



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

Treball Fi de Grau

***Estudi experimental sobre la relació entre la velocitat d'assaig i  
les característiques mecàniques del material compost  
Textile Reinforced-Mortar***

*Autor:*

*Albert Rosell Colomer*

*Director:*

Ernest Bernat Masó

Codirector:

*Christian Escrig Pérez*

*Projecte Fi de Grau per a obtenir el títol de Grau en Enginyeria Mecànica*

Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa.  
Universitat Politècnica de Catalunya , *BarcelonaTECH*

Terrassa, Juny 2016



*Als meus pares, al meu germà i a la Mònica pel seu suport.*

*Al Dani per la companyia a les tardes de laboratori.*

*Dedicat especialment als meus avis.*



## Resum

En el present treball es pretén determinar la relació entre la velocitat d'assaig i les característiques mecàniques del material compost *Textile Reinforced-Mortar*.

El *textile reinforced-mortar* (TRM) és un material compost que combina teixits, fets de fibres de resistència a tracció elevada, i matrius de base cementítica.

Per assolir l'objectiu proposat s'ha realitzat una campanya experimental, on s'han assajat seixanta provetes. La meitat d'aquestes han estat reforçades amb una matriu de Basalt mentre que la resta han estat reforçades amb una matriu de Carboni.

Utilitzant les dades experimentals, s'han realitzat estudis analítics per a l'obtenció de les propietats mecàniques del TRM.

Els resultats mostren una tendència a la millora de la tensió de ruptura última amb l'increment de la velocitat.

Paraules clau: Morter reforçat amb teixits; Reforç; Assajos experimentals; Estudi analític; Velocitat d'assaig.

## Sumari

Capítol 1	Introducció i objectius.....	1
Capítol 2	Antecedents .....	2
	Textile Reinforced Mortar .....	2
Capítol 3	Metodologia .....	4
1.1	Introducció.....	4
1.2	Procediments previs .....	4
3.1.1.	Introducció.....	4
3.1.2.	Preparació motlles.....	4
3.1.3.	Preparació fibres .....	8
3.1.4.	Fabricació útils.....	11
3.1.5.	Preparació provetes.....	12
1.2.1.1	Preparació morter.....	12
Capítol 4	Campanya experimental .....	20
1.1	Introducció.....	20
1.2	Descripció dels assaigs .....	20
4.1.1.	Procediments previs .....	20
4.1.2.	Velocitats experimentals.....	22

4.1.3.	Descripció assaig amb mordaces .....	23
4.1.4.	Descripció assaig Clevis .....	26
1.3	Resultats i discussió .....	31
Capítol 5	Conclusions .....	58
	Bibliografia .....	60

## Llistat de Figures

Figura 1. Relació tensió-deformació de diferents tipus de fibra.....	2
Figura 2. Comportament general material compost TRM.....	3
Figura 3. Motlle per a les provetes.....	5
Figura 4. Plànol del motlle. ....	6
Figura 5. Preparació per a extracció: a) Elements utilitzats i b) Cinta plàstica ...	7
Figura 6. Aplicació cinta plàstica: a) Comparativa de superfícies i b) Procés realitzat.....	7
Figura 7. Disposició fibres: a) Carboni i b) Basalt .....	8
Figura 8. Rotllo de basalt i plantilla. ....	9
Figura 9. Desfilament dels extrems. ....	9
Figura 10. Tall amb cúter circular. ....	10
Figura 11. Diferents esquadres creades.....	11
Figura 12. Dimensions marcades a l'alumini.....	11
Figura 13. Dades del morter: a) Dades per a preparació i b) Dades tècniques	12
Figura 14. Mesura material: a) Mesura pes morter i b) Mesura pes aigua .....	13
Figura 15. Mescla de morter amb mescladora.....	14
Figura 16. Aplicació d'oli al motlle.....	15
Figura 17. Aplicació morter: a) Ús esquadra i b) Primera capa morter .....	15



Figura 18. Fibres reforç inferior.....	16
Figura 19. Segona capa proveta: a) Aplicació morter i b) Aplicació fibra .....	16
Figura 20. Aplicació tercera capa morter i fibra.....	17
Figura 21. Acabat superficial. ....	17
Figura 22. Anotació data: a) Basalt i b) Carboni .....	18
Figura 23. Motlle amb provetes curades.....	18
Figura 24. Extracció provetes: a) Inici extracció llistó i b) Extracció total llistó..	19
Figura 25. Marcatge provetes: a) Indicació material i data i b) Defecte provetes .....	19
Figura 26. Proveta marcada. ....	21
Figura 27. Polit de proveta.....	21
Figura 28. Polit d'un elastòmer. ....	23
Figura 29. Posició elastòmer. ....	24
Figura 30. Tancament mordaces: a) Posició desitjada i b) Posició no desitjada.....	25
Figura 31. Muntatge mordaces: a) marca i posició extensòmetre i b) Situació final .....	26
Figura 32. Preparació platines: a) Marcat i b) Efecte un cop desgastat .....	27
Figura 33. Suport per espècimens.....	27
Figura 34. Situació pesos sobre platines. ....	28

