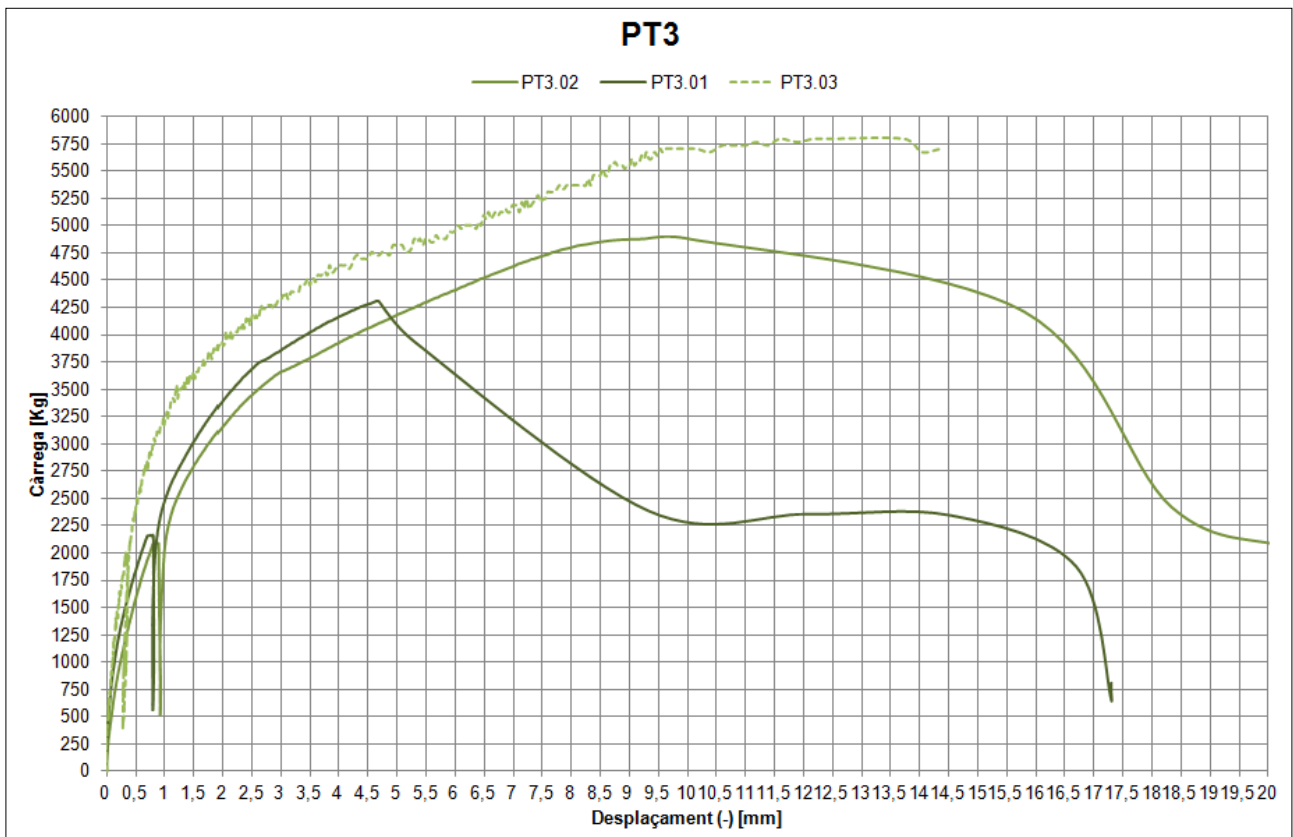


Podem observar que aquest gràfic no és tan clar com la resta i és perquè en les dues últimes provetes a assajar, la cèl·lula de càrrega no funcionava i són les dades directes de premsa.

En aquest gràfic es poden observar 3 línies anomenades PT3.03.A, PT3.03.B i PT3.03. La línia denominada PT3.03.A, correspon a la mitjana dels resultats dels dos transductors col·locats a la fusta A de la proveta, la línia PT3.03.B a la mitjana dels resultats dels dos transductors col·locats a la fusta B de la proveta i finalment la línia anomenada PT3.03, és la mitjana dels 4 transductors.

A la gràfica si seguim la línia PT3.03 podem observar que la proveta aguanta la càrrega màxima assolida durant uns segons mentes es desplaçament va augmentant, la càrrega màxima assolida es troba entre 5.500 i 6.000 Kg que són 55.000-60.000N i el desplaçament màxim hem considerat que es troba entre 11,5 i 12,5 mm. Les dades exactes de trencament es poden trobar a la taula de l'apartat dades de l'assaig d'aquest mateix annex.

Gràfic de les mitjanes de cada proveta tipus 3



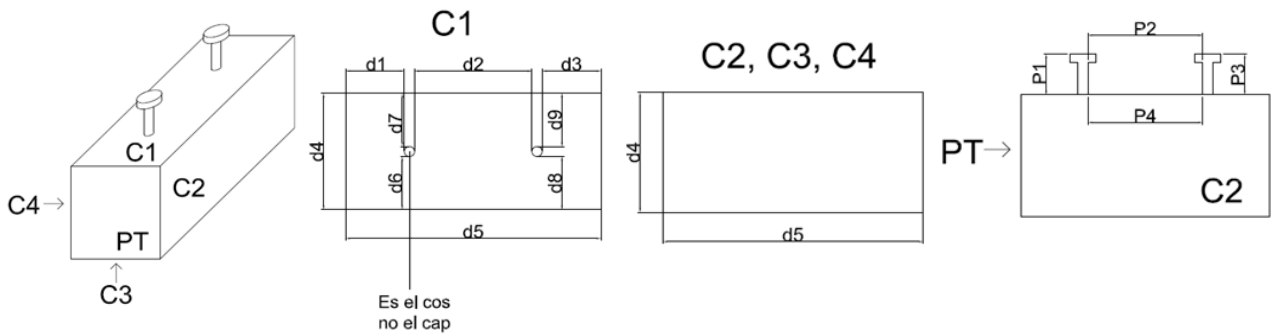
En aquest gràfic s'hi poden observar les línies de la mitjana dels 4 transductors de cada proveta del tipus 3: PT3.01, PT3.02, PT3.03

Aquest s'ha fet per tal de veure que tot i que les mides i separacions són igual i el formigó també, les provetes no tenen comportaments iguals. S'ha de recordar que els dies de curat del formigó si que són diferents: PT3.01 - 11 dies, PT3.02 - 11 dies i PT3.03 - 27 dies i que a més a la proveta PT3.03 si que s'hi ha aplicat un terme diferent de les altres que és el confinament del formigó.

En aquesta gràfica es poden observar es tres comportaments que s'han explicat a l'apartat 6- Conclusions.

PROVETA 2.01

Geometria:



d2 s'agafa a baix els pernns arran de fusta

PT2.01.A	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
C1	10,31	5,33	11,41	14,01	29,27	6,67	6,20	6,73	6,14
C2				14,91	29,31				
C3				13,99	29,33				
C4				14,90	29,33				
P1	4,57	P3	4,59	P2	5,44	P4	5,33		

PT2.01.B	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
C1	11,7	4,89	10,98	13,98	29,30	6,45	6,45	6,58	6,29
C2				14,93	29,28				
C3				13,98	29,39				
C4				14,99	29,35				
P1	4,55	P3	4,56	P2	4,82	P4	4,89		

PROVETA: PT2.01.A

CPT:



C1:



C2:



C0:



C3:



C4:



Observacions:

A la CPT observem certs graus d'inclinació dels tirafons cap a l'esquerre i observem que la C1 té una secció més gran que la C3.

A la C1 observem clares esclertes entre tirafons que arriben a tocar-se. També observem dos nusos grans al voltant del tirafons superior (un dels quals amb esquerdes interiors) i dos petits sota el tirafons inferior, i que cap de les dos cares (CPT i C0) tenen una bona planeïtat.

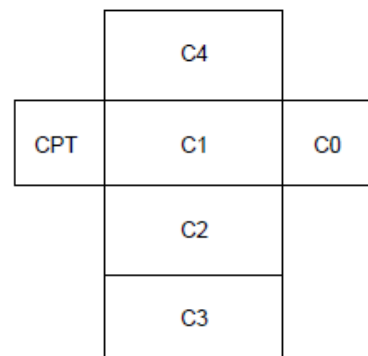
A la C2 observem que els tirafons no estan alineats paral·lelament. També observem que la secció de la CPT és més gran que la C0 i un nus petit al centre de la cara i un de gran a la cantonada dreta.

A la C3 observem dos nusos de costat a la part central de la cara i tornem a observar una secció més gran de la CPT respecte la C0. A més observem com el tall de la serra, no s'ha fet recte a l'hora de fer la CPT i la C0.

A la C4 observem tres nusos a la part superior de la cara (un dels quals bastant considerable), i també observem com el tirafons inferior està inclinat cap a baix. També tornem a veure com la secció de la CPT és més gran que la de la C0 i que el tall de la serra s'ha fet corbat.

A la C0 tornem a veure una inclinació dels tirafons, confirmant el que hem dit amb la CP i una C1 amb més secció que la C3.

Il·lustració:

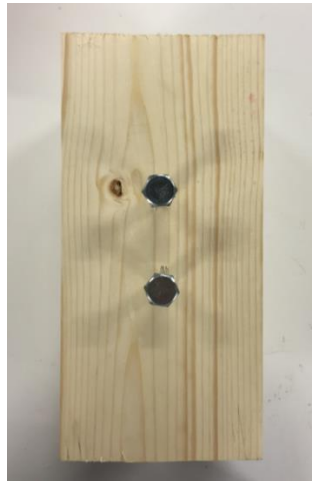


PROVETA: PT2.01.B

CPT:



C1:



C2:



C0:



C3:



C4:



Observacions:

A la CPT observem que la C1 té més secció que la C3, per tant, no respectem els 90° de cantonada. L'esquerda que neix al costat superior esquerre, és en realitat un sortint produït per el mal tall de la serra.

A la C1 observem un nus just al costat del tirafons superior i observem poc rectitud en les cares CPT i C0.

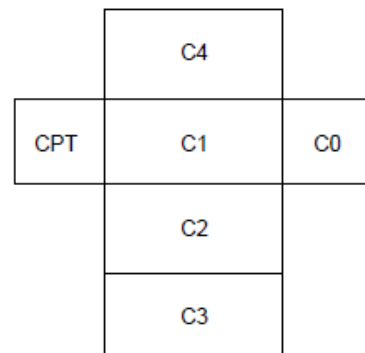
A la C2 observem que el tirafons inferior està inclinat lleugerament cap amunt, la secció de la CPT és més gran que la de C0 i observem un nus a la part central esquerre de la cara.

A la C3 observem diversos petits nusos, un dels quals està ubicat en el centre de l'aresta dreta de la cara. Un altre de més petit està ubicat a la part central de l'aresta esquerre. També observem com la C0 no ha sigut tallada en paral·lel amb la CPT. I també observem que la CPT té més secció que la C0.

A la C4 tornem a reiterar que la CPT té més superfície que la C0 i observem un nus molt gran a l'aresta/cantonada esquerre de baix de la cara.

Tornem a observar amb la C0, que la C1 té més secció que la C3.

