



Titulació:

Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials (Greti)

Escola:

Escola Superior d'Enginyeria Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa

Alumne:

Virginia Dolores Mendizábal Dinucci

Títol Treball Final de Grau:

ESTUDI EXPERIMENTAL PER A LA CARACTERITZACIÓ DE LA
FALLADA EN LES JUNTES D'OBRA DE FÀBRICA

Director:

Lluís Gil Espert

Convocatòria de lliurament del TFG:

Ordinària; Quadrimestre de primavera 2016-2017

Data d'entrega:

10 de Juny del 2017

Contingut:

DOCUMENT 1. MEMÒRIA



Treball Final de Grau

ESTUDI EXPERIMENTAL PER A LA CARACTERITZACIÓ DE LA FALLADA EN LES JUNTES D'OBRA DE FÀBRICA

Memòria

Autor: **Virginia Dolores Mendizábal Dinucci**

Director: **Lluís Gil Espert**

GRETI-Q2 2016-2017

Agraïments

Primer de tot m'agradaria agrair a totes les persones que han contribuït a fer què aquest treball pogués ser realitzat.

A la meva família, tant la que està a prop com la que està lluny, per creure sempre en les meves capacitats inclús quan jo no ho tenia tan clar. I moltíssimes gràcies a la meva mare, per estar portant-me i anant-me a buscar sempre que ha sigut necessari al llarg dels anys del grau.

També donar gràcies als professors Lluís Gil i Ernest Bernat, per haver-me permès viure el que és treballar al laboratori, i poder sentir la satisfacció d'una feina ben feta.

Gràcies Ernest per la paciència que has tingut amb mi durant les llargues hores de laboratori al llarg del quadrimestre, sense tu aquest treball no hagués sigut possible.

Aprecio moltíssim a totes les persones que he conegut al LITEM, saber que hi ha més gent allà treballant com tu, dóna forces.

Finalment et dono les gràcies a tu, lector, per aturar-te una estoneta a llegir el resultat del què per mi ha estat una experiència fantàstica.

Índex de continguts

Resum	6
Abstract	7
1. Introducció	8
1.1. Objectiu	8
1.2. Abast del treball	8
1.3. Justificació	8
1.4. Estructura del projecte	9
2. Desenvolupament	10
2.1. Estat de l'art	10
2.1.1. Els materials	10
2.1.2. L'experiment	11
2.2. Caracterització dels materials	14
2.2.1. Els maons	14
2.2.2. El morter	14
2.3. Creació de les provetes	18
2.3.1. Creació de les biplotes	18
2.3.2. Creació de triplotes	19
2.4. Configuració de l'assaig	20
2.4.1. Assaig de biplotes	20
2.4.2. Assaig de triplotes	21
2.5. Disseny de la instal·lació	23
2.6. Preparació de les provetes per l'assaig	25
2.7. Seguiment de l'experimentació	27
3. Resultats i anàlisi	29
3.1. Resultats obtinguts	29
3.1.1. Gràfics de Mohr-Coulomb	29
3.1.2. Gràfics de la dilatància	31
3.2. Anàlisi dels resultats	34
3.2.1. Anàlisi de la cohesió i l'angle de fricció	34
3.2.2. Anàlisi de la dilatància	35

4. Pressupost	36
5. Impacte ambiental	37
6. Conclusions	38
7. Següents passos	40
8. Bibliografia.....	41
8.1. Fonts digitals	41
8.2. Fonts bibliogràfiques.....	41

Índex de figures

Figura 1. Maons (Esquerra) i morter (dreta) moderns utilitzats en l'experimentació.....	11
Figura 2. Gràfic de Mohr-Coulomb de la norma EN 1052:2002-3.	12
Figura 3. Imatge de l'assaig de provetes cilíndriques treta de l'article de Luca Pelà.	13
Figura 4. Simulació numèrica del comportament d'un mur d'obra de fàbrica a compressió. Realitzada per Alvaro Viviescas.....	13
Figura 5. Imatge de l'assaig de tallant realitzat per Milosevic, Lopes, Bento i Gago.....	14
Figura 6. Inici i final de l'assaig de flexo-tracció	15
Figura 7. Assaig de compressió de morter.....	16
Figura 8. Maons en proces d'absorció	18
Figura 9. Provetes modernes finalitzades	19
Figura 10. Mostres de morter en el motlle corresponent.	19
Figura 11. Esquema de forces a la qual es sotmet una bipecta.	20
Figura 12. Element que aplica la força tallant clavant-se al maó.....	20
Figura 13. Esquema modificat de l'assaig de les bipectes.	21
Figura 14. Perfil d'alumini utilitzat als assajos per evitar el trencament dels materials.....	21
Figura 15. Esquema de forces a l'assaig de tripectes	22
Figura 16. Configuració inicial de l'assaig de tripectes.....	22
Figura 17. Configuración final de l'assaig de tripectes.	23
Figura 18. Esquema de l'espai disponible per la realització dels assajos.....	23
Figura 19. Elements addicionals col·locats per poder realitzar els assajos.	24
Figura 20. Perfils el L utilitzats per tenir les reaccions al tallant aplicat	24
Figura 21. Elements utilitzats en la preparació d'una proveta per ser assajada.	25
Figura 22. En blau distancia entre suports del sensor horitzontal. En verd distancia entre suports del sensor vertical.	26
Figura 23. Posició de cada suport tenint en compte si sostindrà el sensor o només actuarà com a topall.	26
Figura 24. Posicionament real entre sensors.	27
Figura 25. LVDT que mesura el desplaçament horitzontal.....	28
Figura 26. Gràfic de Mohr-Coulomb de les bipectes històriques.	29
Figura 27. Gràfic de Mohr-Coulomb de les tripectes històriques.	30
Figura 28. Gràfic de Mohr-Coulomb de les bipectes modernes.....	30
Figura 29. Gràfic de Mohr-Coulomb de les tripectes modernes.	31

Figura 30. Gràfic de la dilatància de les bipletes històriques.....	31
Figura 31. Gràfic de la dilatància de les tripleteles històriques.....	32
Figura 32. Gràfic de la dilatància de les bipletes modernes.	32
Figura 33. Gràfic de la dilatància de tripleteles modernes. (excepte espècimens 20 (1) i 35 (1)).....	33
Figura 34. Gràfic de la dilatància de tripleteles modernes dels espècimens 20 (1) i 35 (1).....	33

Índex de taules

Taula 1. Resultats de les mostres històriques (1) sotmeses a flexo-tracció.....	15
Taula 2. Resultats de les mostres històriques (2) sotmeses a flexo-tracció.....	15
Taula 3. Resultats de les mostres modernes sotmeses a flexotracció.....	16
Taula 4. Resultats de les mostres històriques 1 sotmeses a compressió.....	16
Taula 5. Resultats de les mostres de morter històric 2 sotmeses a compressió. 17	
Taula 6. Resultats de les mostres de morter modern a compressió.....	17
Taula 7. Dades obtingudes a partir dels gràfics de Mohr-Coulomb (valors pic). .	34
Taula 8. Valors reals obtinguts a partir del gràfic de Mohr-Coulomb.....	34
Taula 9. Relació entre consum d'energia i hores d'utilització	37

Resum

Aquest document de memòria forma part d'un projecte de caracterització de l'obra de fàbrica quan és sotmesa a un esforç de compressió i de tallant simultàniament. Concretament s'estudiaran bipletes i tripletes.

Les obres de fàbrica són un element molt utilitzat a la indústria de la construcció tant en el passat com ara, per aquest motiu és interessant caracteritzar el seu comportament sota diferents esforços.

Aquest projecte conté una petita introducció del tema, una caracterització dels materials, una explicació del protocol de creació i preparació dels espècimens, el disseny de la instal·lació emprada i de l'assaig, i finalment l'anàlisi dels resultats. En conjunt amb tots els passos establerts es trauran unes conclusions en relació a la caracterització.

Per acabar, s'inclou un pressupost aproximat dels recursos emprats durant la campanya d'estudi, així com l'impacte ambiental que ha tingut.

Abstract

The present report is part of a characterisation of the mortar joints of masonry when they are subject to shear strengths. To be more specific, biplets and triplets.

Masonry are a very used element in the construction industry from the past forward. Because of that, it is interesting to characterise their behaviour subject to different strengths.

The content of this project includes a brief introduction of the topic, a characterisation of the materials, an explanation of the correct protocol to manufacture and prepare the samples, the design of the installation and the test and finally the analysis of the results. Altogether, with the established steps the conclusions will be related with the characterisation.

At the end, it is included the approximate budget of the study and the environmental impact.

1. Introducció

A aquest apartat definirem l'objectiu del projecte, l'abast i la justificació de la seva importància. A més s'explicarà breument l'estructura dels documents.

1.1. Objectiu

L'objectiu d'aquest treball és estudiar la influència dels materials sobre l'obra de fàbrica quan aquesta és sotmesa a esforços de compressió i tallant aplicats simultàniament. També s'estudiarà la dilatància que pateixen durant aquests esforços. En aquest treball s'estudiarà aquesta relació en bipletes i en triplete.

Aquestes provetes estaran dividides en dos grans grups:

- Les anomenades històriques tenen una composició més dèbil, ja que la intenció és que representin les construccions del passat.
- Les anomenades modernes són fetes amb maons i morter que s'utilitzen actualment.

L'experimentació variarà lleugerament depenent de quina s'estigui estudiant.

1.2. Abast del treball

L'abast d'aquest treball inclou:

- ✓ la creació de les provetes modernes que s'utilitzaran.
- ✓ el protocol de preparació.
- ✓ el protocol d'experimentació que se seguirà durant la durada d'aquest estudi.
- ✓ La caracterització de les provetes modernes.
- ✓ La caracterització del morter històric.
- ✓ L'avaluació dels resultats obtinguts a cada assaig i la validesa dels mateixos.
- ✓ Es realitzarà un estudi del cost que comporta aquesta campanya d'assajos.