Figura 35. Conjunt Clevis: a) Sistema superior i b) Sistema inferior .....	29
Figura 36. Configuració general Clevis. ....	30
Figura 37. Corba idealitzada comportament TRM .....	32
Figura 38. Comparativa tensió ruptura morter amb fixació tipus Clevis.....	39
Figura 39. Comparativa tensió ruptura morter per fixació amb mordaces. ....	40
Figura 40. Comparativa mitjanes tensió ruptura morter per diferents mètodes de fixació. ....	40
Figura 41. Comparativa deformació ruptura morter amb fixació tipus Clevis....	41
Figura 42. Comparativa deformació ruptura morter per fixació amb mordaces. ....	42
Figura 43. Comparativa mitjanes deformació ruptura morter per diferents mètodes de fixació.....	42
Figura 44. Comparativa mòdul elàstic zona d'acció morter amb fixació tipus Clevis. ....	43
Figura 45. Comparativa mòdul elàstic zona d'acció morter per fixació amb mordaces. ....	44
Figura 46. Comparativa mitjanes mòdul elàstic zona d'acció morter per diferents mètodes de fixació. ....	44
Figura 47. Comparativa tensió ruptura última amb fixació tipus Clevis. ....	45
Figura 48. Comparativa tensió ruptura última fixació amb mordaces.....	46
Figura 49. Comparativa mitjanes tensió ruptura última per diferents mètodes de fixació. ....	46

Figura 50. Comparativa deformació ruptura última amb fixació tipus Clevis. ...	47
Figura 51. Comparativa deformació ruptura última fixació amb mordaces. ....	48
Figura 52. Comparativa mitjanes deformació ruptura última per diferents mètodes de fixació.....	48
Figura 53. Comparativa mòdul elàstic després del punt de transició fixació tipus Clevis.....	49
Figura 54. Comparativa mòdul elàstic després del punt de transició fixació amb mordaces.....	50
Figura 55. Comparativa mitjanes mòdul elàstic després del punt de transició per diferents mètodes de fixació. ....	50
Figura 56. Comparativa totes les velocitats: a) Clevis i b) Mordaces .....	51
Figura 57. Comparativa Clevis-Mordaces de V1.....	52
Figura 58. Comparativa Clevis-Mordaces de V2.....	53
Figura 59. Comparativa Clevis-Mordaces de V3.....	53
Figura 60. Comparativa Clevis-Mordaces de V4.....	54
Figura 61. Comparativa Clevis-Mordaces de V5.....	55
Figura 62. Comparativa V2-V4 fixació Clevis.....	55
Figura 63. Comparativa V2-V4 fixació amb mordaces.....	56
Figura 64. Comparativa V1-V5 fixació Clevis.....	57
Figura 65. Comparativa V1-V5 fixació amb mordaces.....	57

## Capítol 1 Introducció i objectius

En l'actualitat no existeix una metodologia concreta per a la caracterització de les propietats mecàniques del TRM com a material compost. Aquest fet dificulta els procediments de càlcul basats en les pròpies característiques del material compost de matriu cementílica.

El principal objectiu d'aquest treball es identificar les propietats mecàniques del material compost *Textile Reinforced-Mortar* i determinar si existeix una relació amb la velocitat d'assaig.

Per assolir l'objectiu proposat s'ha realitzat una campanya experimental, on s'han assajat a tracció seixanta provetes. La meitat d'aquestes han estat reforçades amb una matriu de Basalt mentre que la resta han estat reforçades amb una matriu de Carboni.

## Capítol 2 Antecedents

### Textile Reinforced Mortar

El *textile reinforced-mortar* (TRM) és un material compost que combina teixits, fets de fibres de resistència a tracció elevada, i matrius de base cementítica. Per a assegurar que la matriu de morter aconsegueixi penetrar i humitejar correctament les fibres aquestes s'agrupen en flocs flexibles i es distribueixen formant una malla unidireccional o bidireccional [1]. El TRM va ser dissenyat per actuar com a reforç exterior en elements estructurals amb el propòsit d'augmentar la seva resistència a tracció.

Els teixits poden ser de polímer, sintètics, metàl·lics, orgànics o d'altres materials [2]. La majoria d'aquestes fibres presenten un comportament elàstic lineal fins a ruptura, tal i com es pot veure en la Figura 1. La matriu conté fibres o microfibrilles de dimensions apropiades discontinues. Aquest tipus de construcció interna es considera una evolució del ferrocement [3].