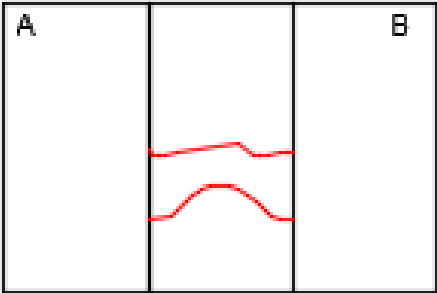
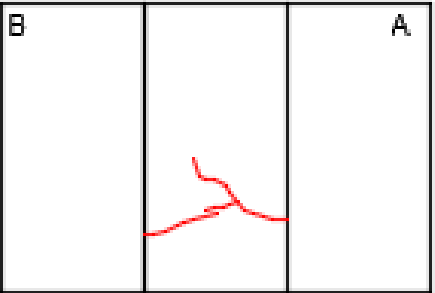



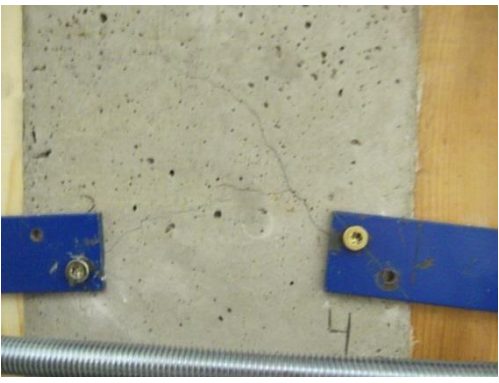
Il·lustració:



Dades de l'assaig:

PT2.01	
Compressió formigó	No
Data de formigonat	27-05-16
Data d'assaig	07-06-16
Dies curat formigó	11 dies
Càrrega estimada	50.435,69 N
Càrrega trencament	50.397,68 N
Desplaçament màxim	9,45 mm
Duració de l'assaig	611,1 s

Mode de falla:

PROVETA: P2.01	
Observacions esquemàtiques	
Davant: 	Darrere: 
Sobre: 	Sota: 
Observacions gràfiques	
	



Costat A



Costat B

PT2.01.A(1)



Fletxa: 3,01 mm

PT2.01.B(1)



Fletxa: 2,93 mm

PT2.01.A(2)



Fletxa: 3,47 mm

PT2.01.B(2)



Fletxa: 3,64 mm

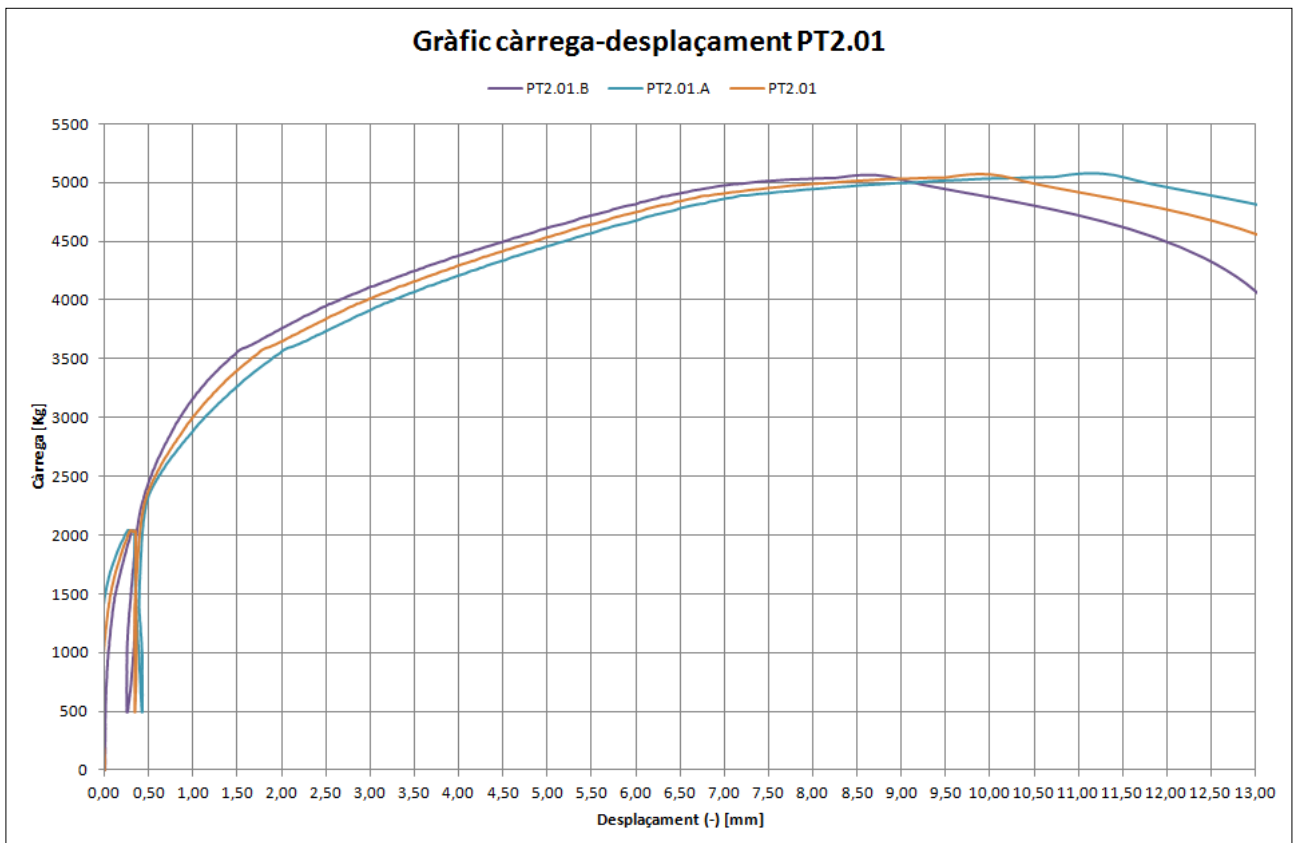
Observacions

S'observen dues esquerdes horitzontals en el formigó de la cara de davant i una a la cara de darrera. No se n'observen a la cara superior i inferior.

El trencament del formigó ha estat per una part per l'esquerda horitzontal que coincideix amb la línia de tirafons inferior i per altre banda quan el trencàvem va aparèixer una esquerda a la part superior que va seguir verticalment paral·lela al pla de la cara davantera fins a trobar l'esquerda horitzontal. En el trencament es pot observar que igual que els confinats, hi ha a la part on es troben els tirafons un arc que s'ha trencat el formigó mentre que al mig dels tirafons no s'ha trencat.

Pel que fa a la fletxa dels tirafons al costat A hi ha una diferència de 0,50mm aprox. I al costat B una diferència de 0,71mm. En canvi entre els dos tirafons superiors i els dos inferiors, hi ha molt poca diferència de fletxa.

Gràfic càrrega-desplaçament:



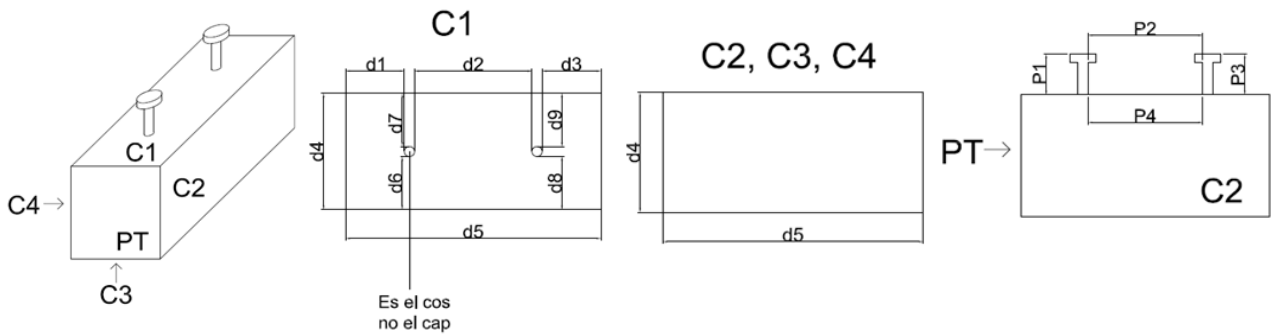
En aquest gràfic es poden observar 3 línies anomenades PT2.01.A, PT2.01.B i PT2.01. La línia denominada PT2.01.A, correspon a la mitjana dels resultats dels dos transductors col·locats a la fusta A de la proveta, la línia PT2.01.B a la mitjana dels resultats dels dos transductors col·locats a la fusta B de la proveta i finalment la línia anomenada PT2.01, és la mitjana dels 4 transductors.

A la gràfica si seguim la línia PT2.01 podem observar que la càrrega assolida es troba entre 5.000 i 5.500 Kg que són 50.000-55.000N i que el desplaçament màxim es troba entre 9,5 i 10 mm. Les dades exactes de trencament es poden trobar a la taula de l'apartat dades de l'assaig d'aquest mateix annex.

Podem veure també que la línia PT2.01.B té un desplaçament menor, això pot ser degut a que la fusta del costat B no tenia un planeïtat total.

PROVETA 2.02

Geometria:



d2 s'agafa a baix els pernns arran de fusta

PT2.02.A	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
C1	11,51	4,93	10,63	13,97	29,31	6,33	6,50	6,44	6,39
C2				14,87	29,33				
C3				14,03	29,27				
C4				14,95	29,22				
P1	4,58	P3	4,44	P2	4,91	P4	4,93		

PT2.02.B	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
C1	11,56	4,98	10,40	14,01	29,29	6,53	6,37	6,54	6,25
C2				15,05	29,34				
C3				13,97	29,35				
C4				14,98	29,22				
P1	4,43	P3	4,43	P2	5,07	P4	4,98		

PROVETA: PT2.02.A

CPT:



C1:



C2:



C0:



C3:



C4:



Observacions:

A la CPT, observem que no hi ha angles de 90 graus, ja que, la C1 té més secció que la C3.

A la C1 observem que la C0 té més secció que la CPT i que la base en la fusta del tirafons inferior està malmesa (estellada) i aquest està inclinat cap avall. Observem un nus sota el tirafons inferior i un nus petit sobre el tirafons superior. També observem dos nusos a la part central i superior dreta que han sigut tallat de manera perpendicular.

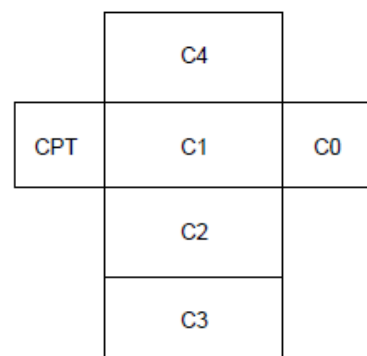
A la C2 observem tres nusos petits a dalt de la superfície de la cara, i un nus més gran a la part inferior. També observem que la C0 i la CPT no estan tallades en paral·lel ni rectes i els tirafons estan inclinats cap avall.

A la C3 observem dos nusos petits, un dels quals just casi tocant a l'aresta de l'esquerre.

A la C4 observem una secció de la C0 molt més gran que la de la CPT.

A la C0 tornem a observar que C1 té més secció que C3.

Il·lustració:

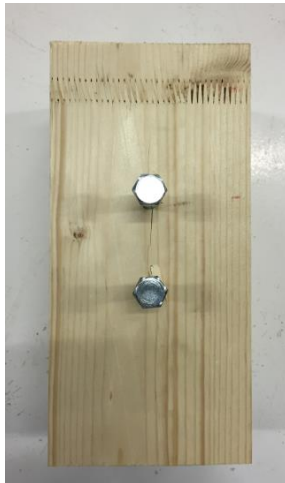


PROVETA: PT2.02.B

CPT:



C1:



C2:



C0:



C3:



C4:



Observacions:

A la CPT observem com la C1 té més secció que la C3.

A la C1 observem una unió entre fustes a la part superior de la cara i també observem una esquerda entre tirafons que segueix al passar el tirafons superior. També observem un nus a la part esquerre central de la cara i que la base del tirafons inferior està estellada.

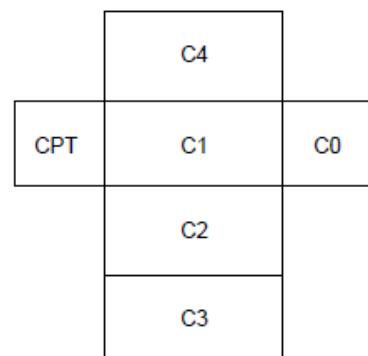
A la C2 observem com els tirafons estan inclinats cap a dalt, i que els talls de la serra de les dos cares (CPT i C0) no són prou paral·lels creant una superfície que no és ni recta ni llisa.

A la C3 observem un nus al centre de la cara, i una superfície de la C0 inclinada.

A la C4 tornem a observar com els tirafons estan inclinats cap amunt, que la superfície de la CPT no és plana i tres nusos.

A la C0 observem que les C1 i C3 no són paral·leles entre elles.