Aquest treball no inclou:

- x Una simulació numèrica.
- x La caracterització dels maons històrics.
- x El protocol del tractament de residus.

1.3. Justificació

Les obres de fàbrica són elements que han sigut molt utilitzats tant al passat com avui dia. Gràcies als avenços obtinguts a les últimes dècades, s'han pogut millorar el rendiment dels materials emprats en la construcció de les obres de fàbrica, com són els maons.

Tot i així, encara s'ha d'aprofundir més en altres elements que hi intervenen, com és el morter. El morter és l'element que dóna continuïtat a les obres de fàbrica i és l'encarregat que les càrregues es transmetin uniformement entre un maó i el següent, assegurant un bon acompliment de la sol·licitació. El fet que trenqui de forma sobtada quan es veu sotmès simultàniament a una força de compressió i una altra de tallant (l'exemple més clar és el d'un edifici sotmès a fortes ventades) fa que el seu rendiment decaigui.

La necessitat de poder preveure el comportament d'aquest element quan és sotmès a les sol·licitacions descrites anteriorment per poder millorar el seu rendiment és el que dóna lloc a aquest treball.

1.4. Estructura del projecte

El projecte consta de tres documents separats:

- La memòria (document que està llegint) és el que engloba tot l'estudi, on es recopilen les metodologies finals, els resultats i les conclusions que s'extreu.
- Al document Pressupost consta el preu aproximat dels serveis i materials emprats en la realització d'aquest estudi.
- L'Annex és el document on es podran trobar les diferents metodologies emprades però no satisfactòries, així com un seguiment individual dels assajos entre altres coses.

2. Desenvolupament

Aquest apartat està dedicat a explicar el mètode emprat a l'hora de realitzar el treball, així com fent una referència a l'estat de l'art d'aquesta línia investigació.

Durant tot el treball al laboratori s'han tingut en compte els següents aspectes de seguretat.

- És imperatiu l'ús de guants de protecció per fer qualsevol tipus de manipulació.
- En el cas de fer servir la polidora, és també necessari l'ús d'ulleres de protecció i mascareta.
- A més, és important l'ús del seny a cada moment per no patir accidents.

2.1. Estat de l'art

2.1.1. Els materials

Des de l'antiguitat, un cop els éssers humans deixen de ser nòmades per passar a ser sedentaris es va anar desenvolupant la creació d'estructures que els protegissin dels agents meteorològics.

Els elements utilitzats per la fabricació d'aquestes estructures han anat variant al llarg dels segles. Des del fang fins, ara a les estructures de formigó passant per les obres de fàbrica.

L'obra de fàbrica ve definida com un material compost per peces tals com maons, blocs o pedra que es troben unides mitjançant un element lligant, habitualment morter, o en ocasions mitjançant juntes a ós, amb un comportament anisòtrop, heterogeni i en determinades circumstàncies discontinu. [1]

Aquestes, actualment són elements que s'utilitzen molt en la construcció i per aquest motiu és interessant aprofundir i aprendre com optimitzar les seves propietats.

El fet de ser un element heterogeni, el seu comportament varia depenent de:

- les propietats individuals de cada material (maó i morter).
- del seu comportament en conjunt.

El maó és un element ceràmic massís de geometria rectangular compost d'argila i altres elements com òxids de ferro, òxids de calci i òxids de magnesi entre altres.

L'altre element essencial en les obres de fàbrica, és l'element lligant. El morter és un element lligant que s'obté a partir de la barreja d'un àrid amb aigua. Les proporcions de cada element utilitzat farà variar les propietats del morter.

El morter és un element que presenta unes molt bones capacitats de resistir esforços de compressió, però l'aplicar-li una tensió trenca fàcilment.



Figura 1. Maons (Esquerra) i morter (dreta) moderns utilitzats en l'experimentació.

La unió d'aquests dos elements és el que dóna lloc a una obra de fàbrica.

2.1.2. L'experiment

L'experiment que s'ha dut a terme a aquest treball és l'anomenat assaig de tallant per a obres de fàbrica (a aquest treball biplotes i triplotes). Aquest assaig únicament està estandarditzat per a triplotes. En el cas de les biplotes el que s'ha fet és una adaptació de l'assaig.

La norma que regula aquest assaig és l'EN 1052-3:2002 que a la normativa espanyola queda reflectida exactament a la UNE-EN 1052-3:2002/A1:2008, titulada "Mètodes d'assaig per obres de fàbrica. Part 3: Determinació de la resistència inicial a tallant". [6]

Aquesta normativa regula l'assaig aplicat a triplotes i explica dos possibles procediments pel càlcul de la resistència inicial a tallant. El procediment A consisteix a aplicar als espècimens diferents càrregues de pre-compressió (mínim tres provetes per càrrega, i tres càrregues de pre-compressió) per obtenir una recta de regressió a partir de la qual és calcularà la resistència. Per una altra banda, el procediment B consisteix a no aplicar pre-compressió a un mínim de sis espècimens per posteriorment aplicant un mètode estadístic, calcular la resistència.

Aquest treball aplicarà el procediment A amb una petita variació a les provetes modernes.

Les càrregues de precompressió que s'aplicaran estarà relacionada amb la resistència a compressió.

- Si les provetes tenen una resistència a compressió superior a 10N/mm², s'aplicaran càrregues que siguin aproximadament 0,2 , 0,6 i 1 la càrrega màxima.
- Si les provetes tenen una resistència inferior, s'aplicaran càrregues de 0,1, 0,3 i 0,5 aquesta càrrega.

Un cop realitzats els assajos es modelitzaran els resultats en gràfics tensió de tallant (f_{voi}) vs tensió de compressió (f_{pi}).

Aquestes tensions es calcularan seguint les següents fórmules:

$$f_{voi} = \frac{F_{i,max}}{2 \cdot A_i} \text{ en N/mm}^2 \text{ (1)}$$

$$f_{pi} = \frac{F_{pi}}{A_i} \text{ en N/mm}^2 \text{ (2)}$$

On f_{pi} és la càrrega de pre-compressió, $f_{1,max}$ és la càrrega màxima a tallant i A_i és l'àrea de la proveta.

La relació de la resistència a tallant ve donat de forma lineal seguint la llei de la fricció de Mohr-Coulomb, per a càrregues moderades de pre-compressió. Aquesta llei ens dona una relació lineal entre el tallant i la compressió seguint la següent expressió:

$$\tau = c + \sigma \cdot \tan \alpha$$

Que al gràfic queda representada com:

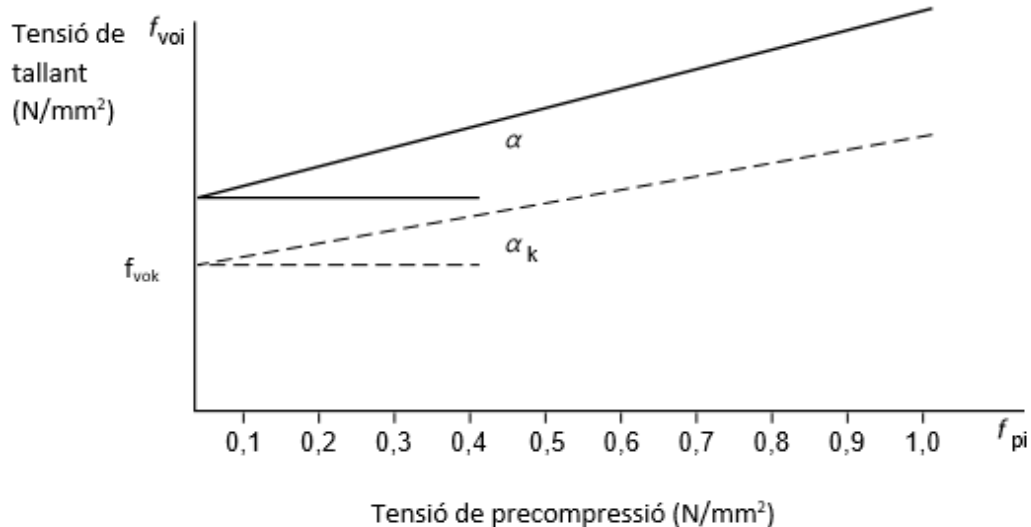


Figura 2. Gràfic de Mohr-Coulomb de la norma EN 1052:2002-3.

Finalment la resistència a tallant és f_{vok} és $0,8f_{vo}$ on f_{vo} és la intersecció de la recta donada pels assajos amb l'eix vertical. De la mateixa manera es calcula l'angle de fricció interna α_{vok} que és $0,8\arctg(\alpha)$.

A més aquesta és una línia de recerca que ha donat lloc a diferents tesis i articles tant dintre com fora de la nostra universitat.

Dintre la universitat hem tingut articles on s'estudien tripletes i a més provetes cilíndriques a diferents angles entre l'esforç tallant i la junta de morter. [2]



Figura 3. Imatge de l'assaig de provetes cilíndriques treta de l'article de Luca Pelà.

O la tesi doctoral de Alvaro Viviescas, on estudia el comportament de murs d'obra de fàbrica a compressió tant amb assajos experimentals com amb simulació numèrica. [3]

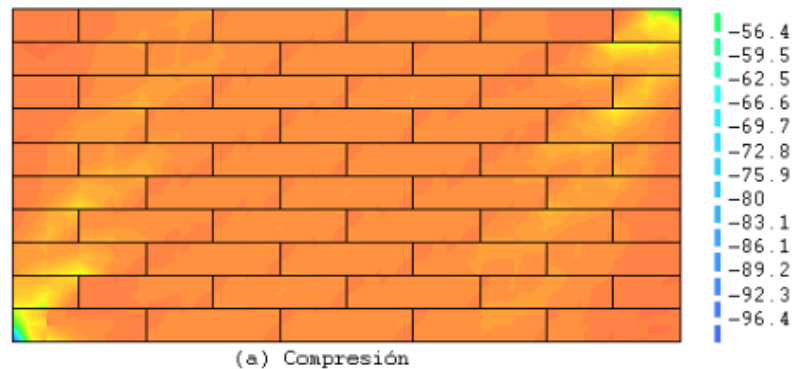


Figura 4. Simulació numèrica del comportament d'un mur d'obra de fàbrica a compressió. Realitzada per Alvaro Viviescas.