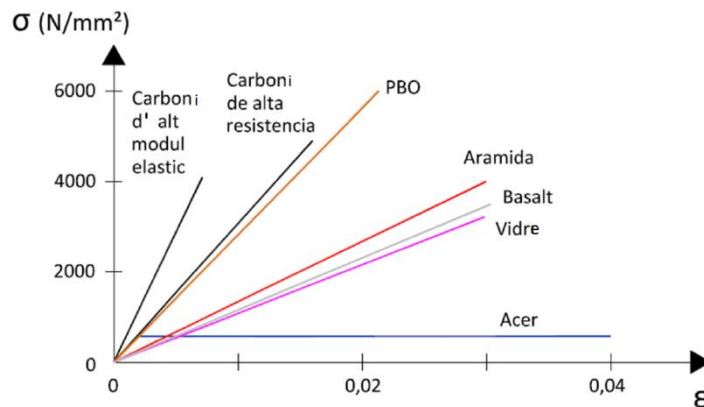


Figura 1. Relació tensió-deformació de diferents tipus de fibra.

Aquest material consisteix en una matriu de cement reforçada internament per malles metàl·liques soldades que tenen com a funció oferir resistència a tracció a l'element estructural. Posteriorment es va poder substituir les malles soldades per teixits de fibres amb una capacitat a la tracció superior a l'acer [4]. La principal diferència entre el ferrocement i el TRM es que el primer requereix múltiples capes de reforç [5].

Un dels principals avantatges que ofereix el TRM és la grana adaptació a diferents tipus de morfologies estructurals. Aquest fet es gràcies a la gran flexibilitat de la majoria de teixits, que permet ajustar-se a les formes de l'estructura que es vol reforçar.

El teixit del reforç es l'encarregat de proporcionar un increment de resistència a tracció a l'element reforçat, però limitat per la facultat del morter per a transmetre les tensions entre l'element estructural i la malla de fibres. Els morters aplicats en aquesta tècnica tendeixen a ser de base cementítica, amb un mida d'àrid recomanada de 2mm [6]. Aquest tipus de morters estan dissenyats per a maximitzar l'adherència, mitjançant l'adició de microfibres i químics additius [7]. Un altre mètode per a l'augment de transmissió de tensions entre la malla i la matriu és l'impregnació de les fibres amb productes químics [8] o recobriments polimèrics als flocs [9].

Diversos estudis [10] [11] han indicat que en general el TRM presenta un comportament com l'indicat a la Figura 2 . Aquest consta de dues parts ben diferenciades, el primer tram correspon al comportament previ del morter a la primera ruptura. Posteriorment hi ha un breu període d'adaptació, per a seguir amb un comportament lineal on entra en acció el teixit fins a la seva ruptura.

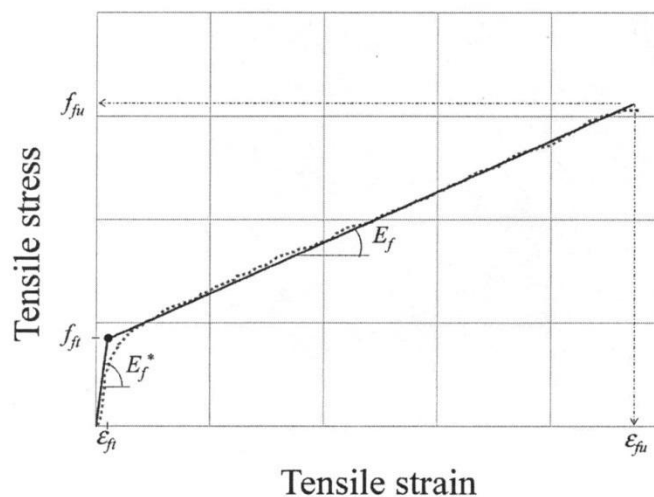


Figura 2. Comportament general material compost TRM.

# Capítol 3 Metodologia

## 1.1 Introducció

En aquest capítol es descriu la metodologia seguida per a la preparació de les provetes i el seu posterior assaig.

Es comença amb els procediments previs, on s'inclouen la preparació dels motlles, les fibres i les pròpies provetes.

Posteriorment s'explica la campanya experimental, descrivint l'assaig tenint en compte les diverses velocitats i el mètode de subjecció.

Com a punt final es mostren els resultats obtinguts i es realitza una comparativa entre ells.

## 1.2 Procediments previs

### 3.1.1. Introducció

En aquest apartat es descriu el procediment per a la fabricació de les provetes. Es té en compte la preparació dels motlles, la de les fibres internes i posteriorment la preparació del morter i la fabricació dels propis espèimens. També es descriuen els problemes sorgits durant tot el procés en les diverses fases.