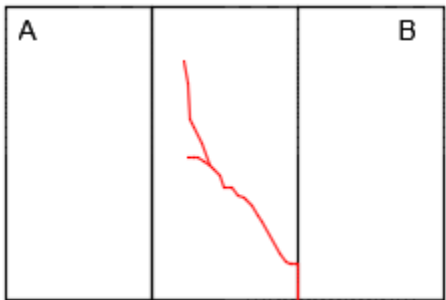
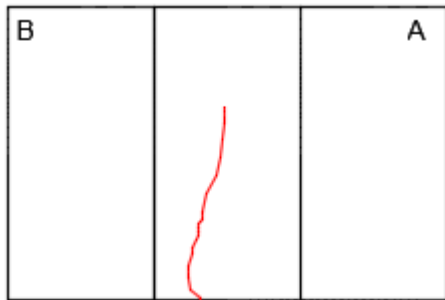


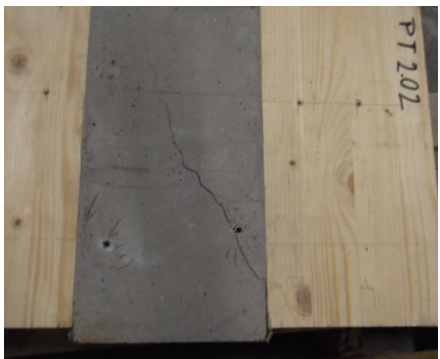
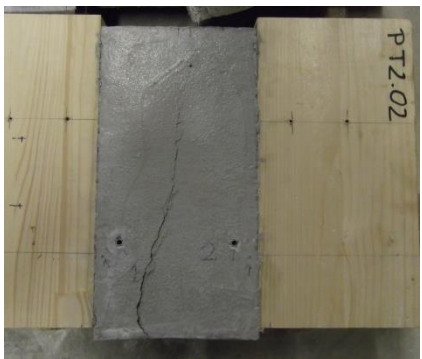
Il·lustració:











Dades de l'assaig:

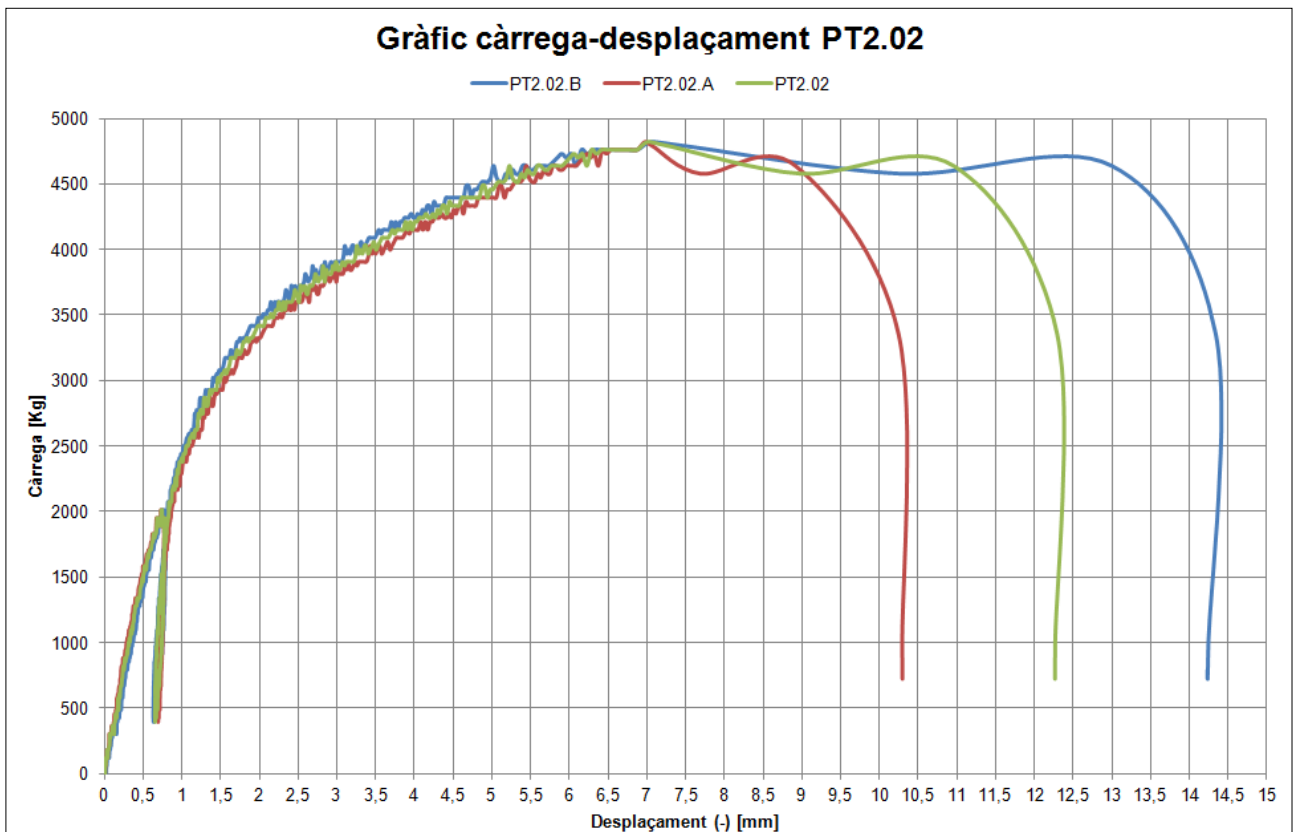
PT2.02	
Compressió formigó	No
Data de formigonat	27-05-16
Data d'assaig	23-06-16
Dies curat formigó	27 dies
Càrrega estimada	50.435,69 N
Càrrega trencament	48.223,66 N
Desplaçament màxim	7,02 mm
Duració de l'assaig	596,1 s

Mode de falla:

PROVETA: P2.02	
Observacions esquemàtiques	
Davant: 	Darrere: 
Sobre: 	Sota: 
Observacions gràfiques	
	

	
	
Costat A	Costat B
PT2.02.A(2) 	PT2.02.B(1) 
Fletxa: 4,28 mm	Fletxa: 4,20 mm
PT2.02.A(1) 	PT2.02.B(2) 
Fletxa: 4,37 mm	Fletxa: 3,40 mm
Observacions	
<p>S'observen una esquerda en diagonal al formigó de la cara de davant i una a la cara de darrera. La de la cara de darrera arriba fins ala part inferior que podem observar una esquerda a una cantonada. A la part superior també apareix una esquerda a una cantonada.</p> <p>El trencament del formigó ha estat només a la banda del costat B, ha estat verticalment per la línia dels tirafons d'aquest costat.</p> <p>Pel que fa a la fletxa dels tirafons al costat A hi ha una diferència de 0,09mm aprox. I al costat B una diferència de 0,80mm. En canvi entre els dos tirafons superiors no hi ha tanta diferència com en els dos inferiors.</p>	

Gràfic càrrega-desplaçament:



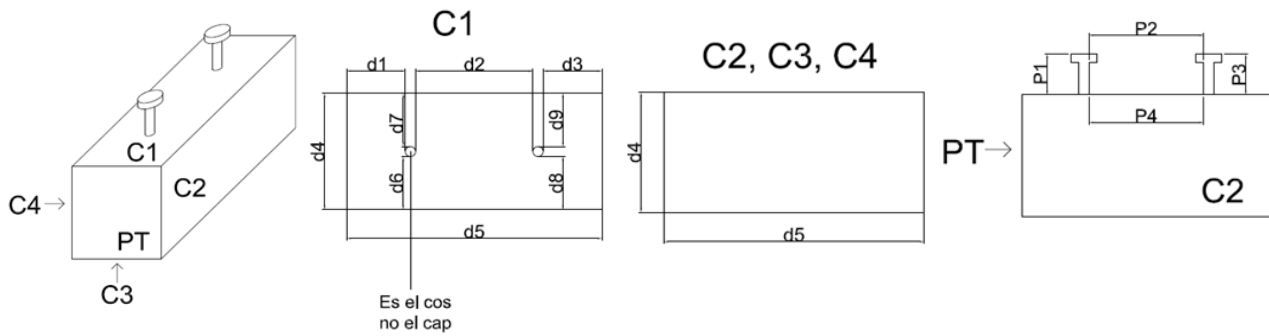
En aquest gràfic es poden observar 3 línies anomenades PT2.02.A, PT2.02.B i PT2.02. La línia denominada PT2.02.A, correspon a la mitjana dels resultats dels dos transductors col·locats a la fusta A de la proveta, la línia PT2.02.B a la mitjana dels resultats dels dos transductors col·locats a la fusta B de la proveta i finalment la línia anomenada PT2.02, és la mitjana dels 4 transductors.

A la gràfica si seguim la línia PT2.02 podem observar que la càrrega assolida es troba entre 4.500 i 5.000 Kg que són 45.000-50.000N i que el desplaçament màxim es troba entre 7 i 7,5 mm. Les dades exactes de trencament es poden trobar a la taula de l'apartat dades de l'assaig d'aquest mateix annex.

Podem veure també que les tres línies tenen la càrrega màxima i desplaçament casi al mateix punt.

PROVETA 2.03

Geometria:



d2 s'agafa a baix els perns arran de fusta

PT2.03.A	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
C1	11,4	5,2	10,48	13,90	29,23	6,38	6,36	6,41	6,34
C2				15,20	29,29				
C3				13,88	29,29				
C4				15,16	29,20				
P1	4,52	P3	4,51	P2	5,10	P4	5,2		

PT2.03.B	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
C1	11,61	4,87	10,54	13,92	29,33	6,16	6,52	6,20	6,56
C2				15,17	29,32				
C3				13,93	29,39				
C4				15,20	29,30				
P1	4,42	P3	4,45	P2	4,84	P4	4,87		

PROVETA: PT2.03.A

CPT:



C1:



C2:



C0:



C3:



C4:



Observacions:

Observem que la cara CPT està lleugerament inclinada cap a la dreta i observem una lleugera inclinació dels tirafons cap a la dreta.

A la C1 observem una esquerda a la base del tirafons superior que acaba a la meitat de la distància entre tirafons, i observem tres nusos. Un d'aquests, just sota el tirafons inferior. També observem que la CPT i la C0, no estan tallades rectes ni paral·leles entre elles.

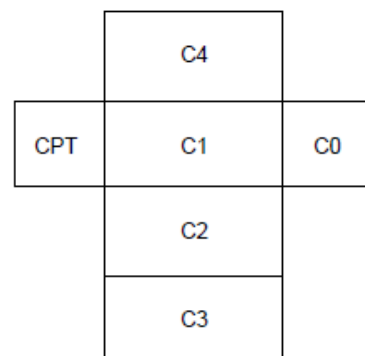
A la C2 observem una inclinació cap amunt dels tirafons i un tall de la serra, fet més gran la secció de la C1, que la de la C3. Observem també dos nusos a la part superior de la cara, un dels quals està situat just sota el tirafons superior.

La C3 s'observa un desgast general, i quatre nusos un dels quals enfonsat a la fusta i ubicat a la part central dreta de la cara, tocant l'aresta dreta. També observem la inclinació de la CPT.

A la C4 s'observa un nus gran a la part inferior de la cara i un petit a la arista esquerra, just a la part central i dos petits repartits a la cara. Observem també com el tall de la serra entre la CPT i la C0 no és paral·lela.

A la C0, observem una no linealitat de la C1 fent que la secció de la C4 sigui més gran que la de C2.

Il·lustració:



PROVETA: PT2.03.B

CPT:



C1:



C2:



C0:



C3:



C4:



Observacions:

A la C1, observem com la C0, ha estat tallada de forma que li dóna més secció a la C4 que a la C2. Observem també un nus a la part superior central de la mostra, i un petit nus entre tirafons. El tirafons inferior, té una esquerdada superior a la base i s'entreveu una petita esquerdada entre tirafons.

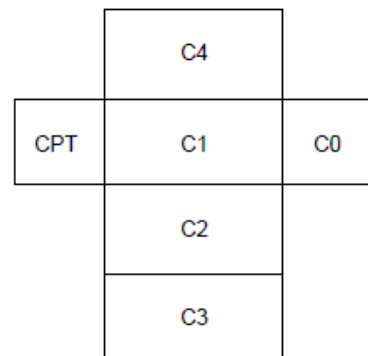
A la C2, observem que els tirafons estan inclinats cap a baix. I que el tall de la C0 és inclinat. També observem un nus petit a la part central de la cara.

A la C3 observem un mal tall de la CPT deixant-la ovalada i observem també un nus a la part dreta superior de la cara i un tallat perpendicularment al centre.

A la C4 observem petits talls i observem com la C0 té menys secció que la CPT i tornem a observar la inclinació dels tirafons. També apareix un nus gran a la part superior.

A la C0, observem una C4 més gran que la C2, deixant la C1 inclinada.