Fora de la nostra universitat trobem articles com és el següent on el que s'estudia és la resistència a tallant d'obra de fàbrica on en comptes de tenir maons s'utilitzen pedres unides mitjançant morter. [4]

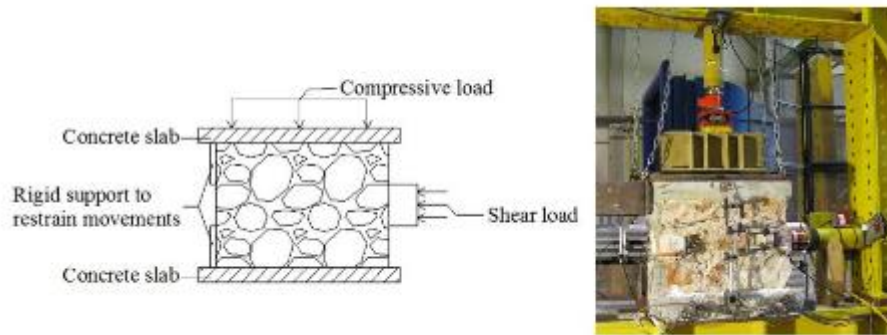


Figura 5. Imatge de l'assaig de tallant realitzat per Milosevic, Lopes, Bento i Gago.

Aquesta és una línia d'investigació a la qual encara s'ha d'aprofundir, ja que comprèn una gran quantitat de configuracions.

2.2. Caracterització dels materials

2.2.1. Els maons

Als maons moderns es va fer una prova d'absorció d'aigua. Com el seu nom indica, es calcularà la quantitat d'aigua que pot absorbir en 60s.

Per realitzar aquesta prova s'ha de tenir en compte les dimensions de cada maó i el seu pes. Es pesa el maó i a continuació es col·loca en una galleda amb aigua durant exactament 60s. Finalment es pesa un altre cop el maó.

Les dimensions mitjanes dels maons són 27 x 12,7 x 5,1 cm.

Quatre maons van ser sotmesos a aquesta prova obtenint una absorció mitjana del 0,008%.

Per veure aquest assaig amb més detall consultar l'Annex.

Dels maons històrics es van calcular les dimensions obtenint els següents valors: 4,3 x 14,4 x 30,1 cm.

2.2.2. El morter

Per poder caracteritzar el morter fet servir a les provetes és van realitzar dos assaigs.

- Assaig de flexo-tracció.

Aquest assaig consisteix a col·locar la mostra de morter a una instal·lació amb dos suports i aplicar una força tallant al centre. La velocitat de càrrega aplicada va ser de 10 N/s.



Figura 6. Inici i final de l'assaig de flexo-tracció

A les taules següents es farà servir la nomenclatura Ah per mostres històriques i Am per mostres modernes.

Primer es va assajar el morter d'amassada 1 utilitzat per les mostres històriques obtenint els següents resultats.

Taula 1. Resultats de les mostres històriques (1) sotmeses a flexo-tracció.

Mostra	Força màxima (N)
A1h	119
B1h	125
C1h	121

La força màxima a flexió mitjana del morter històric 1 és de 121,67N.

A continuació el morter d'amassada 2 assajat a flexo-tracció va donar els següents resultats.

Taula 2. Resultats de les mostres històriques (2) sotmeses a flexo-tracció.

Mostra	Força màxima (N)
A2h	301
B2h	246
C2h	192

La força màxima a flexió mitjana del morter històric 2 és de 246,33N.

Seguidament es van assajar a flexo-tracció el morter modern amb els següents resultats:

Taula 3. Resultats de les mostres modernes sotmeses a flexotracció.

Mostra	Resistència a flexo-tracció (N)
Am	12
Bm	26
Cm	439

Tal com es pot observar els resultats de les provetes A i B del morter actual no tenen sentit, i es creu que la màquina va patir un error de mesura durant els assajos. Per aquest motiu descartem els resultats A i B, però el manté el C, ja que és coherent amb les propietats que té el morter actual. Significativament més resistent que l'històric.

Un cop assajat totes les provetes de morter a flexo-tracció, ens queden 2 provetes de compressió per a cada proveta de flexotracció.

- Assaig de compressió

L'assaig de compressió consisteix a aplicar una càrrega de compressió sobre la superfície de la proveta per veure la seva resistència màxima. La velocitat de càrrega va ser de 100N/s.



Figura 7. Assaig de compressió de morter

Els resultats obtinguts pel morter històric 1 van ser els següents:

Taula 4. Resultats de les mostres històriques 1 sotmeses a compressió

Mostra	Força a compressió (N)
A1h1	1.221
A1h2	1.720
B1h1	1.309
B1h2	1.021
C1h1	1.321
C1h2	1.379

Com es pot veure a la taula, la força a compressió de les mostres varia entre 1.021 i 1.720 N mantenint-se majoritàriament sobre els 1.300 N. Per aquest motiu la força a compressió mitjana del morter històric és de 1.328,5 N.

Taula 5. Resultats de les mostres de morter històric 2 sotmeses a compressió.

Mostra	Força màxima compressió (N)
A2h1	1.794
A2h2	1.953
B2h1	2.007
B2h2	1.819
C2h1	1.871
C2h2	2.129

En aquest cas la força de compressió es troba en un rang entre 1.700 i 2.000 N aproximadament. La força de compressió màxima mitjana és de 1.921,3 N.

A continuació es va assajar a compressió les mostres del morter modern.

Taula 6. Resultats de les mostres de morter modern a compressió

Mostra	Força a compressió (N)
Am1	4.389
Am2	3.948
Bm1	4.241
Bm2	3.832
Cm1	4.097
Cm2	3.819

En aquest cas es veu clarament una diferència entre la primera part de les mostres Xm1, que té una resistència de més de 4.000 N i la part Xm2 que volta els 3.850 N. Això és degut al fet que les mostres no estaven correctament anivellades durant la presa i l'enduriment, cosa que ha fet que l'aigua és desplaçat cap a un costat variant així les propietats del morter depenent la zona que s'estudia. La força que dona com a resistència mitjana a compressió del morter modern és 4.050,33 N.

Aquests resultats demostren que la resistència del morter històric 2 és significativament més gran que el tipus 1 (més d'un 30%). Tot i així, el morter modern és molt més resistent.

Amb aquests resultats queda reflectit l'avenç en els materials utilitzats en l'elaboració de morter, ja que ha augmentat la seva resistència en un 300% respecte al morter històric 1. Tot i així encara tenim molta dispersió als resultats de cada assaig.

2.3. Creació de les provetes

En aquest apartat s'explica només la creació de les provetes modernes ja que les provetes històriques han sigut produïdes per una tercera persona interessada en aquest estudi.

La creació de les provetes modernes es va dur a terme el dia 20 de Febrer de 2017. Aquesta data va ser escollida tenint en compte els 28 dies mínims de presa i enduriment que necessiten aquestes provetes per ser assajades satisfactòriament.

Els materials necessaris per a la creació de les provetes són:

- Maons
- Morter
- Aigua
- Calibrador
- Paleta d'obrar
- Gaveta
- Recipient
- Topalls

2.3.1. Creació de les bipletes

El procediment de creació va constar dels següents passos:

1. El primer pas consisteix a col·locar els maons en un recipient amb aigua. Això és estrictament necessari, ja que sinó els maons absorbiran l'aigua del morter, variant així la seva resistència. Com a mínim han d'estar 60 s submergits completament.



Figura 8. Maons en proces d'absorció

2. Mentre els maons estan en la fase d'absorció, s'agafa la gaveta i es barreja morter amb aigua fins a arribar al punt d'obtenir una massa adequada per treballar-hi.

3. Un cop obtinguda la consistència desitjada es col·loca un maó sobre una superfície que permeti unes bones condicions de presa i enduriment i que sigui completament plana. Aquest fet és de molta importància, ja que si la superfície no és plana, la proveta patirà una desviació durant el temps de presa i quedarà torçada, dificultant així l'experimentació.

4. Es col·loca una part del morter obtingut sobre el maó. Col·loquem topalls a dos extrems oposats i col·loquem el maó superior. S'anivella el maó superior. Finalitza el procés.

2.3.2. Creació de tripletes

En el cas de la creació de tripletes, el procés és l'indicat anteriorment afegint el següent pas:

5. Una addició d'una altra capa de morter al segon maó, la col·locació dels topalls i finalment la col·locació del tercer i últim maó, sempre anivellant.



Figura 9. Provetes modernes finalitzades

Un cop finalitzada la creació de les provetes comença l'etapa de presa i enduriment. A aquesta etapa és molt important que no hi hagi cap moviment de les provetes i que les mateixes estiguin protegides contra agents externs com la pluja.

És important que es prengui una mostra del morter utilitzat a les provetes per poder-lo caracteritzar posteriorment. Aquesta mostra sorgeix a partir d'un motlle com el de la imatge següent.



Figura 10. Mostres de morter en el motlle corresponent.

2.4. Configuració de l'assaig

L'assaig al qual sotmetrem aquestes provetes s'anomena assaig de tallant, amb una precompressió inicial.

2.4.1. Assaig de bipletes

Per l'assaig de les bipletes inicialment es va plantejar el sistema que es pot observar a la figura 7.