### 3.1.2. Preparació motlles

Per a la correcte preparació de les provetes i garantir una certa continuïtat de propietats entre elles es van realitzar quatre motlles de fusta per a la realització de les seixanta provetes. Tal i com es mostra en la Figura 3 consten d'uns llistons clavats a una planxa de conglomerat.

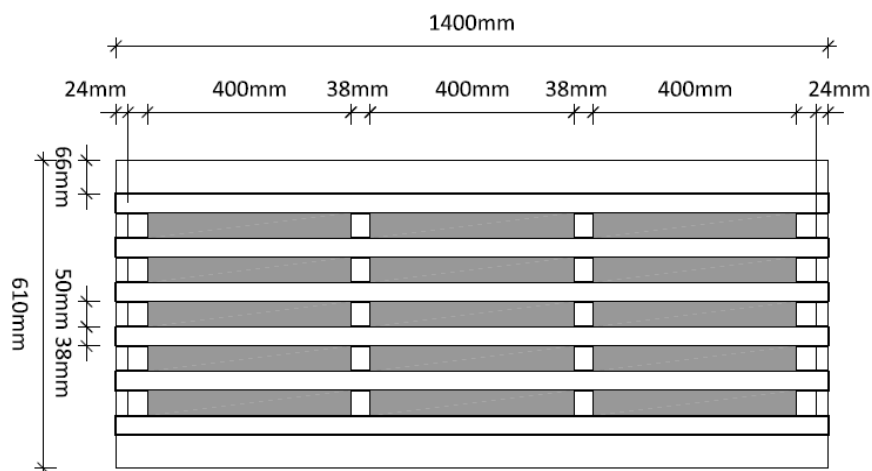


**Figura 3. Motlle per a les provetes.**

Seguint el plànol mostrat a la Figura 4 es van executar els motlles utilitzant els següents elements:

- Vint-i-quatre llistons de fusta de 1400x38x9 mm.
- Vuitanta llistons de fusta de 50x38x9 mm.
- Quatre suports de conglomerat de 1400x610x16 mm.
- Lima.
- Peu de rei.
- Cinta mètrica.
- Llapis.
- Claus.
- Martell.
- Estenalles.





**Figura 4. Plànol del motlle.**

Primer es va comprovar les mesures dels llistons subministrats amb el peu de rei, llimant per intentar ajustar a les mesures del plànol, conscients de tenir una precisió de mil·límetres a causa de l' utilització de la cinta mètrica. Així doncs primer es va situar un dels llistons més llarg al extrem marcant les distàncies sobre el suport de conglomerat, ajudats per el llapis i la cinta mètrica, i clavant amb suficients claus per a no tenir espais on es crees un pont.

Posteriorment els volien col·locar els llistons transversals però els llistons més petits no complien amb la longitud estipulada, tot i que si amb l'amplada, així que es va procedir a situar el primer com a referència i calcular la distància utilitzant la cinta mètrica, de 400 mm, respecte l'últim llistó col·locat.

Un cop finalitzats els quatre motlles es va discutir la forma d'extracció de les provetes. Per evitar la manipulació excessiva dels espècimens es va decidir recobrir la part inferior amb cinta plàstica que sobresortís pels extrems i així poder tibar i extreure-la. Per evitar que la cinta s'enganxés en excés a la fusta es va recobrir primer la superfície amb una capa de vaselina amb un pinzell per a garantir una uniformitat. (Figura 5)



a)

b)

**Figura 5. Preparació per a extracció: a) Elements utilitzats i b) Cinta plàstica**

Després del recobrint amb vaselina i amb l'ajuda d'un llistó de fusta amb la mida adequada es situa la cinta adhesiva, realitzant diverses passades per a extreure les petites bombolles d'aire que es puguin formar i l'excés de vaselina que pogués existir. (Figura 6)



a)

b)

**Figura 6. Aplicació cinta plàstica: a) Comparativa de superfícies i b) Procés realitzat**

### 3.1.3. Preparació fibres

Cal preparar trenta peces de cada material de 400x50 mm, que actuen com a reforç principal per tota la proveta i dues-centes quaranta peces de 120x50 mm, que actuen com a reforç als extrems. (Figura 7)