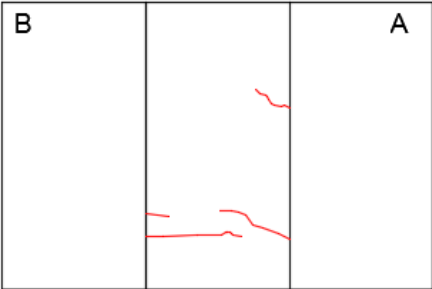
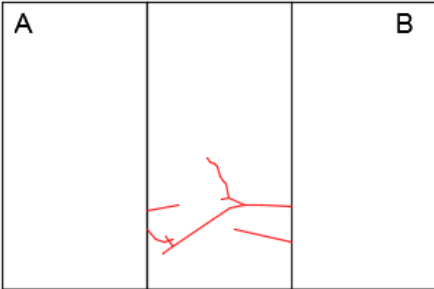


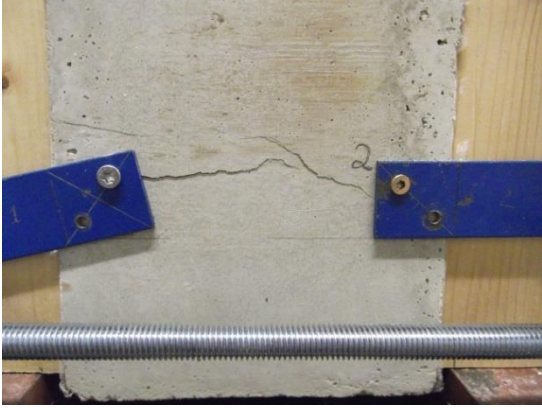
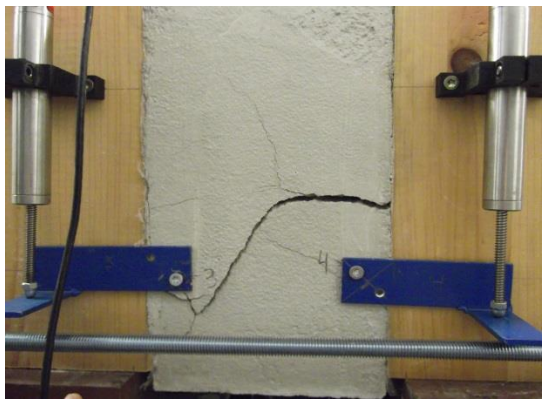
Il·lustració:

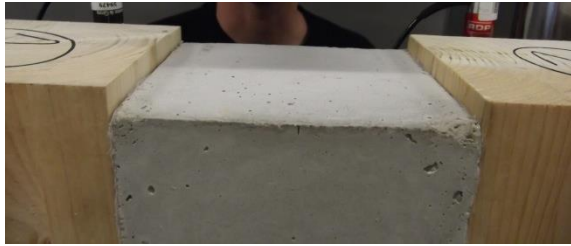


Dades de l'assaig:

PT2.03	
Compressió formigó	No
Data de formigonat	31-05-16
Data d'assaig	10-06-16
Dies curat formigó	10 dies
Càrrega estimada	50.435,69 N
Càrrega trencament	42.581,66 N
Desplaçament màxim	6,74 mm
Duració de l'assaig	511,1 s

Mode de falla:

PROVETA: P2.03	
Observacions esquemàtiques	
Davant: 	Darrere: 
Sobre: 	Sota: 
Observacions gràfiques	
	



Costat A

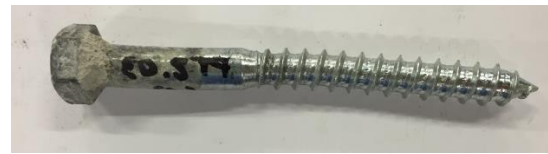
Costat B

PT2.03.A(1)



Fletxa: 3,81 mm

PT2.03.B(1)



Fletxa: 4,52 mm

PT2.03.A(2)



Fletxa: 3,36 mm

PT2.03.B(2)



Fletxa: 4,43 mm

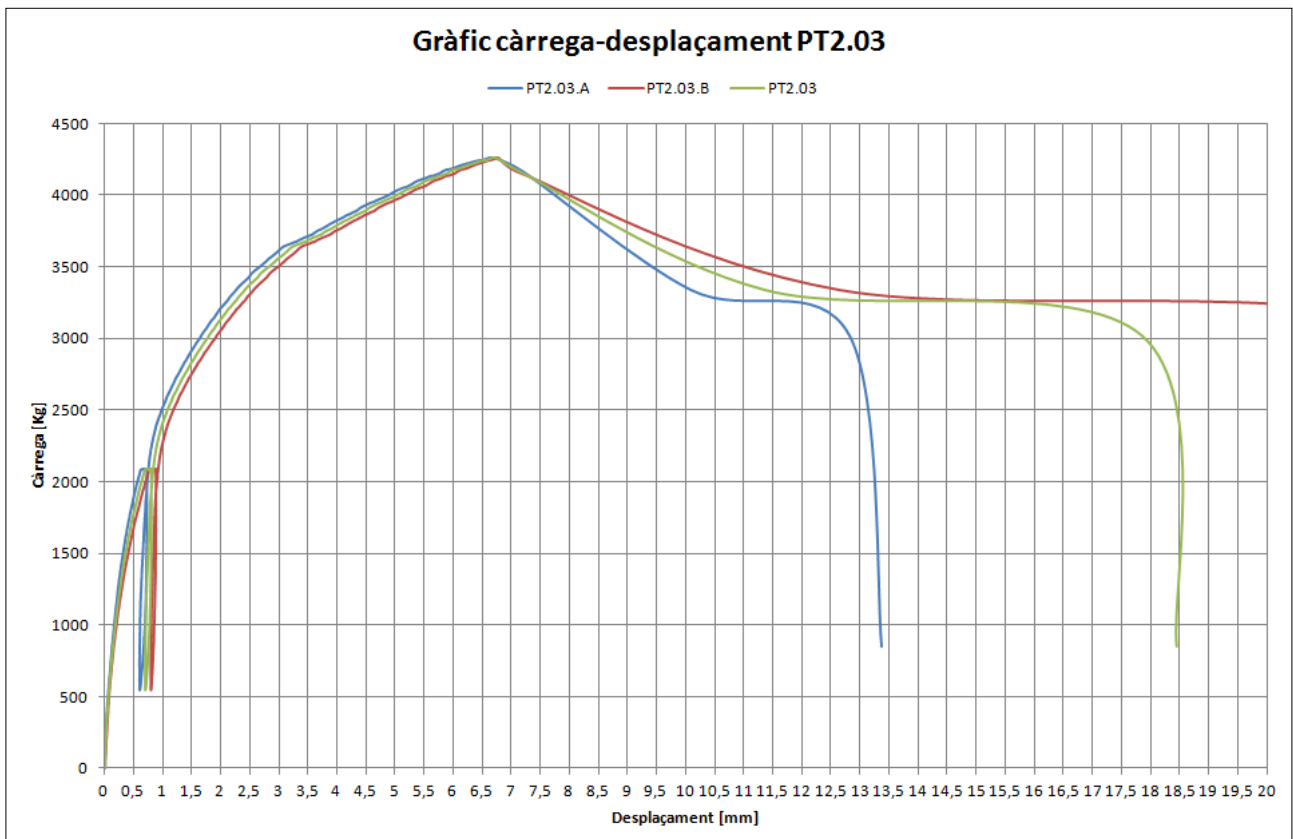
Observacions

S'observen esquerdes horitzontals tant a davant com a darrera i algunes coincidint amb els cargols que uneixen les platines al formigó. No s'aprecien esquerdes a la part superior ni a l'inferior.

El formigó ha trencat verticalment paral·lela a la cara de davant per la línia de tirafons i a més també ha trencat horitzontalment per la línia inferior de tirafons.

La fletxa dels tirafons del costat A tenen aprox. una diferència de 0,45mm mentre que els dels costat B només tenen una diferència de 0,09mm. La diferència entre els tirafons superiors és de 0,71mm i la dels inferiors 1mm aprox.

Gràfic càrrega-desplaçament:

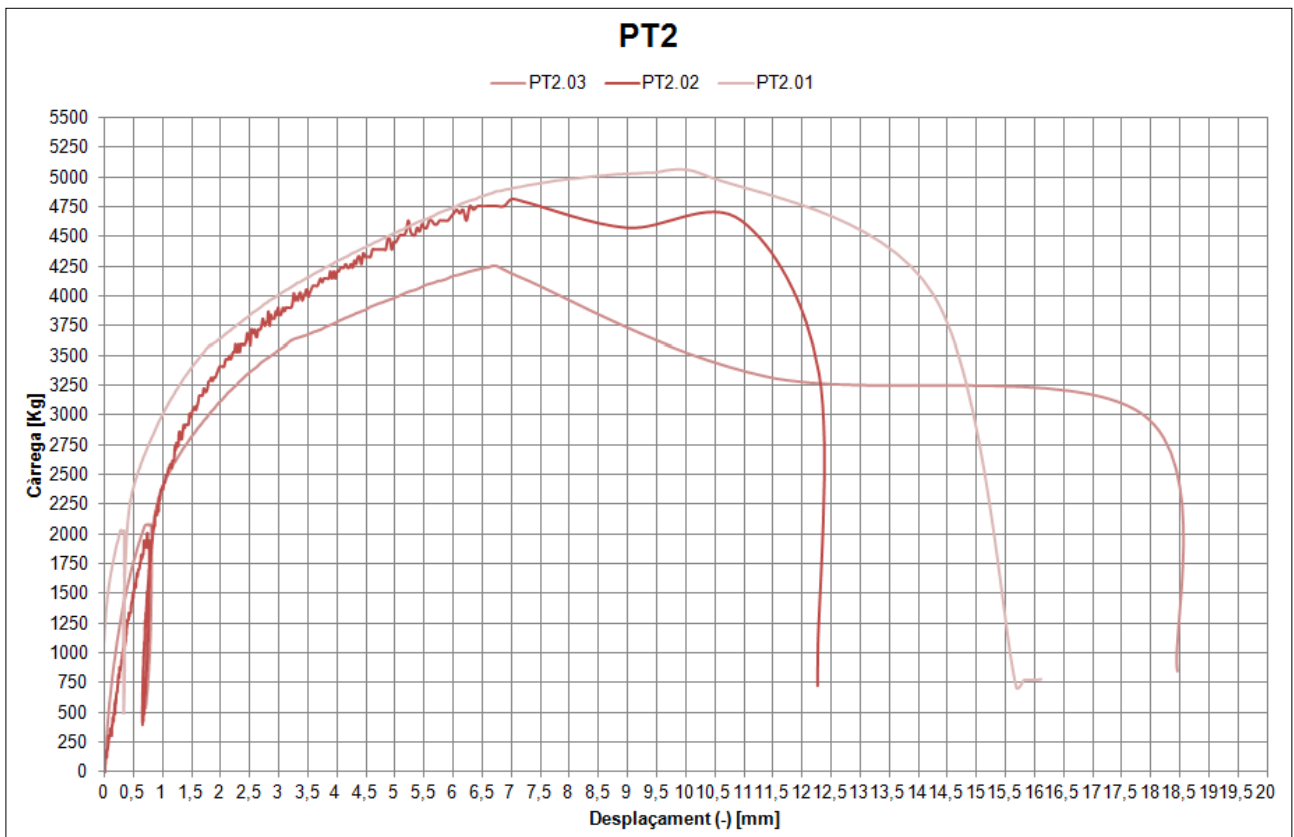


En aquest gràfic es poden observar 3 línies anomenades PT2.03.A, PT2.03.B i PT2.03. La línia denominada PT2.03.A, correspon a la mitjana dels resultats dels dos transductors col·locats a la fusta A de la proveta, la línia PT2.03.B a la mitjana dels resultats dels dos transductors col·locats a la fusta B de la proveta i finalment la línia anomenada PT2.03, és la mitjana dels 4 transductors.

A la gràfica si seguim la línia PT2.03 podem observar que la càrrega assolida es troba entre 4.000 i 4.500 Kg que són 40.000-45.000N i que el desplaçament màxim es troba entre 6,5 i 7 mm. Les dades exactes de trencament es poden trobar a la taula de l'apartat dades de l'assaig d'aquest mateix annex.

Podem veure també que les tres línies tenen la càrrega màxima i desplaçament casi al mateix punt.