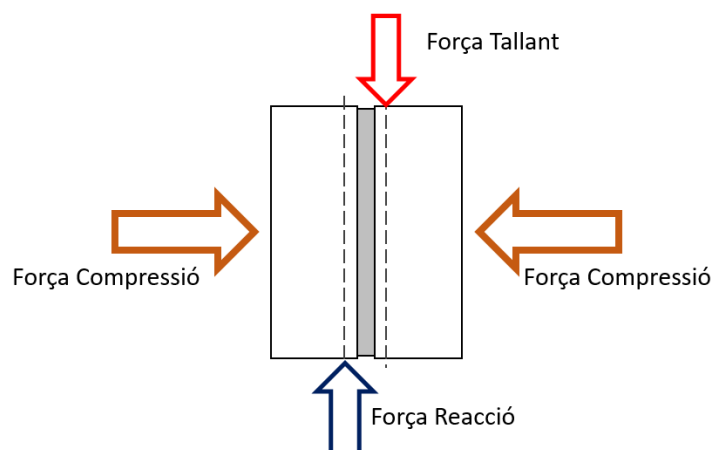


Figura 11. Esquema de forces a la qual es sotmet una bipleta.

Primer es carregarà la força de compressió. Un cop arribat al valor corresponent, es començarà a aplicar la força a tallant, que vindrà donada en relació a la velocitat d'avanç de l'actuador, que serà d'1mm/s.

Aquesta força a tallant tindrà una reacció al maó contrari al que s'aplica la força. D'aquesta manera aconseguim que l'element que actua com a resistència a la força sigui la junta de morter. Per aquest motiu és molt important que les forces de tallant i la reacció estiguin el més proper a la junta de morter, sense entrar en contacte directe amb ella.

Aquest assaig va haver-se de modificar, degut que al aplicar una força tallant tan puntual al maó, l'element utilitzat es clavava al maó i el trencava.



Figura 12. Element que aplica la força tallant clavant-se al maó

Per aquest motiu l'assaig es va modificar seguint el següent esquema.

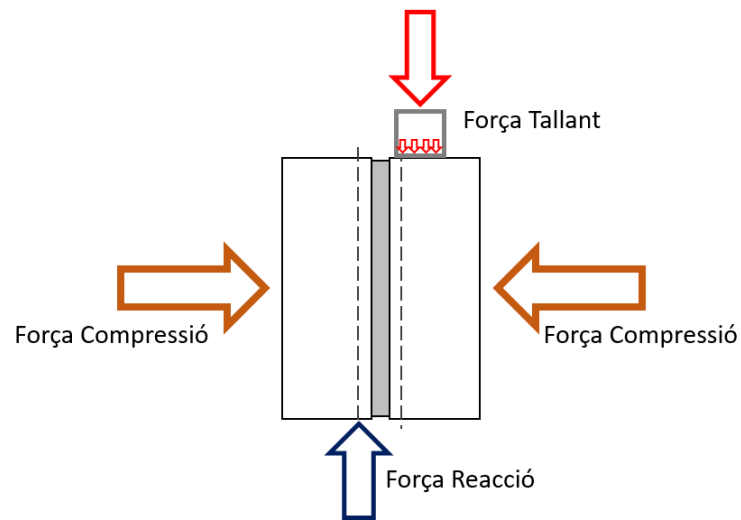


Figura 13. Esquema modificat de l'assaig de les bipletes.

Es van utilitzar els mateixos elements que a l'assaig de les tripletes (que s'explicarà a continuació). Amb el perfil d'alumini desplaçat cap a la junta de morter en comptes d'estar centrat.



Figura 14. Perfil d'alumini utilitzat als assajos per evitar el trencament dels materials.

Amb aquesta modificació es va poder assajar satisfactòriament les bipletes.

2.4.2. Assaig de tripletes

L'assaig de les tripletes consisteix en el mateix procediment que en el de bipletes, tenint en compte que ara tindrem dues reaccions, una per a cada maó lateral, i que la força tallant estarà aplicada al centre del maó central.

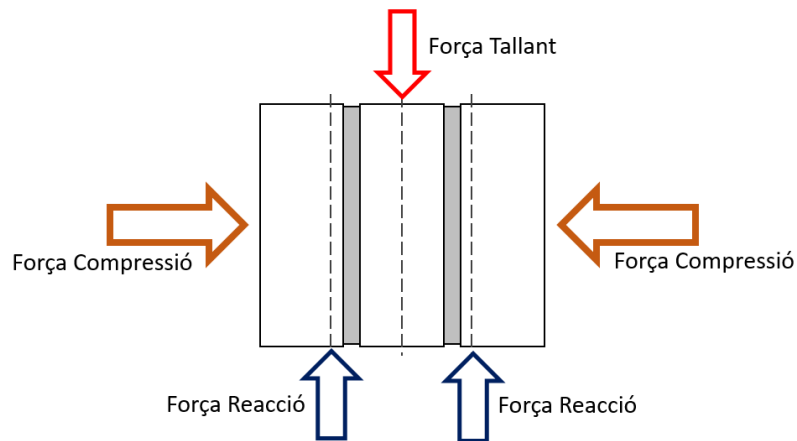


Figura 15. Esquema de forces a l'assaig de tripletes

Carregant primer la força de compressió fins a arribar a la desitjada i seguidament es comença a aplicar el tallant amb l'objectiu de desplaçar l'actuador 1mm/s.

A aquest assaig també es va haver de modificar lleugerament la manera com s'aplicava la força tallant a causa del fet que l'element de l'actuador tenia una amplada més gran que els maons utilitzats. En començar a desplaçar el maó central l'actuador entrava en contacte amb la junta de morter, a més que trencava localment els maons laterals.



Figura 16. Configuració inicial de l'assaig de tripletes.

Per aconseguir que la força s'apliqués únicament al maó central, se suplementa amb un perfil quadrat d'alumini centrar al maó, que reparteix la força tallant. D'aquesta manera aquest problema queda resolt.



Figura 17. Configuración final de l'assaig de tripletes.

2.5. Disseny de la instal·lació

La instal·lació d'assaig consta d'unes dimensions significativament més grans que la nostra proveta. Per aquest motiu s'ha hagut d'adaptar per poder assajar satisfactòriament totes les provetes, ja que els actuadors horitzontal i vertical tenien unes posicions concretes i no era possible desplaçar-los.

A la següent imatge mostra les línies d'actuació dels actuadors i on es troba el nostre espai objectiu.

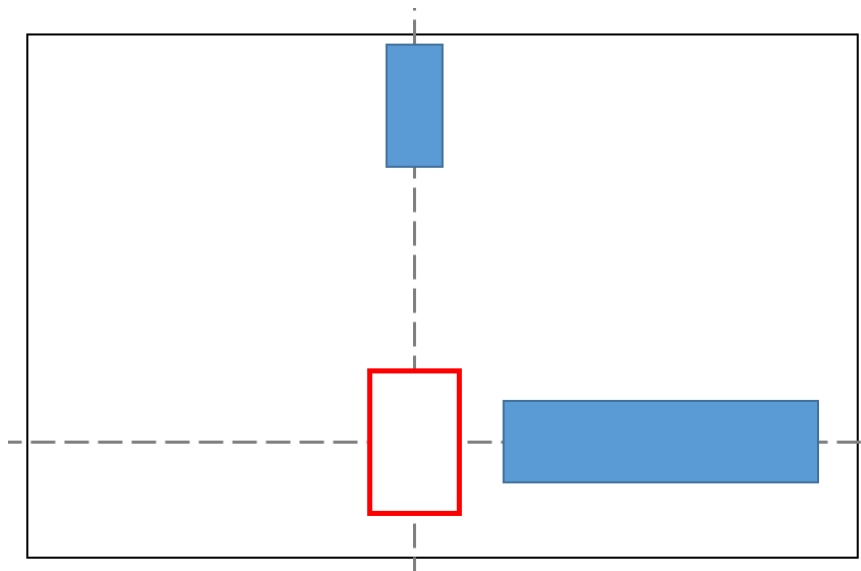


Figura 18. Esquema de l'espai disponible per la realització dels assajos.

Els elements blaus representen als actuadors i el quadre vermell l'espai on s'ha de dur a terme l'assaig. Per poder aplicar la força de compressió desitjada, s'ha hagut de col·locar diferents elements de grans dimensions i pes entre l'extrem esquerre i l'espai objectiu. Aquests elements es van triar tenint en compte que sempre s'ha de garantir una bona resistència, és a dir, que la compressió que s'aplica no deformi aquests elements i per tant influeixi d'una manera no desitjada a l'assaig.

A l'actuador vertical, va ser necessari col·locar-li uns cilindres per poder desplaçar el seu recorregut (125 mm) fins a l'alçada de les provetes i acabant amb un element en forma de semicercle que ens va permetre l'aplicació de la força de manera lineal.



Figura 19. Elements addicionals col·locats per poder realitzar els assajos.

Pel que fa a la manera de poder aplicar aquesta reacció, primer de tot es va haver de col·locar unes plaques sobre la superfície donada per elevar la proveta, en cas contrari la força de compressió hauria estat aplicada en una línia d'actuació superior a la meitat de l'alçada de la proveta, cosa que podria haver provocat que hi hagués un moment sobre aquesta. A continuació, es van provar diferents elements per sostenir verticalment la proveta, i per tant fer la reacció desitjada fins a arribar a obtenir l'òptim pel cas donat.

La primera opció va ser un perfil en I que es pot observar a la imatge anterior, però a causa de l'heterogeneïtat de les provetes (donada pels diferents gruixos de les juntes de morter) va ser necessari tenir un element que permetés l'adaptació per a cada assaig. La solució va ser col·locar un, en el cas de les biplotes, o dos en el de les triplotes perfils en L. Aquests perfils permetien l'ajust de posició per a cada proveta.



Figura 20. Perfils el L utilitzats per tenir les reaccions al tallant aplicat

Seguidament a l'hora d'aplicar la força de compressió, per assegurar una bona distribució de la força, l'actuador aplica la força a una placa metàl·lica de gruix i per considerables.

Finalment per evitar que la proveta pateixi concentracions de tensió degudes a la força de compressió, es van col·locar petites plaques de fusta entre la proveta i l'element metàl·lic més proper.

Així queda totalment definida la instal·lació que s'utilitzarà.