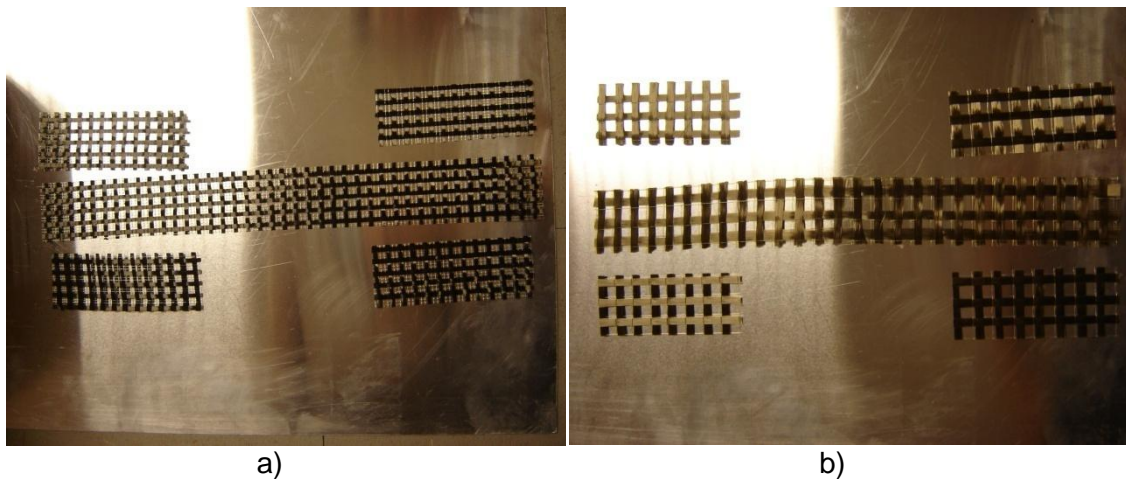


Figura 7. Disposició fibres: a) Carboni i b) Basalt

Es decideix començar amb les fibres de basalt. Després d'estudiar el rotlló d'on calia extreure-les, i realitzar unes plantilles de cartró amb les mesures correctes, es va procedir al tall en llargues tires amb unes tisores. És important l'ús de guants i bata en tot moment per evitar el contacte directe de les fibres amb la pell. (Figura 8)



**Figura 8. Rotllo de basalt i plantilla.**

Posteriorment utilitzant la plantilla es realitzaven talls a les llargues tires a quatre-cents mil·límetres. En aquest cas i com que els filaments sense polímer no es mantenien units, es va decidir realitzar els talls confinant les fibres mantenint el polímer en els extrems tot i no respectar totalment les mesures pensades inicialment. (Figura 9)



**Figura 9. Desfilament dels extrems.**

Després amb l'ajuda d'una mordaga es tensava la fibra per poder-la tallar amb les tisores.

Aquest era un procés molt lent, dificultós i amb una alta possibilitat d'error però es va trobar un mètode que millorava el resultat i optimitzava el temps.

Amb l'ajuda d'un cúter de fulla circular es va poder tallar sobre una superfície rígida amb una gran precisió i a bona velocitat, evitant errors, temps i per altre

banda la pèrdua de material. Es va utilitzant un regle metàl·lic per a guiar la fulla. A partir d'aquest punt ja es van tallar totes les fibres restants amb el cúter tal i com es veu a la Figura 10.



**Figura 10. Tall amb cúter circular.**

Cal destacar l'importància de que totes les fibres mantinguessin una constància, tenint totes el mateix nombre de filaments. En el cas del carboni va resultar més senzill ja que tenia una quantitat major de polímer unint les fibres i era més fàcil de tractar.



### 3.1.4. Fabricació útils

Per a la correcta execució de les diferents capes de morter era necessari un útil per a distribuir el morter a una certa distància mesurada i amb una certa rapidesa. Així doncs es va dissenyar i construir tres esquadres d'alumini per a aquesta causa. (Figura 11)

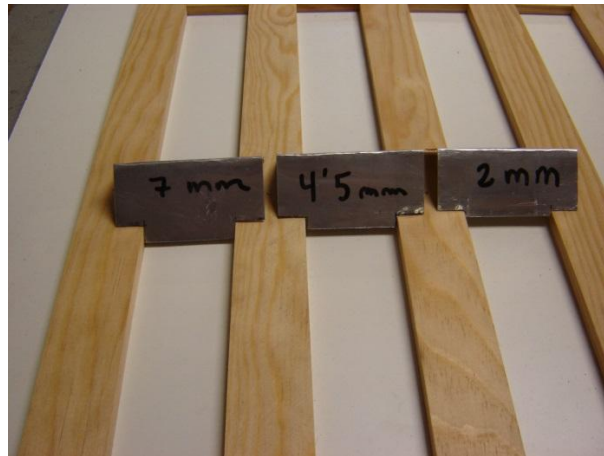


Figura 11. Diferents esquadres creades.