Gràfic de les mitjanes de cada proveta tipus 2



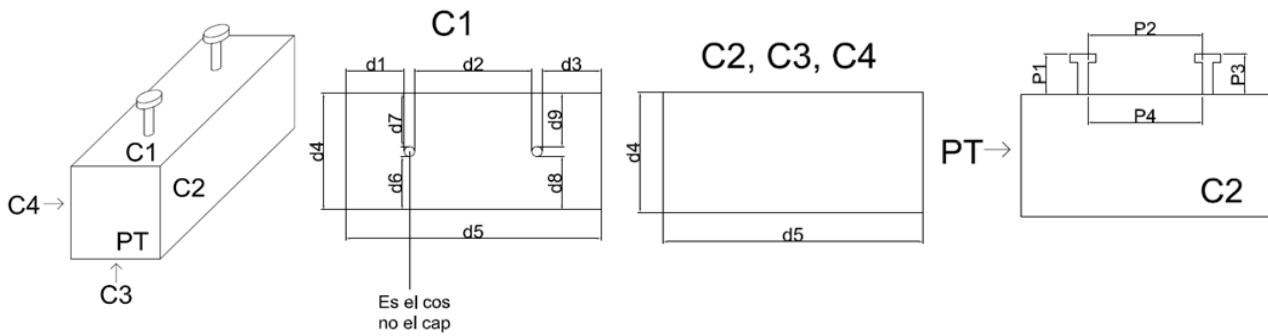
En aquest gràfic s'hi poden observar les línies de la mitjana dels 4 transductors de cada proveta del tipus 2: PT2.01, PT2.02, PT2.03

Aquest s'ha fet per tal de veure que tot i que les mides i separacions són igual i el formigó també, les provetes no tenen comportaments iguals. S'ha de recordar que els dies de curat del formigó si que són diferents: PT2.01 - 11 dies, PT2.02 - 27 dies i PT2.03 - 10 dies.

Podem observar dos dels tres comportaments explicats a l'apartat 6-Conclusions.

PROVETA 1.01

Geometria:



d2 s'agafa a baix els perns arran de fusta

PT1.01.A	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
C1	12,46	2,89	11,60	14,15	29,26	6,54	6,43	6,45	6,56
C2				15,18	29,26				
C3				14,15	29,35				
C4				15,24	29,21				
P1	4,64	P3	4,69	P2	2,84	P4	2,89		

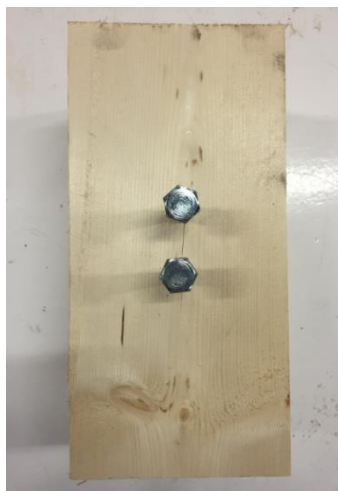
PT1.01.B	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
C1	12,28	3,38	11,56	13,89	29,42	6,24	6,52	6,35	6,44
C2				15,19	29,32				
C3				13,87	29,29				
C4				15,17	29,32				
P1	4,81	P3	4,75	P2	3,12	P4	3,38		

PROVETA: PT1.01.A

CPT:



C1:



C2:



C0:



C3:



C4:



Observacions:

La CPT s'observa gastada i amb una superfície de C1 inclinada, fent que C4 tingui més secció que C2.

A la C1 s'observa una inclinació en el tall de C0 i també de CPT, donant una secció més gran a C4 respecte C2. Observem esquerdes que en les dos bases dels dos tirafons i dos nusos units a la part inferior de la cara sota el tirafons inferior i un altre nus tallat perpendicularment a la zona inferior esquerre.

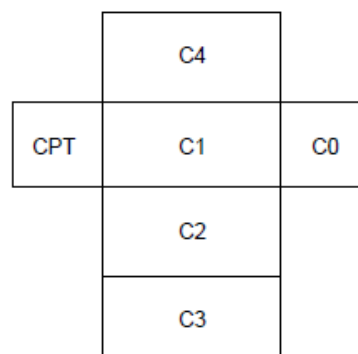
A la C2 observem la inclinació cap avall dels dos tirafons i un nus gran a la part inferior de la cara. També observem que el tall inclinat i no paral·lel de les CPT i la C0, fa que la C1 tingui una secció més gran que C3. També ens passa amb CPT i C0, ja que, CPT té més secció que C0.

A la C3 observem tres nusos minúsculs i que el tall no paral·lel de la serra entre les dos cares, fa que la secció C2 sigui més gran que C4.

A la C4 observem com els tirafons estan inclinats cap avall i el nus tocant a l'aresta dreta a la part inferior de la cara, junt amb el tap central a la cara.

A la C0 observem una inclinació de la peça degut a que la secció de C2 és més gran que la de C4.

Il·lustració:

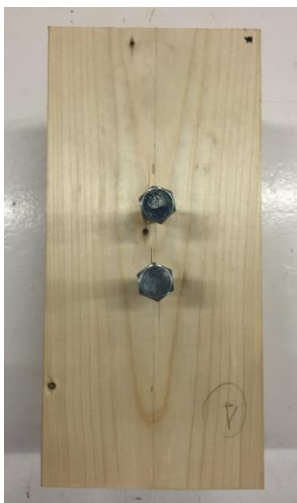


PROVETA: PT1.01.B

CPT:



C1:



C2:



C0:



C3:



C4:



Observacions:

A la CPT observem una inclinació en el tall de C0 i CPT, originant una secció de C4 més gran que C2.

A la C1 observem un tall que passa 3 cm a banda i banda de cada tirafons. També observem dos nusos petits a la part superior central i dreta de la cara, i un a la part inferior esquerre de la cara.

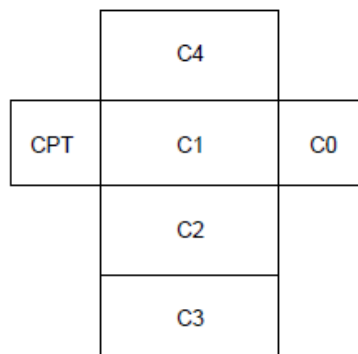
A la C2, observem que el tirafons superior està col·locat inclinat cap avall, que el tall de C0, fa que C1 tingui una secció més gran que C3 i observem tres petits nusos a la cara i la cantonada superior dreta està una mica malmesa.

A la C3 observem cinc petits nusos, dues mossegades a la part superior dreta i un tall inclinat de la C0 que dóna una secció més gran a la C2 que a la C4. Aquesta cara està molt desgastada.

A la C4 s'observa molt millor les mossegades que parlàvem. També observem un petit nus a la part central dreta de la cara, i tornem veure com el tirafons superior està inclinat cap a baix. També observem que la C0, té un retranqueig degut al mal tall de la fusta.

A la C0 observem com la C3 no compleix els 90 graus amb cap cara continua.

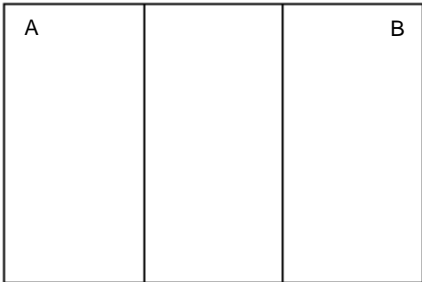

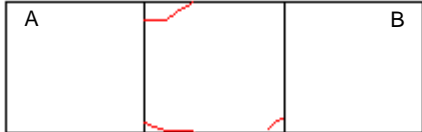


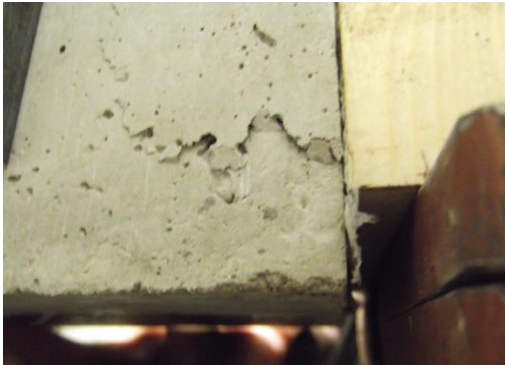
Il·lustració:

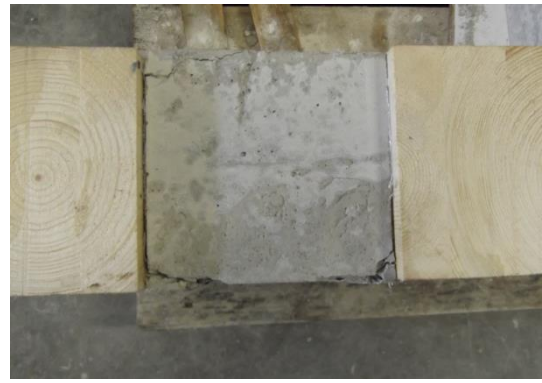


Dades de l'assaig:

PT1.01	
Compressió formigó	Si
Data de formigonat	31-05-16
Data d'assaig	09-06-16
Dies curat formigó	9 dies
Càrrega estimada	50.435,69 N
Càrrega trencament	43.181,94 N
Desplaçament màxim	11,73 mm
Duració de l'assaig	522,1 s

Mode de falla:

PROVETA: P1.01	
Observacions esquemàtiques	
Davant: 	Darrere: 
Sobre: 	Sota: 
Observacions gràfiques	
	



Costat A

Costat B

PT1.01.A(2)



Fletxa: 3,98 mm

PT1.01.B(2)



Fletxa: 5,60 mm

PT1.01.A(1)



Fletxa: 3,84 mm

PT1.01.B(1)

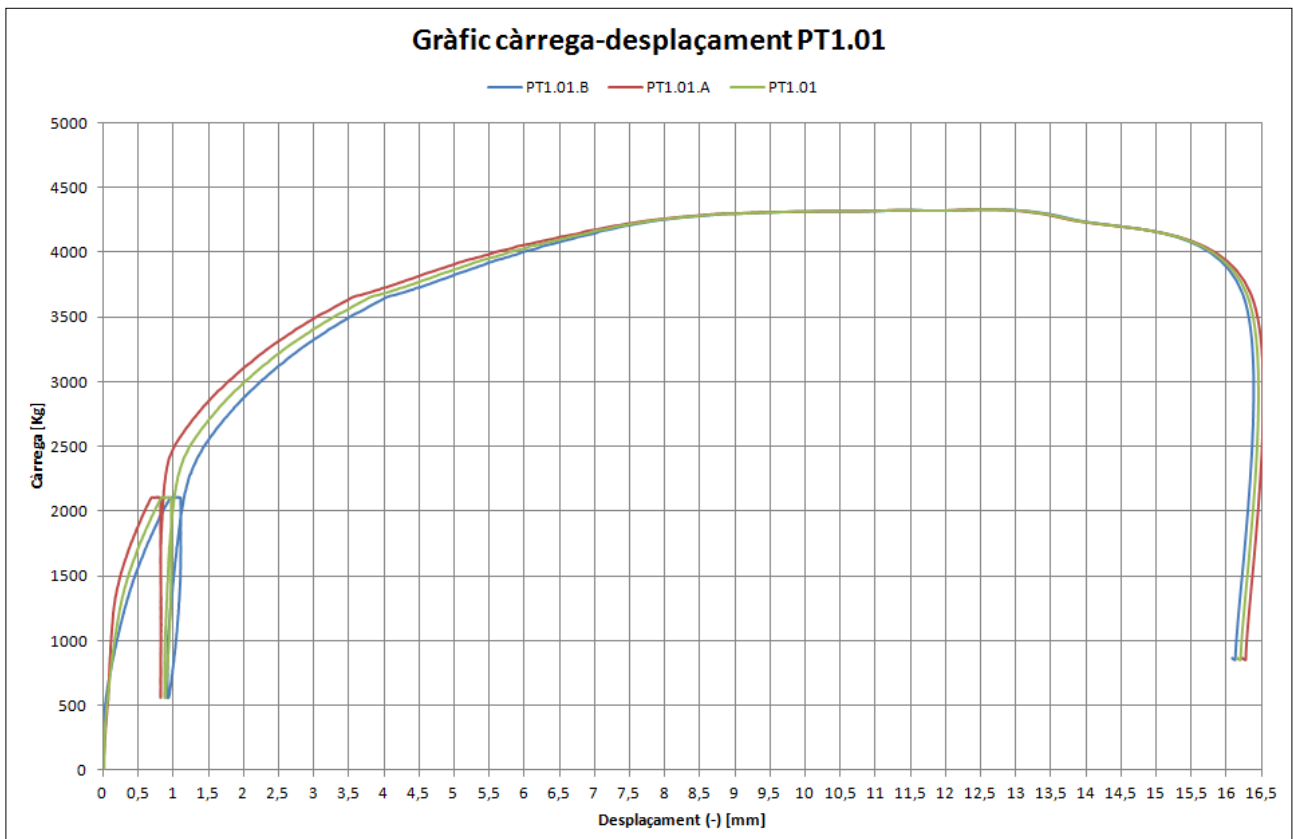


Fletxa: 4,32 mm

Observacions

No observem el formigó malmès ni esquerdat a la part inferior ni a la part de darrera.
 Esquerda a la part inferior de la cara de davant que ha fet que es desprengués part de la superfície del formigó.
 Semblança de fletxes dels tirafons del costat A, però hi ha una diferència de 1,3mm aproximadament entre les fletxes del costat B. Pot ser degut a una col·locació no perpendicular a la fusta d'algun dels tirafons.
 S'observa la forma de rellotge de sorra que ha sorgit a la majoria de provetes amb el formigó confinat.