2.6. Preparació de les provetes per l'assaig

Per poder tenir un bon experiment, les provetes han d'estar preparades tenint en compte:

- La preparació de les superfícies que entraran en contacte amb la instal·lació.
- La col·locació dels suports dels sensors.

Per aconseguir un bon experiment, les superfícies en contacte amb la instal·lació. Per això el procés comença amb un escatiment superior i inferior de la proveta.

Un cop tenim les superfícies de contacte preparades, preparem les superfícies a les quals estaran col·locats els suports dels sensors. Això és extremadament important, ja que és necessari que els sensors no caiguin durant l'assaig, donada aquesta situació perdríem els desplaçaments horitzontals i verticals.



Figura 21. Elements utilitzats en la preparació d'una proveta per ser assajada.

Els elements necessaris per poder dur a terme la col·locació dels sensors són:

- Perfils en L amb els seus corresponents cargols i femelles.
- Clau corresponent als cargols
- Làmina d'alumini
- Adhesiu (Loctite)
- Regle
- Llapis
- Paper d'escata
- Suports

L'objectiu dels sensors és registrar els desplaçaments que pateixen els maons durant l'assaig. Com més gran sigui la distància entre els sensors, més desplaçament podrà captar.

A la següent imatge podem contemplar les distàncies utilitzades tant per bipletes com per tripletes.

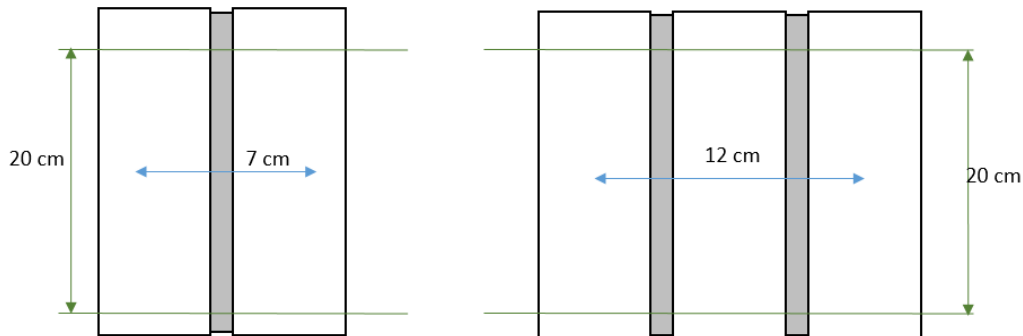


Figura 22. En blau distància entre suports del sensor horitzontal. En verd distància entre suports del sensor vertical.

Es col·loca 1 sensor a cada cara, per tant 2 perfils en L a cada cara. Un perfil amb la subjecció adequada per al sensor, i a l'altre perfil la làmina d'alumini (en el cas de l'horitzontal) o un altre perfil en L transversal en el cas del sensor vertical).

La col·locació més adient tenint en compte tots els elements que s'utilitzen durant l'assaig és la següent:

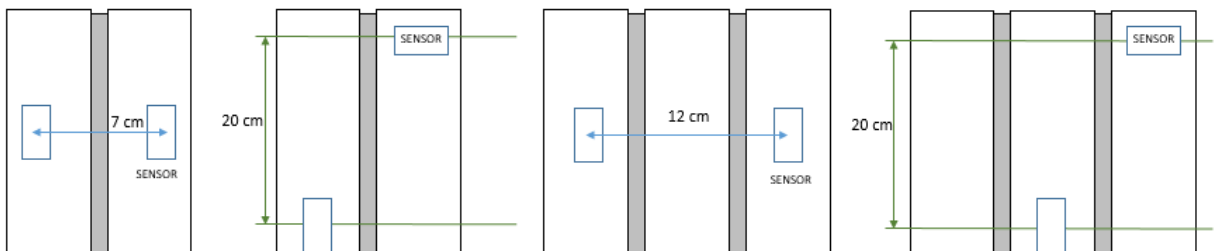


Figura 23. Posició de cada suport tenint en compte si sostindrà el sensor o només actuarà com a topall.

Aquesta distribució sorgeix tenint en compte el desplaçament d'un dels maons i com afecta el mateix a la mesura del desplaçament mitjançant els sensors.

Un cop marcades les posicions dels perfils en L, s'escata la zona i es passa un pany amb aigua. És necessari ja que si no el maó absorbeix part de l'adhesiu, debilitant així la subjecció del perfil.

A continuació es col·loca l'adhesiu a la base del perfil en L i es col·loca a la posició corresponent. Es deixa assecar durant uns 2 o 3 minuts.

Un cop col·locats els perfils d'un costat, utilitzant uns suports perquè aquests no entrin en contacte amb la superfície de la taula, girem la proveta i col·loquem els de l'altre costat i deixem assecar.

Un cop finalitzat ja es pot assajar la proveta.



Figura 24. Posicionament real entre sensors.

En el cas de tripletes, únicament afecta la disposició horitzontal del sensor, ja que varia la distància fins al suport que actua com a topall. En el cas del sensor vertical mantenim l'estructura de les bipletes.

És important que un cop acabat l'assaig, els perfils que entren en contacte amb el maó siguin polits utilitzant la polidora per remoure les restes de maó i d'adhesiu que poden tenir.

2.7. Seguiment de l'experimentació

Aquesta campanya d'assajos ha tingut lloc al Laboratori per a la Innovació Tecnològica d'Estructures i Materials (LITEM) sota la supervisió de l'Ernest Bernat Masó.

L'experimentació va seguir el protocol marcat anteriorment.

Per les provetes modernes es va trobar més interessant assajar dues provetes per cada un dels quatre nivells de pre-compensió en comptes de seguir el que diu la norma. D'aquesta manera és possible obtenir un punt més, i per tant, un rang més precís. La magnitud de les forces de pre-compensió de les provetes modernes van ser 0,5, 8, 20 i 35 kN.

En el cas de les històriques es va decidir seguir la normativa amb tres provetes per cada valor de pre-compensió (tres també). Tot i així, a l'estar treballant amb tensions els resultats són completament comparables. Les forces de pre-compensió aplicada segons la norma haurien de ser 0,2, 0,6 i 1 la càrrega màxima desitjada, però degut a l'elevada dispersió dels assajos a poca càrrega es va considerar més adient estudiar 0,3 vegades el màxim. Finalment els valors d'aquestes càrregues van ser 13,5, 27 i 45 kN.

Els assajos van tenir una durada mitjana de 20 minuts.

Els actuadors fets servir tenen una força màxima de 100 kN el vertical i de 50 kN l'horitzontal. Per aquest motiu la proveta ha d'estar dreta com es pot veure a la figura 24, ja que era necessari poder aplicar més de 50 kN de càrrega a l'esforç tallant.

Per mesurar els desplaçaments horitzontals i verticals es van fer servir dos sensors LVDT amb un rang de 20 mm, que permetien una gran precisió a l'hora de mesurar petits desplaçaments.



Figura 25. LVDT que mesura el desplaçament horitzontal.

3. Resultats i anàlisi

A aquest apartat ens dedicarem a exposar els resultats obtinguts durant l'experimentació i els analitzarem.

3.1. Resultats obtinguts

Els resultats obtinguts, tractats correctament donen lloc als gràfics que es mostren a continuació.

Dels assajos previstos: 18 assajos amb provetes històriques i 16 amb provetes modernes s'han assajat 33 a causa del trencament d'una proveta històrica durant la preparació.

Per una banda tenim els gràfics que segueixen la llei de la fricció de Mohr-Coulomb i per l'altra banda tindrem aquells que permet veure el fenomen de dilatància.

3.1.1. Gràfics de Mohr-Coulomb

Els gràfics de Mohr-coulomb permeten, com s'explica a l'estat de l'art, l'obtenció de la cohesió de les provetes i de l'angle de fricció de les juntes de morter de cada tipus.

3.1.1.1. Històriques

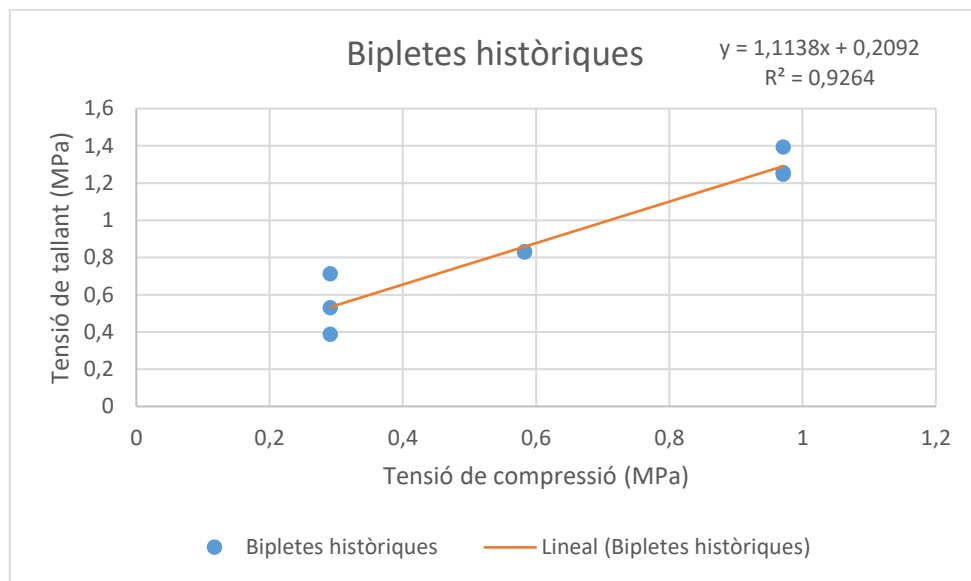


Figura 26. Gràfic de Mohr-Coulomb de les biquetes històriques.