A partir d'una planxa d'alumini es van marcar les dimensions necessàries segons els plànols, previ el netejat amb acetona per eliminar possible brutícia i restes de grassa. (Figura 12)

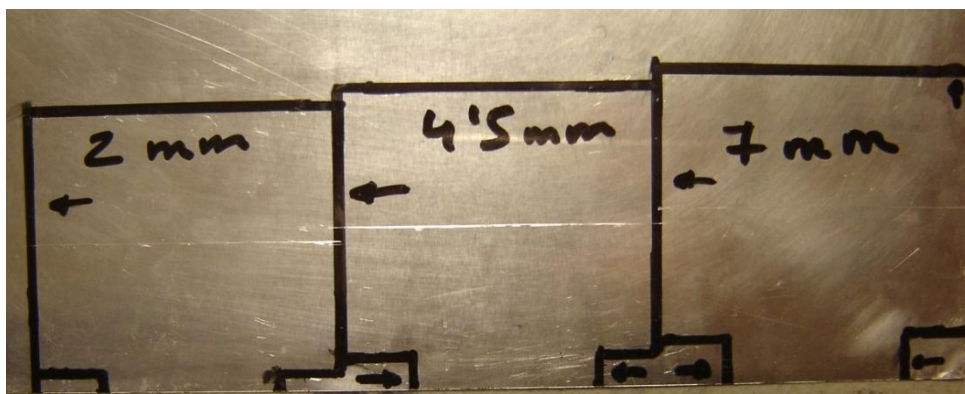


Figura 12. Dimensions marcades a l'alumini.

El tall de la planxa es va realitzar amb una serra manual i posteriorment per evitar els talls es va desbarbar les cantonades. Un cop realitzades les esquadres es va realitzar una prova amb un morter similar al finalment utilitzat per comprovar el seu correcte funcionament.

### 3.1.5. Preparació provetes

Abans de començar amb la preparació del morter cal considerar les especificacions de la proveta.

La profunditat total de la proveta és de 9 mm, tenint tres capes de fibra. Els reforços petits estan situats a 2 mm dels extrems així com el reforç principal està a al centre de la proveta.

Gràcies a les esquadres presentades anteriorment es pot distribuir el morter d'una forma eficaç i ràpida.

#### 1.2.1.1 Preparació morter

Per iniciar la preparació del morter cal mirar les especificacions d'ús d'aquest. Aquestes es troben al sac del propi morter, on s'indica la proporció d'aigua necessària. Tal i com es veu a la Figura 13 la proporció necessària per un litre és de 265g d'aigua i 1835g de Sika MonoTop.



Figura 13. Dades del morter: a) Dades per a preparació i b) Dades tècniques

Per a saber la quantitat total necessària de morter per motlle cal primer calcular el volum de totes les provetes.

$$\text{Volum provetes motlle} = 0.4m \cdot 0.05m \cdot 0.009m \cdot 15 = \frac{0.0027m^3}{\text{motlle}} = 2.7 L$$

Ara, i sabent la proporció necessària per un litre:

$$\text{grams Sika MonoTop} = \frac{2.7l \cdot 1835 g}{1l} = 4954.5 g$$

$$\text{grams d'aigua} = \frac{4954.5g \cdot 265g}{1835g} = 715.5 g$$

Un cop realitzats els càlculs es procedeix a mesurar el material necessari. Per a això s'utilitza una bascula electrònica tal i com es mostra a la Figura 14.



a)



b)

**Figura 14. Mesura material: a) Mesura pes morter i b) Mesura pes aigua**

Posteriorment es procedeix a la mescla del morter. Per a aquesta tasca s'utilitza una mescladora manual amb una punta helicoidal per al correcte moviment del morter i l'aigua. Tal i com es mostra a la Figura 15 cal procedir amb moviments constants i cíclics per a la barreja correcte del morter i l'aigua, fina a aconseguir la textura desitjada. Aquesta no ha de ser excessivament aquosa per a no perdre propietats, però tampoc massa solida per una correcte aplicació del morter.