Gràfic càrrega-desplaçament:



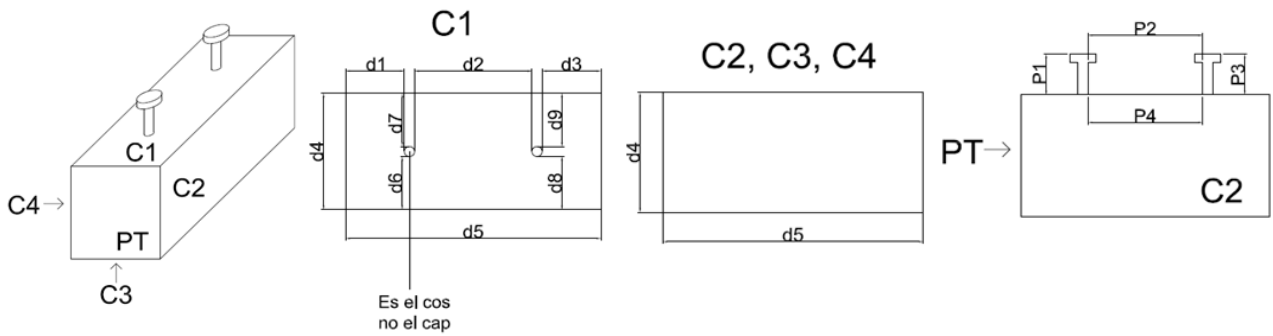
En aquest gràfic es poden observar 3 línies anomenades PT1.01.A, PT1.01B i PT1.01. La línia denominada PT1.01.A, correspon a la mitjana dels resultats dels dos transductors col·locats a la fusta A de la proveta, la línia PT1.01.B a la mitjana dels resultats dels dos transductors col·locats a la fusta B de la proveta i finalment la línia anomenada PT1.01, és la mitjana dels 4 transductors.

A la gràfica si seguim la línia PT1.01 podem observar que la càrrega assolida es troba entre 4.000 i 4.500 Kg que són 40.000-45.000N i que el desplaçament màxim es troba entre 11,5 i 12 mm, no es pot apreciar massa bé en el gràfic ja que sembla que després dels 12mm la càrrega augmenti o segueixi igual però a les dades de laboratori apreciem que a partir dels 11,73mm la càrrega comença a baixar pausadament. Les dades exactes de trencament es poden trobar a la taula de l'apartat dades de l'assaig d'aquest mateix annex.

Podem veure també que les tres línies tenen la càrrega màxima i desplaçament casi al mateix punt.

PROVETA 1.02

Geometria:



d2 s'agafa a baix els perns arran de fusta

PT1.02.A	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
C1	12,63	3,07	11,35	14,02	29,24	6,59	6,41	6,50	6,38
C2				14,80	29,27				
C3				14,00	29,29				
C4				14,89	29,25				
P1	4,75	P3	4,63	P2	3,04	P4	3,07		

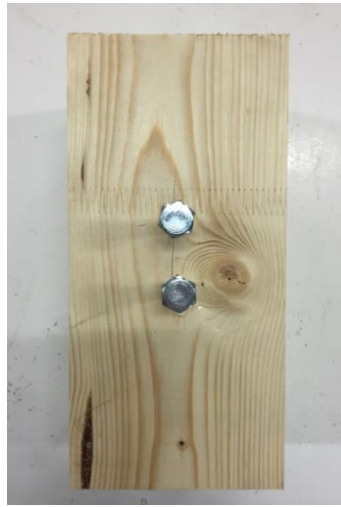
PT1.02.B	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
C1	12,54	2,98	11,50	13,99	29,28	6,41	6,44	6,44	6,44
C2				15,08	29,27				
C3				14,01	29,28				
C4				15,01	29,32				
P1	4,80	P3	4,62	P2	2,93	P4	2,98		

PROVETA: PT1.02.A

CPT:



C1:



C2:



C0:



C3:



C4:



Observacions:

A la CPT observem una inclinació en el tall de C3, produint que la secció de C4 sigui més gran que la de C2. Observem una breu inclinació cap a la dreta dels tirafons i un espai en la cara ple de resina. A la C0, tornem a observar el que veiem en la CPT.

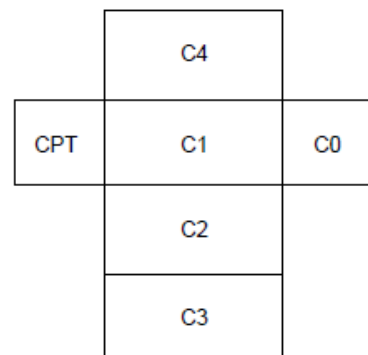
A la C1 observem unes esquerdes que van de base a base dels tirafons junt amb un nus a la part dreta que quasi està en contacte amb aquests dos elements. Observem també una unió entre fustes (bigues) just sobre el tirafons superior i un nus minúscul sota el tirafons inferior seguint la veta de la peça. També, observem l'espai de resina que segueix de l'anterior cara a la part inferior esquerra.

A la C2 observem un petit nus entre tirafons i un mitjà i gran al centre.

A la C3 observem cinc nusos, tots repartits a la part superior de la cara.

A la C4 trobem un nus molt gran a la part central esquerra de la cara i que està esquerdat.

Il·lustració:

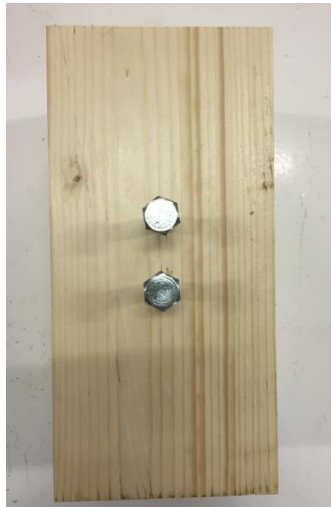


PROVETA: PT1.02.B

CPT:



C1:



C2:



C0:



C3:



C4:



Observacions:

A la CPT observem com els tirafons estan descentrats i una gran esquerra al centre de la cara.

A la C1 tornem a veure com els tirafons estan descentrats i observem que el tall de la serra de la C0 i la CPT no és paral·lel, fent que la secció de C4 sigui més gran que la C2.

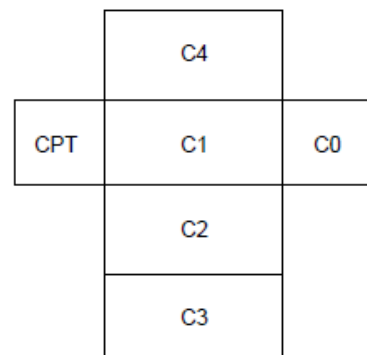
A la C2 observem dos nusos a la part central dreta de la cara. Un d'ells provocant una mossegada a l'aresta dreta. També observem que el tall de la serra de les CPT i C0, produeix que la C1 tingui més secció que la C3.

A la C3 observem dos nusos, un dels quals tocant a l'aresta dreta de la cara i creant una mossegada.

A la C4 observem un nus central a l'aresta esquerra, i un de molt petit a la part inferior de la cara.

A la C0 reiterem els tirafons descentrats.

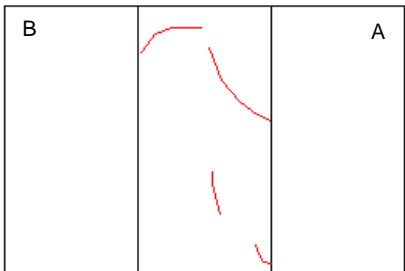
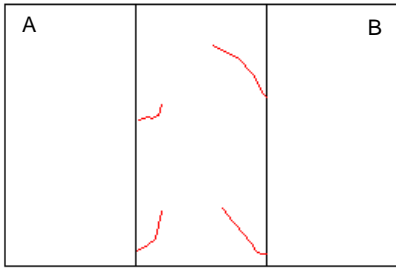


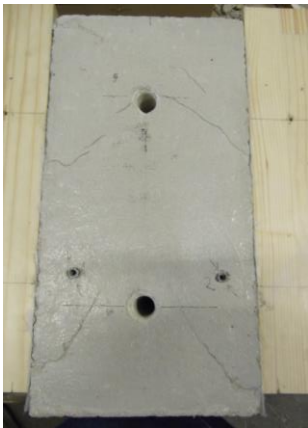

Il·lustració:



Dades de l'assaig:

PT1.02	
Compressió formigó	Si
Data de formigonat	31-05-16
Data d'assaig	10-06-16
Dies curat formigó	10 dies
Càrrega estimada	50.435,69 N
Càrrega trencament	41.243,56 N
Desplaçament màxim	15,84 mm
Duració de l'assaig	503,1 s

Mode de falla:

PROVETA: P1.02	
Observacions esquemàtiques	
Davant: 	Darrere: 
Sobre: 	Sota: 
Observacions gràfiques	
	



Costat A

Costat B

PT1.02.A(1)



Fletxa: 4,01 mm

PT1.02.B(1)



Fletxa: 5,21 mm

PT1.02.A(2)



Fletxa: 3,92 mm

PT1.02.B(2)



Fletxa: 6,24 mm

Observacions

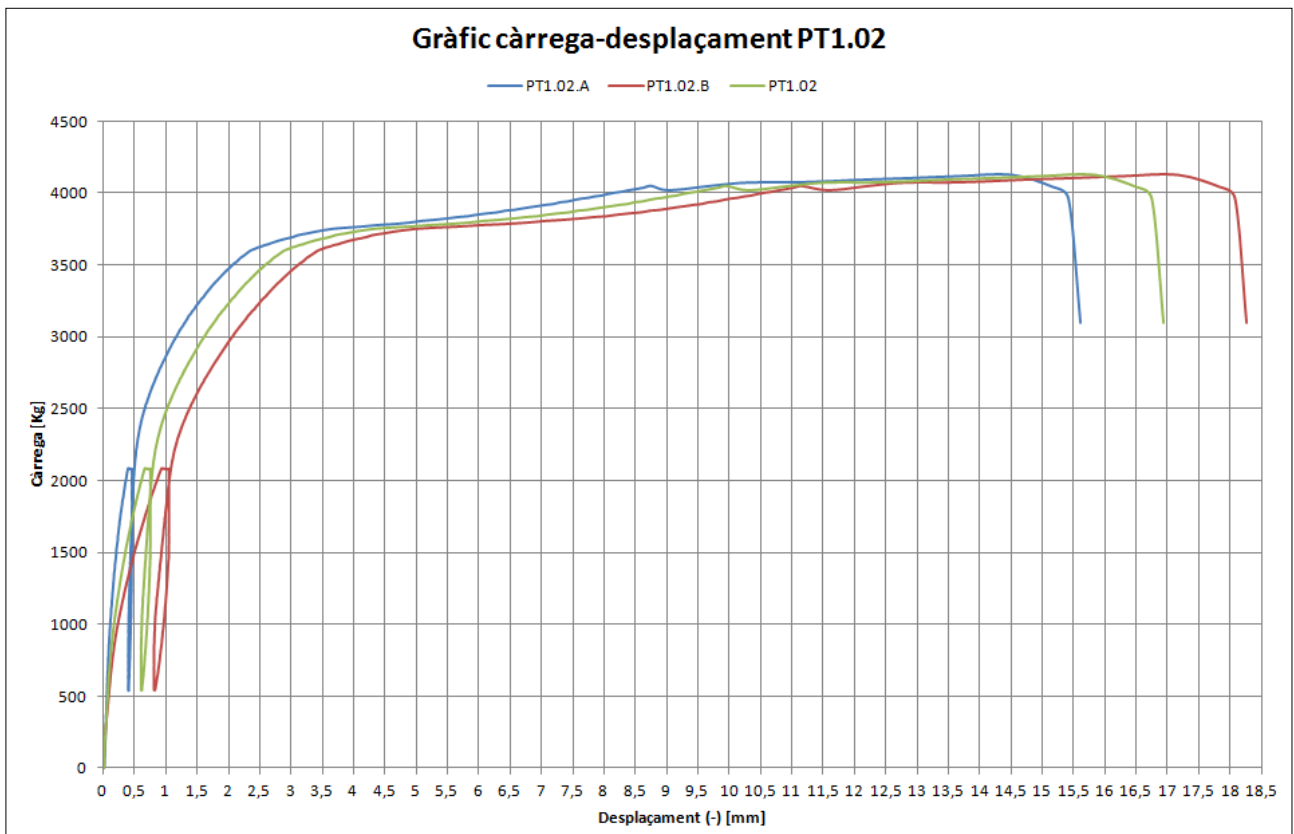
No s'observen esquerdes en les cares inferior i superior de l'element de formigó.