Al gràfic es pot observar els punts corresponents a cada assaig. La recta de regressió és la llei de la fricció de Mohr-Coulomb explicada anteriorment.

$$\tau_1 = 1,1138 \cdot \sigma_1 + 0,2092$$

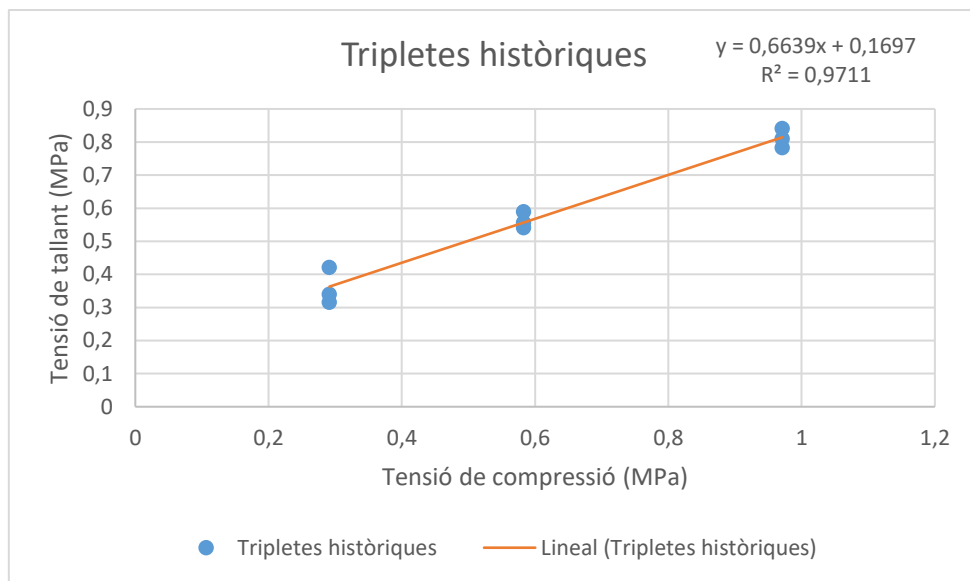


Figura 27. Gràfic de Mohr-Coulomb de les tripletes històriques.

En aquest cas la relació entre la tensió tallant i la normal (tensió de pre-compressió) és:

$$\tau_2 = 0,6639 \cdot \sigma_2 + 0,1697$$

3.1.1.2. Modernes

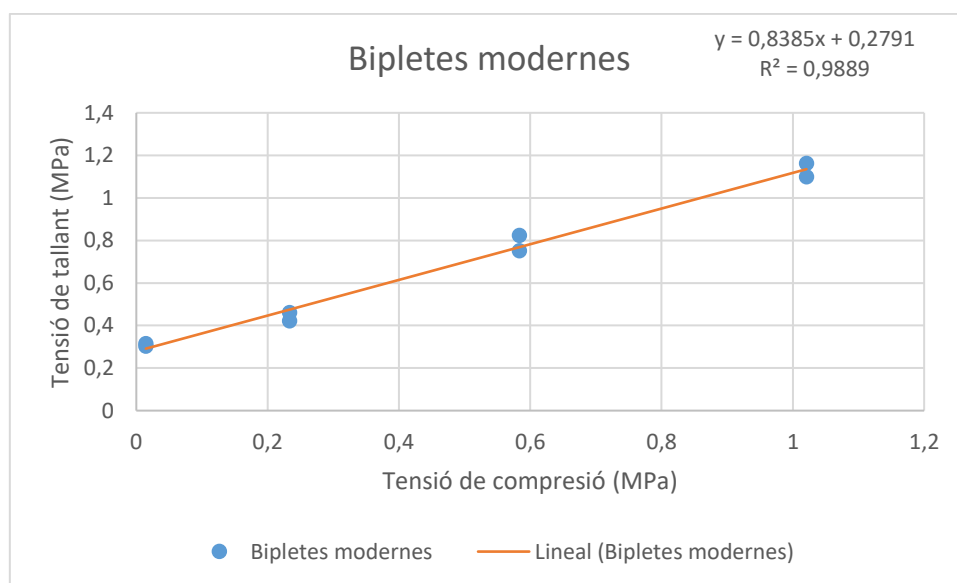


Figura 28. Gràfic de Mohr-Coulomb de les biplotes modernes.

La llei de la fricció de Mohr-Coulomb per a biplotes modernes és:

$$\tau_3 = 0,8385 \cdot \sigma_3 + 0,2791$$

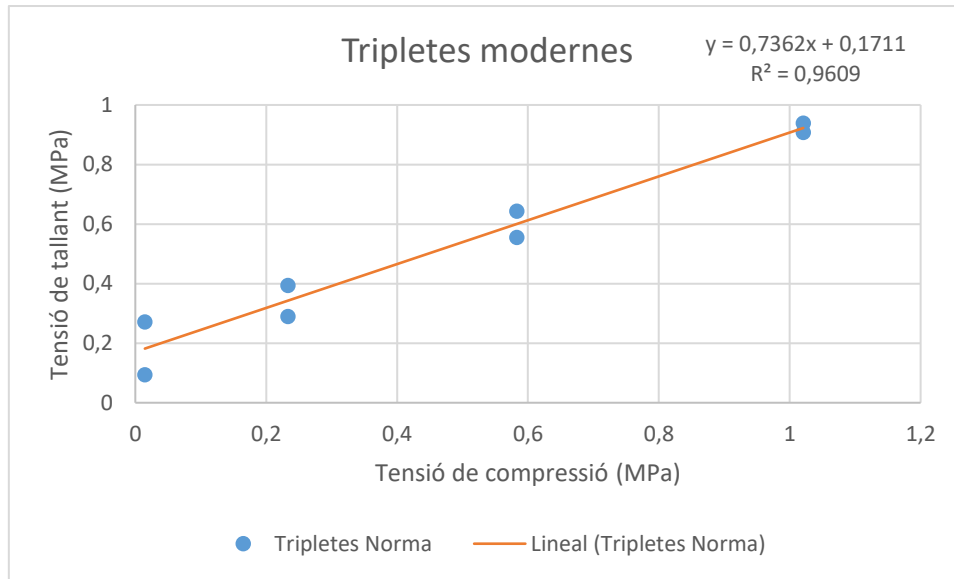


Figura 29. Gràfic de Mohr-Coulomb de les tripletes modernes.

Finalment l'equació que relaciona l'esforç de compressió amb l'esforç tallant de les tripletes modernes és:

$$\tau_4 = 0,7362 \cdot \sigma_4 + 0,1711$$

3.1.2. Gràfics de la dilatància

La dilatància és una propietat dels materials que permet descriure l'increment del volum d'un material granular quan s'aplica un esforç tallant. Als següents gràfics es podrà apreciar aquest fenomen. En l'aplicar un desplaçament vertical, l'horitzontal també s'incrementa.

3.1.2.1. Històriques

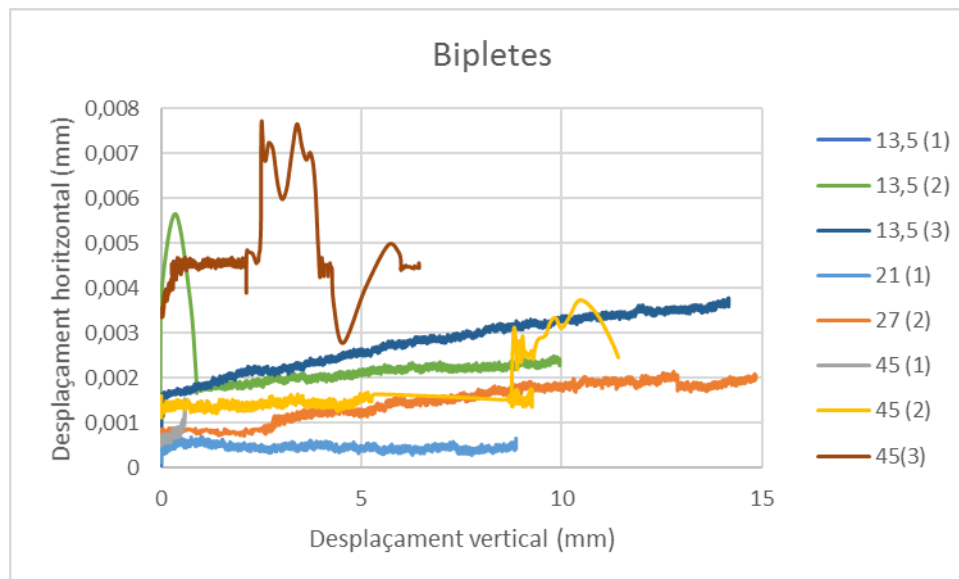


Figura 30. Gràfic de la dilatància de les bipletes històriques.

A la figura anterior es pot apreciar clarament la dilatància que pateixen les biplotes històriques. S'ha de tenir en compte que els desplaçaments són molt petits, imperceptibles a l'ull humà.

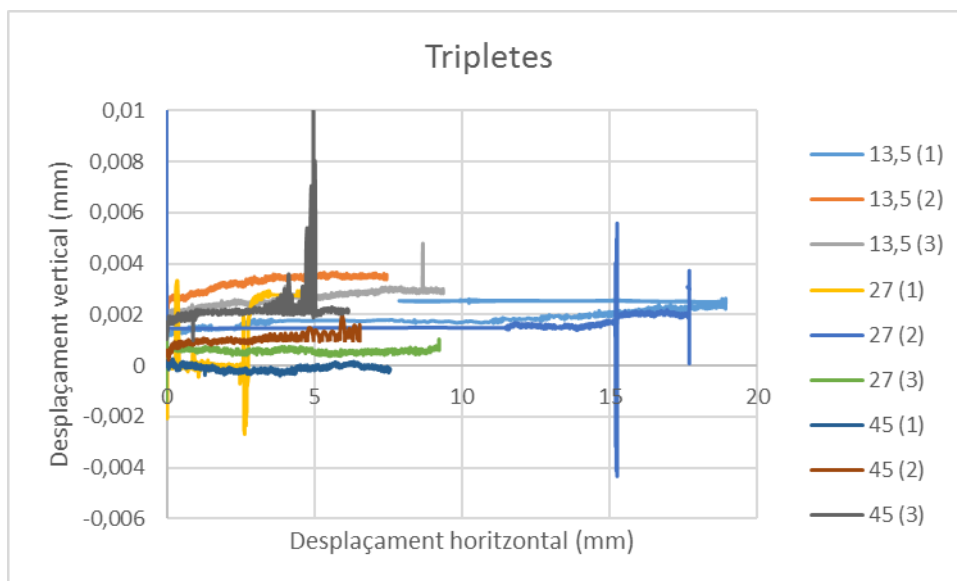


Figura 31. Gràfic de la dilatància de les triplotes històriques.