**Figura 15. Mescla de morter amb mescladora.**

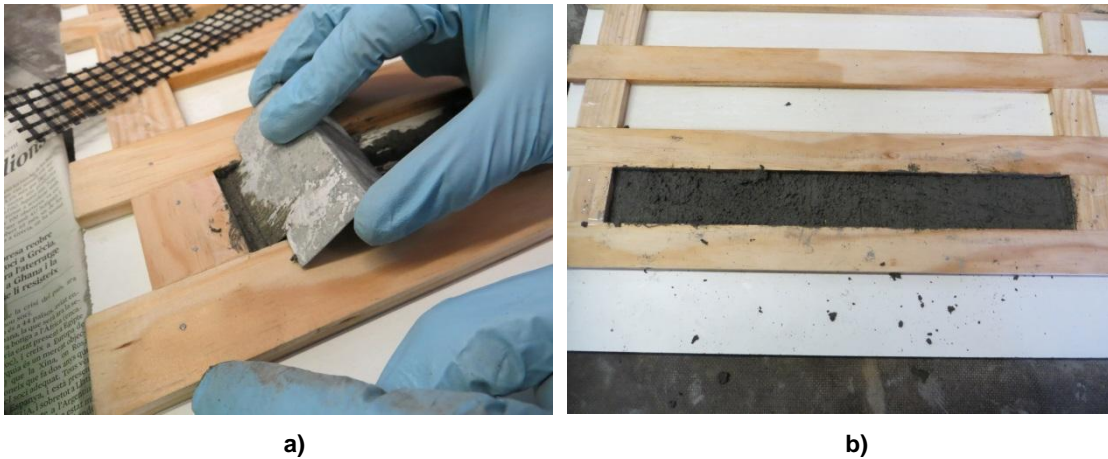
En el nostre cas es va requerir més quantitat de morter per a les possibles pèrdues de material al aplicar-lo. Per altre banda, i per obtenir les propietats descrites anteriorment, va ser necessària l'addició de més aigua de l'especificada per el fabricant.

Abans d'introduir el morter als motlles, i per evitar una possible absorció excessiva d'aigua per part de la fusta, i així perdre precisió, es va procedir a aplicar oli amb un pinzell per els voltants del motlle tal i com es mostra a la Figura 16.



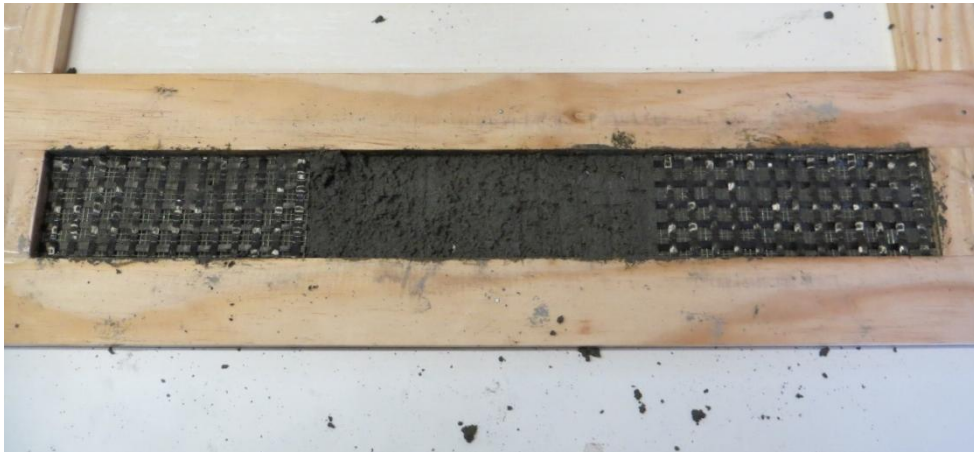
**Figura 16. Aplicació d'oli al motlle.**

Un cop tot era correcte es va procedir a omplir els motlles. Prèviament les fibres utilitzades es van preparar per agilitzar la feina i evitar el secat excessiu del morter. En un primer pas s'introduïa una quantitat suficient de morter al motlle, i amb l'esquadra com es veu en la Figura 17 a) s'extendia el morter realitzant un moviment de zig-zag. Aquest moviment era necessari ja que el morter presentava grans de fins a 1mm que comportaven una mala treballabilitat del mateix.



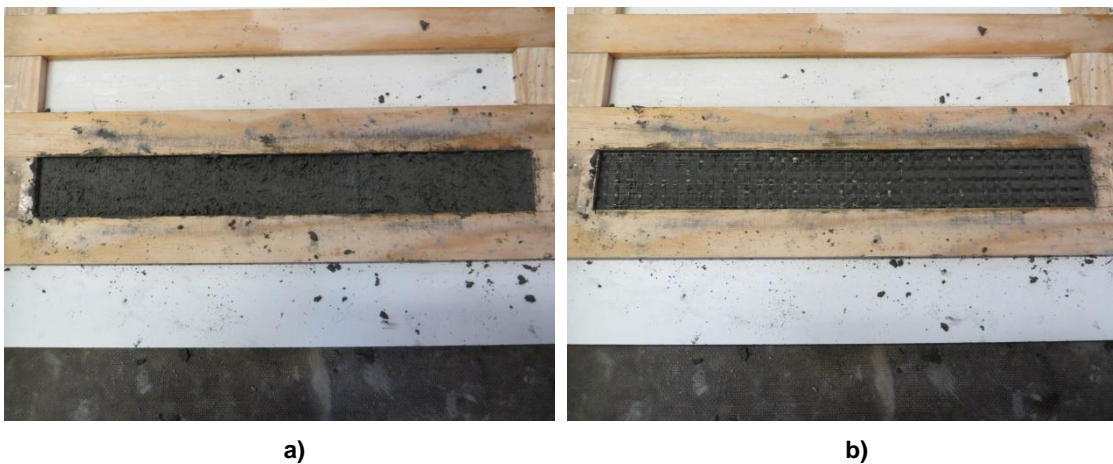
**Figura 17. Aplicació morter: a) Ús esquadra i b) Primera capa morter**