Les esquerdes pertanyents a la meitat longitudinal presenten una mateixa direcció, degut a la força exercida sobre l'element de formigó juntament amb el confinament d'aquest.

Observem un resultat similar en les fletxes dels tirafons del costat A, però una clara diferència amb i entre les del costat B, al voltant d'1mm.

L'element de formigó a diferència d'altres cops utilitzant el sistema de compressió, ha quedat en més mal estat, observem que continua quedant la forma de rellotge de sorra però la part superior ha quedat més trinxada.

Gràfic càrrega-desplaçament:

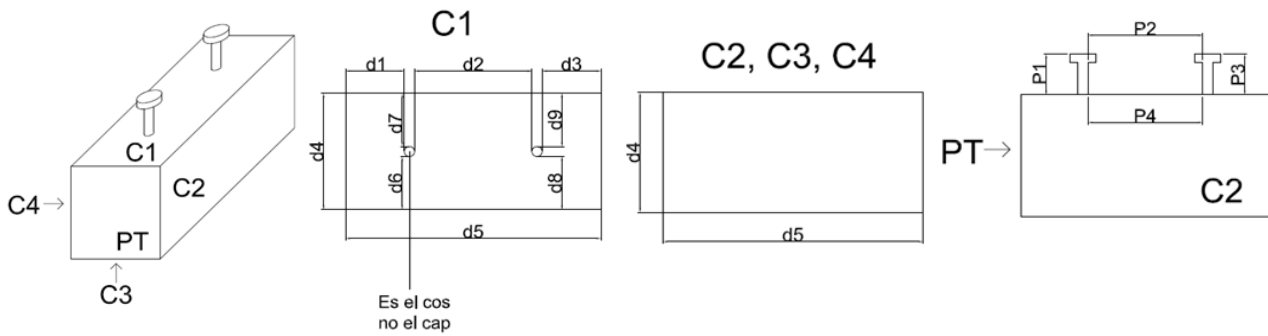


En aquest gràfic es poden observar 3 línies anomenades PT1.02.A, PT1.02.B i PT1.02. La línia denominada PT1.02.A, correspon a la mitjana dels resultats dels dos transductors col·locats a la fusta A de la proveta, la línia PT1.02.B a la mitjana dels resultats dels dos transductors col·locats a la fusta B de la proveta i finalment la línia anomenada PT1.02, és la mitjana dels 4 transductors.

A la gràfica si seguim la línia PT1.02 podem observar que la càrrega assolida es troba entre 4.000 i 4.500 Kg que són 40.000-45.000N i que el desplaçament màxim es troba entre 15,5 i 16 mm. Les dades exactes de trencament es poden trobar a la taula de l'apartat dades de l'assaig d'aquest mateix annex.

PROVETA 1.03

Geometria:



d2 s'agafa a baix els pernns arran de fusta

PT1.03.A	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
C1	12,42	3,10	11,47	13,99	29,25	6,20	6,60	6,35	6,52
C2				14,95	29,30				
C3				13,98	29,40				
C4				15,00	29,32				
P1	4,56	P3	4,47	P2	3,18	P4	3,10		

PT1.03.B	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
C1	12,69	2,89	11,41	13,91	29,25	6,33	6,44	6,54	6,27
C2				15,17	29,25				
C3				13,84	29,32				
C4				15,15	29,25				
P1	4,71	P3	4,58	P2	2,79	P4	2,89		

PROVETA: PT1.03.A

CPT:



C1:



C2:



C0:



C3:



C4:



Observacions:

A la CPT observem que el tall inclinat de la serra a la C3, fa que la C4 tingui més secció que C2. També observem una descentralització dels tirafons.

A la C1 observem una esquerdada entre tirafons. També observem un gran nus a la part central superior de la cara, tocant a l'aresta superior. També hi ha dos nusos minúsculs a la part inferior de la cara a cada banda. Observem també que la C0 ha sigut tallada inclinada, fent que la C2 tingui més secció que C4.

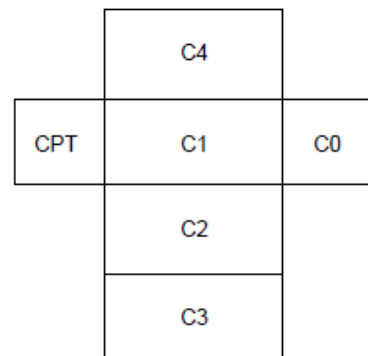
A la C2 observem que els tirafons estan inclinats cap a baix. Observem també tres tirafons. Dos a la part superior i l'altre a la part inferior de la cara.

A la C3 observem un nus al centre i un nus més gran tallat per la serra just a l'aresta de la C0. Aquest tall, s'ha fet de forma inclinada, fent que la C2 tingui més secció que la C4.

A la C4 observem un altre cop, que els tirafons estan inclinats cap a baix. També observem dos nusos un a cada part de la cara. Observem un tall irregular i inclinat a la C0.

Com en el CPT observem una descentralització del tirafons en la C0.

Il·lustració:

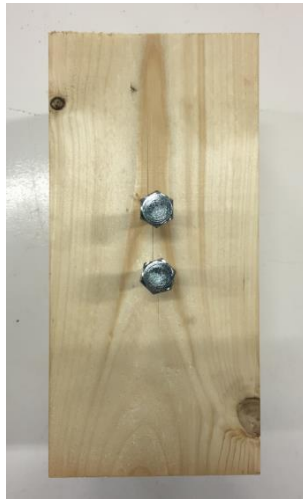


PROVETA: PT1.03.B

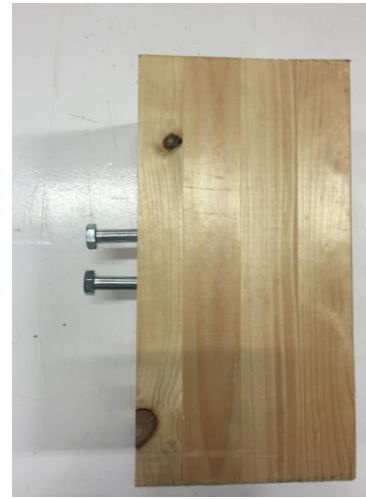
CPT:



C1:



C2:



C0:



C3:



C4:



Observacions:

A la CPT observem que l'aresta C3 no és gens recte.

A la C1 observem una esquerda que va de tirafons a tirafons i sobrepassa per l'altre banda dels dos elements. Observem també dos nusos; un a la part superior dreta i l'altre a la part inferior esquerra. També observem una inclinació a la C0, fent que C4 tingui una secció més gran que C2.

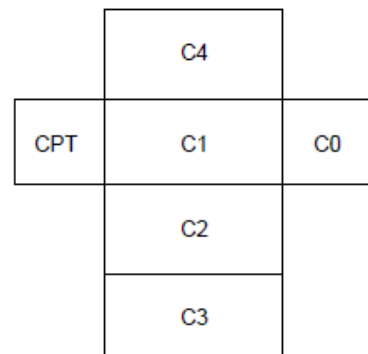
A la C2 observem que els dos tirafons no estan paral·lels. El superior està inclinat cap a baix. Observem dos nusos a la part esquerra de la cara, i observem un tall inclinat a CPT i a C0, que fa que la secció de C1 sigui més gran que C3.

A la C3 observem quatre nusos, dos dels quals junts. L'aresta de CPT no és completament recte.

La C4, observem un petit nus i observem com la C0 té menys secció que CPT. Tornem a observar la inclinació del tirafons.

A la C0, observem una inclinació del tirafons inferior cap a l'esquerre. A més també observem una inclinació de la C3, fent que la secció de C4 sigui més gran que la de C2.

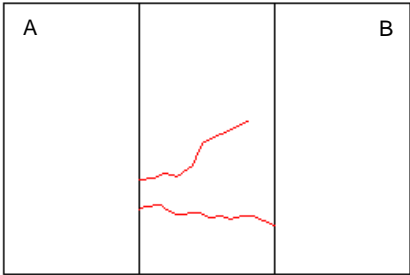
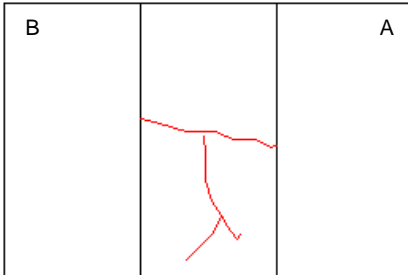
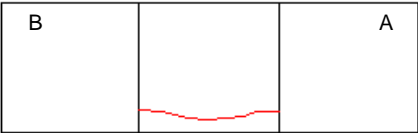



Il·lustració:



Dades de l'assaig:

PT1.03	
Compressió formigó	No
Data de formigonat	31-05-16
Data d'assaig	10-06-16
Dies curat formigó	10 dies
Càrrega estimada	50.435,69 N
Càrrega trencament	43.969,79 N
Desplaçament màxim	6,01 mm
Duració de l'assaig	525,1 s

Mode de falla:

PROVETA: P1.03	
Observacions esquemàtiques	
Davant: 	Darrere: 
Sobre: 	Sota: 
Observacions gràfiques	
	



Costat A

Costat B

PT1.03.A(2)



Fletxa: 4,93 mm

PT1.03.B(1)



Fletxa: 5,91 mm

PT1.03.A(1)



Fletxa: 4,00 mm

PT1.03.B(2)