3.1.2.2. Modernes

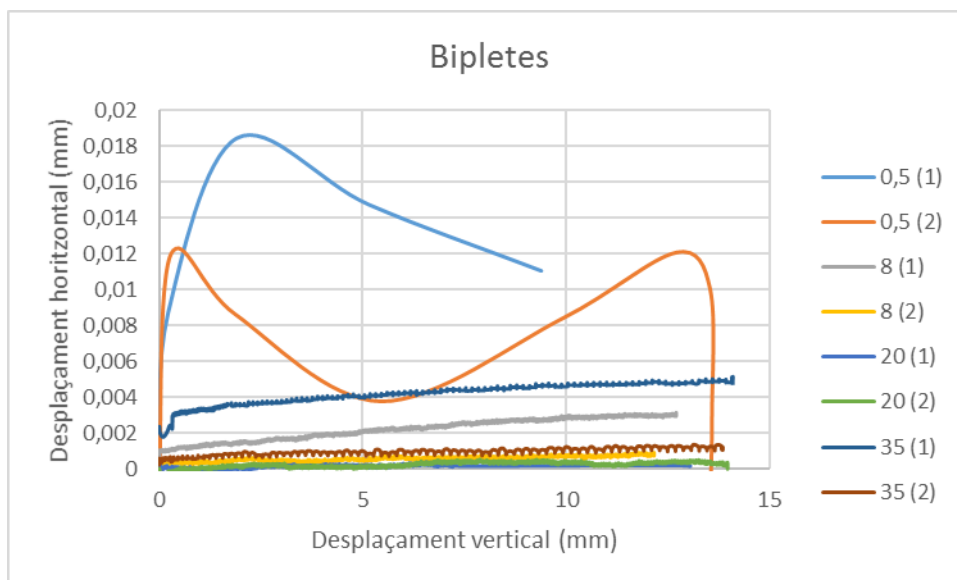


Figura 32. Gràfic de la dilatància de les biplotes modernes.

En aquest cas veiem que per al nivell de càrrega mínim tenim una anomalia en la lectura del sensor horitzontal. Una possible raó d'aquesta anomalia podria ser que a un nivell de càrrega on pràcticament no tenim una força que mantingui la proveta fixada en una posició mentre s'aplica el tallant, aquesta podria haver patit un moviment detectat pel sensor horitzontal.

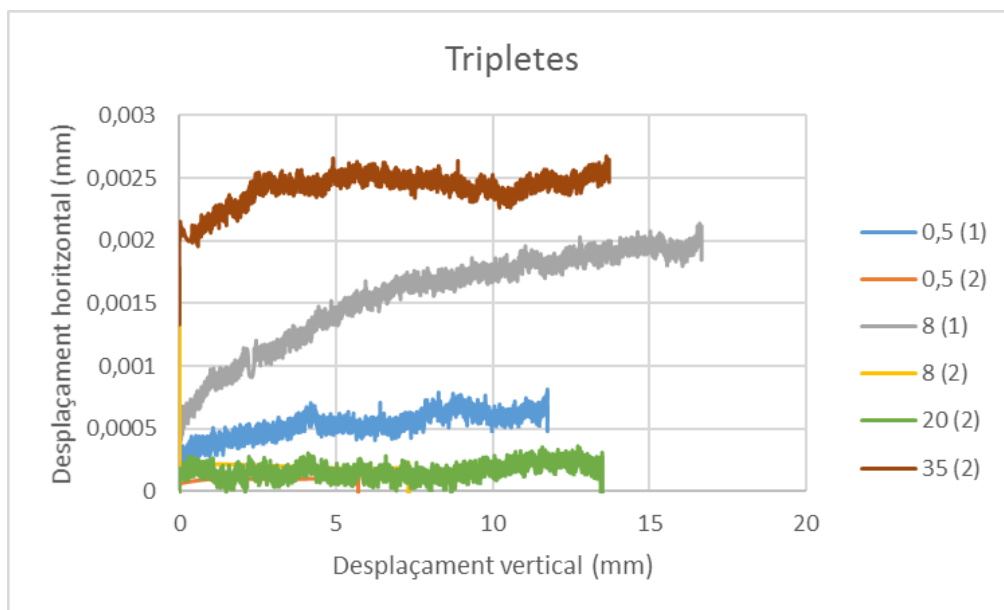


Figura 33. Gràfic de la dilatància de tripletes modernes. (excepte espècimens 20 (1) i 35 (1)).

En el cas de les tripletes es veu clarament com un augment del desplaçament vertical provoca un augment del desplaçament horitzontal.

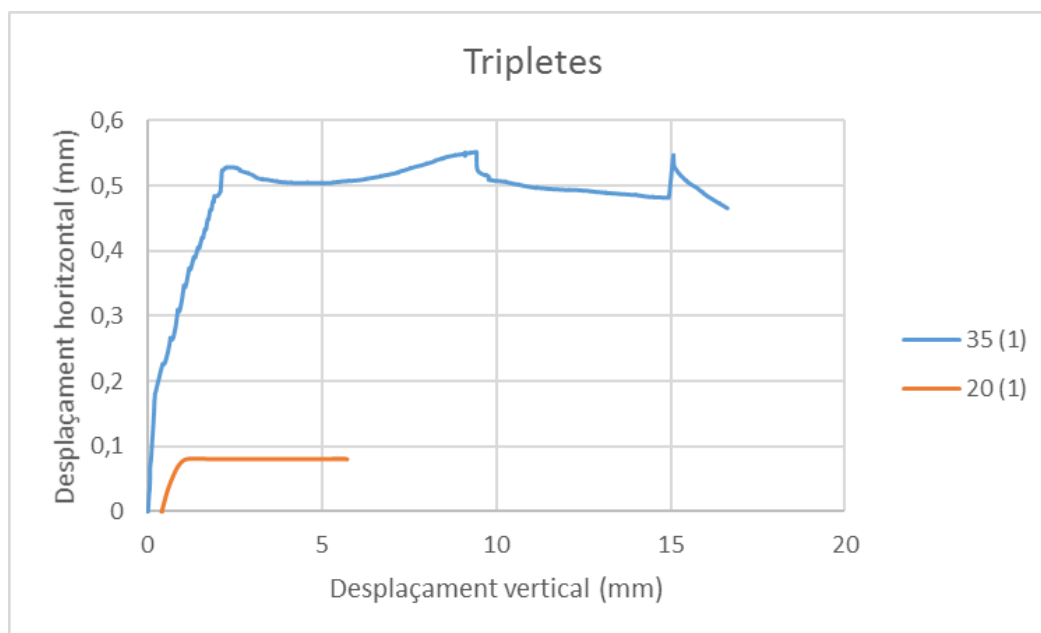


Figura 34. Gràfic de la dilatància de tripletes modernes dels espècimens 20 (1) i 35 (1).

La dilatància de les tripletes modernes ha estat dividida en dos gràfics ja que la dilatància que pateixen les provetes 31 (1) i 20 (1) és molt superior a les altres. Si es posen en un mateix gràfic, no permet una correcta visualització de tots els experiments.

Com es pot observar la dilatància té lloc a tots els espècimens en major o menor mesura. La diferència entre els materials utilitzats a cada una afecta el seu comportament.

3.2. Anàlisi dels resultats

3.2.1 Anàlisi de la cohesió i l'angle de fricció

La següent taula sintetitza els resultats obtinguts a partir dels gràfics de Mohr-Coulomb.

Taula 7. Dades obtingudes a partir dels gràfics de Mohr-Coulomb (valors pic).

Espècimen	α (°)	c
Bipletes Històriques	48,08	0,2092
Tripletes Històriques	33,58	0,1697
Bipletes Modernes	39,98	0,2791
Tripletes Modernes	36,36	0,1711

Com es pot observar a la taula, les dades característiques de les mostres són l'angle de fricció i la cohesió. Aquests són els valor de pic obtinguts durant els assajos. Els valors reals es calculen com 0,8 del valor pic.

Taula 8. Valors reals obtinguts a partir del gràfic de Mohr-Coulomb.

Espècimen	α (°)	c
Bipletes Històriques	38,46	0,16736
Tripletes Històriques	26,86	0,13576
Bipletes Modernes	31,98	0,22328
Tripletes Modernes	29,09	0,13688

Com podem observar la cohesió de les bipletes és significativament més gran que la de les tripletes (més d'un 10% de variació). Això és degut al fet que les tripletes tenen més dispersió perquè tenen dues juntes de morter en comptes d'una, cosa que eleva la possibilitat que hi hagi algun defecte a una de les juntes.

En relació a la comparació històrica-moderna, les bipletes augmenten significativament la cohesió. Les provetes històriques tenen una porositat més elevada mentre que a les modernes, la porositat disminueix significativament. En el cas de les tripletes la cohesió no pateix una variació significativa per la mateixa raó que al paràgraf anterior. La dispersió més elevada de les tripletes és el que dona lloc a aquest resultat.

En relació amb l'angle de fricció interna, l'angle de les bipletes és superior al de les tripletes en ambdós casos. Mentre que en la relació històrica moderna les bipletes pateixen una disminució d'aquest. La rugositat de la superfície de la proveta històrica fa que l'angle sigui més elevat que a les modernes, que al ser menor afavoreix els mecanismes de trencament. A les tripletes hi ha un petit augment de l'angle que pot ser degut a un augment de la rugositat del morter en tenir partícules d'àrid més grans.

Una possible explicació d'aquests resultats podria ser que l'element principal que augmenta l'angle de fricció variï segons quin tipus d'obra de fàbrica s'estudiï. A les

bipletes és possible que la rugositat del maó sigui la que afecta de manera més significativa, mentre que a les tripletes pot ser que aquest element fos el morter.

3.2.2. Anàlisi de la dilatació

La dilatació és la variació del volum quan s'aplica un esforç tallant. Aquest augment ve donat per una oposició a l'esforç de pre-compensació quan augmenta el tallant. Aquesta dilatació juntament amb l'angle de fricció són elements que contribueixen a la resistència a tallant d'un espècimen.

Observant els gràfics relacionats amb la dilatació, es veu en general que apareix en més o menys mesura, però en gairebé tots els assajos independentment que siguin espècimens històrics o moderns.

A les provetes històriques la dilatació és menor que a les modernes però no sempre significativament. Això podria ser degut al fet que al ser d'un material més porós i en tenir un morter que té partícules d'àrid més petites és possible la contracció de partícules sense que s'aprecii un desplaçament horitzontal significatiu.

Les bipletes històriques tenen una dilatació semblant a la que tenen les bipletes modernes. Mentre que les tripletes modernes tenen una dilatació significativament superior a les històriques.

En el cas d'espècimens moderns, les tripletes tenen una dilatació significativament superior a causa del fet que tenen dues juntes de morter en comptes d'una. En el cas de les històriques les bipletes presenten una dilatació lleugerament superior que les tripletes.

Com s'ha vist als resultats tot i tenir avenços als materials emprats, els resultats segueixen presentant una dispersió molt gran.

4. Pressupost

A aquest apartat s'ha estimat els costos que requeriria un estudi d'aquesta magnitud. La inversió per a la realització d'aquest treball ha estat facilitada pel Departament de Resistència de Materials i Estructures i pel Laboratori per a la Innovació Tecnològica d'Estructures i Materials (LITEM).

El cost total calculat és de 13.405 €.

Per veure amb més detall aquest apartat, dirigeixi's al document "Pressupost" adjunt a aquest treball.

5. Impacte ambiental

Com es diu a l'abast del treball, no està inclòs el procediment detallat de tractament de residus.

Els residus més contaminants (derivats del ciment) continguts al morter han estat adequadament tractats pel personal del LITEM.

És possible calcular les emissions relacionades amb l'electricitat consumida a l'hora de realitzar els assajos. La totalitat d'hores d'assaig ha estat 11, tenint en compte una mitjana de 20 minuts per assaig i 33 assajos, ja que una proveta es va trencar durant la preparació.

L'energia consumida aproximada consumida durant la campanya ha estat la següent:

Taula 9. Relació entre consum d'energia i hores d'utilització

Màquina	Consum (kW)	Hores (h)	kWh
Actuadors	6	11	66
Dos Ordinadors	0,6	11	6,6
Monitor	0,4	11	4,4
		TOTAL (kWh)	77

Segons la Generalitat de Catalunya l'energia consumida de forma elèctrica a la península (al 2016) tenint en compte que provenen de diferents tipus de centrals s'associa a unes emissions de 308 g CO₂/kWh. [5]

De manera que les emissions associades als assajos realitzats durant la campanya son de:

$$77kWh \cdot 308 \frac{gCO_2}{kWh} = 23.716 g CO_2 = 23,716 kg CO_2$$

Les emissions associades a la realització de l'estudi és de 23,716 kg de CO₂.

6. Conclusions

A aquest treball s'ha pogut estudiar el comportament de l'obra de fàbrica quan és sotmès a un esforç de tallant tenint una pre-compressió inicial i constant.

S'ha plantejat un protocol de fabricació així com de preparació de les provetes que ha donat lloc al correcte desenvolupament dels assajos. El disseny de la instal·lació, adaptable a cada proveta, també va ser un element clau a l'hora d'experimentar.

S'ha desenvolupat una anàlisi econòmic dels recursos i una anàlisi de l'impacte ambiental.

Les conclusions se citen a continuació:

- Tant les biplotes com les triplotes segueixen la llei de la fricció de Mohr-Coulomb.

Aquesta llei, que relaciona l'esforç normal (pre-compressió) amb l'esforç tangencial (tallant), era una conclusió evident que representa una correcta experimentació obtenint bons coeficients d'ajust en les rectes de regressió.

- La cohesió ha augmentat en els espècimens moderns.

La cohesió és l'adherència que hi ha entre el morter i el maó. En major o menor mesura, l'avenç en el desenvolupament de nous materials i tècniques de fabricació fa que actualment hi hagi un major control sobre les propietats de cada element que es fabrica podent augmentar les seves propietats com es necessita.

- La cohesió és més elevada a les biplotes.

Aquest fenomen passa tant en les biplotes modernes com en les històriques. Això pot ser degut al fet que en tenir només una junta de morter la cohesió és major. Mentre que a les triplotes en tenir dues juntes, hi ha més possibilitat que una tingui algun tipus de defecte i per tant afecti els resultats.

- L'angle de fricció disminueix a les provetes modernes.

Una possible explicació és són els materials utilitzats. En el cas de les provetes històriques presenten una porositat més elevada a més d'una junta més gran d'un morter que està fabricat amb un àrid de diàmetre més petit. Això provoca que l'angle de fricció augmenti en vers a les provetes modernes on el maó és pràcticament llis i el morter té unes partícules de diàmetre més gran i per tant és més porós.

- A les biplotes l'angle de fricció disminueix significativament a les provetes modernes, mentre que augmenta lleugerament a les triplotes.

Com està explicat al paràgraf anterior, els materials utilitzats varien les propietats de cada espècimen. En el cas de les biplotes, una explicació és quin és l'element que més influeix sobre el comportament podria ser el maó. Al ser més rugós augmentaria l'angle

de fricció, mentre que en el cas de les tripletes l'element que dóna rugositat és el morter, obtenint un angle de fricció superior que la tripleta històrica.

- La dilatància és present a totes les provetes i és més significativa a les modernes.

Una possible explicació d'aquest fenomen està relacionada amb l'explicació de les conclusions extretes de l'angle de fricció. La porositat del maó i les dimensions inferiors del diàmetre de l'àrid del morter de les provetes històriques fa possible una millor reordenació de les partícules quan aquestes es desplacen a causa de l'esforç tallant, sense que es vegi una variació en l'àmbit global.

- L'optimització de la col·locació dels sensors és summament important.

La correcta col·locació dels sensors és el que permet tenir uns bons resultats a analitzar. La bona orientació dels mateixos juntament amb una bona subjecció ha estat un punt important a assolir durant aquest projecte.

- L'aplicació repartida dels esforços de tallant és més recomanable que aplicar esforços puntuals.

A l'aplicar esforços de manera puntual a un element ceràmic fa que aquest tingui tendència al trencament i que l'experimentació no sigui l'esperada. Al repartir la càrrega evitem aquest problema aconseguint una correcta experimentació.

La realització d'aquest treball ha permès assolir l'objectiu de caracteritzar el comportament de l'obra de fàbrica. Tot i així aquest és un camp on que s'ha d'aprofundir més. Al següent apartat es donen recomanacions en el cas de la continuació d'aquest estudi.

7. Següents passos

Els següents passos que s'haurien de seguir per poder aprofundir més en aquesta investigació han de tenir en compte els següents punts:

- Caracteritzar maons de diferents elements com ha sigut el cas en aquest treball dels "històrics i moderns", ja que així es poden fer comparacions dels materials relacionades amb propietats com la rugositat, absorció d'aigua, etc.
- Assajar amb diferents morters un mateix tipus de maó per poder comparar la interacció morter-maó.
- Augmentar el nombre d'espèimens a assajar a causa de la dispersió que es dona tant als materials com al procediment d'assaig.

8. Bibliografia

A aquest apartat es poden consultar les diferents fonts d'informació utilitzades per la realització d'aquest treball.

8.1. Fonts digitals

- [1] Basset L. (2016) Patología de las estructuras de fábrica: lesiones [en línia] <<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/68345/Basset%20-%20Patolog%C3%ADa%20de%20las%20estructuras%20de%20f%C3%A1brica%3A%20lesiones.pdf?sequence=1>>.
- [2] Pelà L, Kasioumi K., Roca P. (2017) Experimental evaluation of the shear strength of aerial lime mortar brickwork by standard tests on triplets and non-standard tests on core samples. *Engineering Structures*, 136, 441-453. [en línia] <https://www.researchgate.net/publication/312218965_Experimental_evaluation_of_the_shear_strength_of_aerial_lime_mortar_brickwork_by_standard_tests_on_triplets_and_non-standard_tests_on_core_samples>.
- [3] Viviescas A. Dirigida per Roca P. (2009) *Modelos simples para el análisis de muros de obra de fábrica cargados en su plano* (Tesi doctoral). Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona. [en línia] <<http://upcommons.upc.edu/handle/2117/93483>>.
- [4] Milosevic J., Lopes M., Bento R., Gago A. (2013) Experimental assessment of shear strength parameters on rubble stone masonry specimens. *Construction and Building Materials*, 47, (1372-1380). [en línia] <https://www.researchgate.net/publication/268925377_Experimental_assessment_of_shear_strength_parameters_on_rubble_stone_masonry_specimens>.
- [5] Generalitat de Catalunya. Factor de emisión asociado a la energía eléctrica: el mix eléctrico. [En línia] <http://canviclimatic.gencat.cat/es/reduceix_emissions/factors_demissio_associats_a_lenergia/>.

8.2. Fonts bibliogràfiques

- [6] AENOR. UNE-EN 1052-3:2002/A1:2008 "Mètodes d'assaig per obres de fàbrica. Part 3: Determinació de la resistència inicial a tallant". Madrid: 21 de Gener de 2008.