Fletxa: 4,42 mm

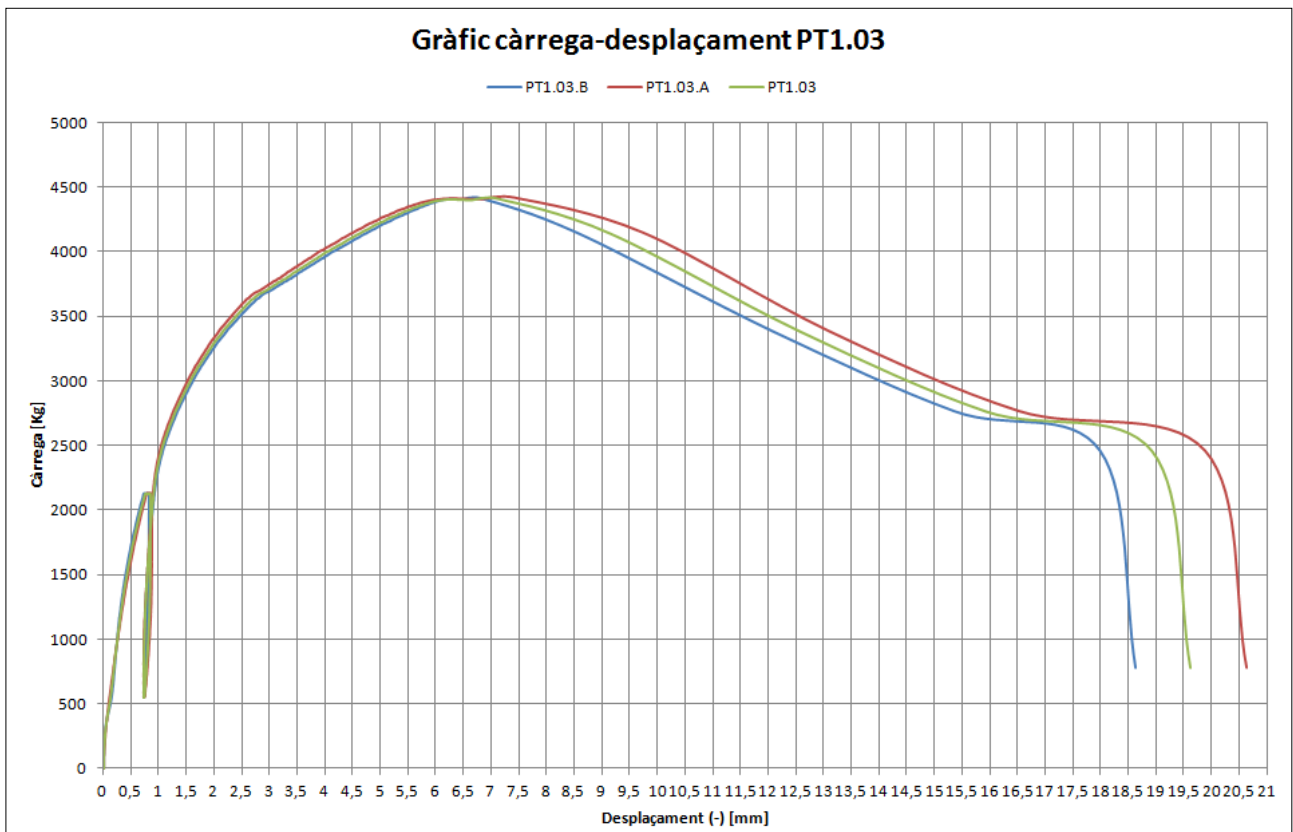
Observacions

S'observen esquerdes horitzontals a la part de davant i de darrera així com a la part superior.

El formigó ha trencat en forma de L, de manera que ha trencat verticalment i paral·lel a la cara de davant, per la línia de tirafons, fins arribar a l'esquerda horitzontal que presenta la cara de davant.

Pel que fa la fletxa dels tirafons, entre els del costat A hi ha una diferència de 0,93mm i entre els del costat B de 1,49mm. Els dos tirafons superiors tenen una diferència de fletxa de 0,98mm i entre els inferiors de 0,52mm.

Gràfic càrrega-desplaçament:

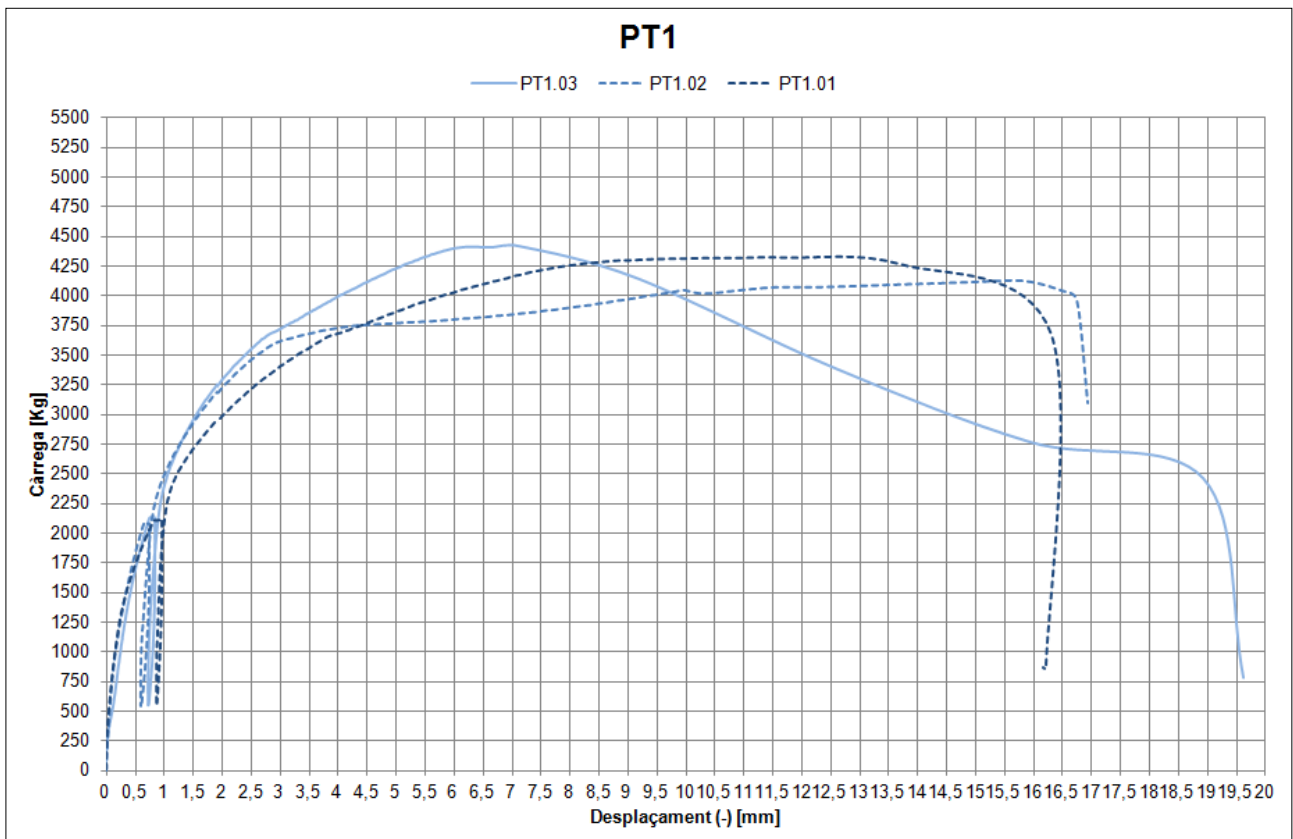


En aquest gràfic es poden observar 3 línies anomenades PT1.03.A, PT1.03.B i PT1.03. La línia denominada PT1.03.A, correspon a la mitjana dels resultats dels dos transductors col·locats a la fusta A de la proveta, la línia PT1.03.B a la mitjana dels resultats dels dos transductors col·locats a la fusta B de la proveta i finalment la línia anomenada PT1.03, és la mitjana dels 4 transductors.

A la gràfica si seguim la línia PT1.03 podem observar que la càrrega assolida es troba entre 4.000 i 4.500 Kg que són 40.000-45.000N i que el desplaçament màxim es troba entre 6 i 6,5 mm. Les dades exactes de trencament es poden trobar a la taula de l'apartat dades de l'assaig d'aquest mateix annex.

Podem veure també que les tres línies tenen la càrrega màxima i desplaçament casi al mateix punt.

Gràfic de les mitjanes de cada proveta tipus 1



En aquest gràfic s'hi poden observar les línies de la mitjana dels 4 transductors de cada proveta del tipus 1: PT1.01, PT1.02, PT1.03

Aquest s'ha fet per tal de veure que tot i que les mides i separacions són igual i el formigó també, les provetes no tenen comportaments iguals. S'ha de recordar que els dies de curat del formigó si que són un dia diferents: PT1.01 - 9 dies, PT1.02 - 10 dies i PT1.03 - 10 dies. I que a més, les provetes PT1.01 i PT1.02 tenen el formigó confinat.

Podem observar dos dels tres comportaments explicats a l'apartat 6-Conclusions.

PROVETES DE MOSTRES DE FORMIGÓ

F1.1	
Data de formigonat	23-05-16
Data d'assaig	3-06-16
Dies curat formigó	11 dies
Mesures	150 x 150 mm
Càrrega trencament	26,05 Tn = 255.290 N
Resistència de càlcul	11,34 N/mm

F1.2	
Data de formigonat	23-05-16
Data d'assaig	3-06-16
Dies curat formigó	11 dies
Mesures	150 x 150 mm
Càrrega trencament	28,03 Tn = 274.694 N
Resistència de càlcul	12,21 N/mm

F2.1	
Data de formigonat	27-05-16
Data d'assaig	7-06-16
Dies curat formigó	11 dies
Mesures	100 x 100 mm
Càrrega trencament	18,756 Tn = 183.808,8 N
Resistència de càlcul	18,38 N/mm

F2.2	
Data de formigonat	27-05-16
Data d'assaig	7-06-16
Dies curat formigó	11 dies
Mesures	100 x 100 mm
Càrrega trencament	20,878 Tn = 204.604,4 N
Resistència de càlcul	20,46 N/mm

F2.3	
Data de formigonat	27-05-16
Data d'assaig	23-06-16
Dies curat formigó	27 dies
Mesures	100 x 100 mm
Càrrega trencament	16,605 Tn = 162.729 N
Resistència de càlcul	16,27 N/mm

F3.1	
Data de formigonat	31-05-16
Data d'assaig	10-06-16
Dies curat formigó	10 dies
Mesures	150 x 150 mm
Càrrega trencament	32,38 Tn = 317.324 N
Resistència de càlcul	14,10 N/mm

F3.2	
Data de formigonat	31-05-16
Data d'assaig	10-06-16
Dies curat formigó	10 dies
Mesures	150 x 150 mm
Càrrega trencament	30,44 Tn = 298.312 N
Resistència de càlcul	13,26 N/mm



ANNEX 3

Programació estada a laboratori

Programació estada al laboratori Maig i Juny del 2016

Dilluns	Dimarts	Dimecres	Dijous	Divendres	Dissabte	Diumenge
16	17 Visita a Tecnifusta a l'Escala	18	19	20	21	22
23 Preparació encofrat, recollir fustes Escala, preparació fustes(tallat, mesurar i embolicar), encofrar i formigonar PT4.01, PT4.02, PT4.03 i PT3.01 i mostres resistència F1.1 i F1.2	24	25 Preparar les 8 fustes següents (mesurar, numerar i embolicar)	26 Desencofrat de les provetes de dilluns i encofrat de les següents i desembolicat de fustes	27 Formigonat de les provetes PT3.02, PT03.03, PT2.01 i PT2.02 i de les mostres de formigó F2.1, F2.2 i F2.3 i preparació de l'equip d'assaig per dilluns.	28	29
30 Preparació de les provetes a assajar (forats suport elements de mesura) i trencat de la proveta PT4.01... la resta de provetes formigonades dilluns no s'han trencat ja que la primera no ha sortit com esperàvem i les deixem curar fins divendres. Desencofrat de les provetes de divendres i preparació de les 8 ultimes fustes.	31 Encofrat de les 4 ultimes provetes i formigonat. PT2.03, PT1.01, PT1.02 i PT1.03 i les mostres de formigó F3.1 i F3.2	1	2	3 Visita grup d'estructuristes, presentació del treball davant seu i trencament de les provetes PT4.02 i PT3.01, tampoc van donar el resultat esperat i fem un recull de suggeriments dels estructuristes per modificar les provetes i decidim guardar la proveta PT4.03 per trencar a 21 dies. També trenquem les mostres de formigó F1.1 i F1.2 i desencofrat de les provetes de dimarts 31.	4	5

6	<p>7 Previst trencar les provetes formigonades el divendres 27 i deixar-ne dues a 28 dies</p> <p>S'han trencat la 3.02, la 2.01 i la mostra F2.3 i s'han deixat a 28 dies la 3.03 i la 2.02 i les mostres F2.1 i F2.2</p>	8	<p>9 S'ha trencat la proveta PT1.01 amb precompressió del formigó, no se n'ha pogut trencar cap altre perquè el 5000 fallava, s'ha decidit continuar l'endemà.</p>	<p>10 Previst trencar les provetes fetes el dimarts 31 així com la PT4.03 que està a 21 dies</p> <p>S'ha trencat la PT1.02 (precom.), la PT1.03 la PT 2.03, PT4.03 (precom.) i les mostres F3.1 i F3.2</p>	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	<p>23 Trencar les dues últimes provetes F3.03 (precom.) i F2.02 fetes el divendres 27 i les mostres F2.1 i F2.2</p>	24	25	26
27	28	29	30			