Un cop aplicada la primera capa es necessita una neteja per al ús posterior, abans que s'assequi el morter. Després ja es pot procedir a l'aplicació del primer reforç dels extrems (Figura 18), s'ha de realitzar curosament ja que és necessària una bona adherència entre el morter i la fibra. La falta d'aquesta podria causar lliscaments no desitjats.



**Figura 18. Fibres reforç inferior.**

Ja es pot procedir a la següent capa, aplicant més morter i extenent-lo amb la segona esquadra, de 4,5 mm. Posteriorment s'introdueix la fibra central, tenint cura d'una bona impregnació entre el morter i la fibra. Aquest procés es mostra a la Figura 19.



**Figura 19. Segona capa proveta: a) Aplicació morter i b) Aplicació fibra**

Un cop finalitzada aquesta capa es repeteix el procediment realitzat per a la primera, col·locant l'últim reforç als extrems. (Figura 20)



**Figura 20. Aplicació tercera capa morter i fibra**

En alguns casos, en els quals el morter no presentava bones condicions, al realitzar la tercera capa es tenia un gruix excessiu i calia extreure les diverses capes i repetir el procés, substituint les possibles parts danyades.

Finalment la aplicació de la capa exterior és de les més complicades ja que no es podia utilitzar una esquadra per a l'acabat final, ja que aquest cali que fos molt llis per a mantenir propietats.

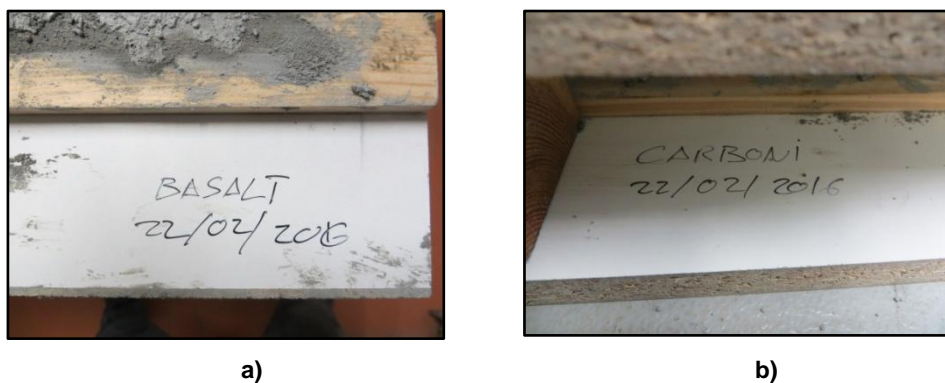
Es va procedir aplicant un excés de morter i enrasant amb una llana. Posteriorment, i un cop eliminat el morter excessiu, per aconseguir l'acabat desitjat s'utilitza una espàtula humida, evitant així l'aparició de porus o fissures. (Figura 21)



**Figura 21. Acabat superficial.**



Aquest procés realitzat per una de les provetes es repeteix per totes. Cal destacar que una proveta no pot contenir morters de diverses sessions de mescles, per mantenir les propietats en tota la proveta. Un cop finalitzat tot el motlle cal indicar la data de finalització per al control del temps de curat.



**Figura 22. Anotació data: a) Basalt i b) Carboni**

Després del temps de curat, de 28 dies, es va procedir a l'extracció dels espècimens dels motlles. El primer pas, amb l'ajuda d'una escarpa i un martell, és eliminar els excessos de morter de les vores de les provetes. (Figura 23)



**Figura 23. Motlle amb provetes curades.**

Un cop netejat el motlle es va intentar l'extracció amb l'ajuda de les tires de cinta plàstica. Això va ser un problema ja que amb l'aigua i el temps la cinta es va ressecat i era fràgil. Així doncs, era necessari un altre sistema d'extracció.

Va ser necessari desmuntar el motlle, però intentant no destruir-lo. Per a això es va extreure els petits llistons transversals amb ajuda d'una escarpa petita i un martell amb punta de goma. Amb molta cura, per no danyar les provetes, es va introduint l'escarpa fent pujar així el llistó fins que es pot extreure. Un cop extret es procedeix a realitzar el mateix amb la proveta. Un cop extreta la proveta d'un extrem es procedeix amb la de l'altre extrem i finalment la del mig, per a mes comoditat. Aquest procediment es veu a la Figura 24.



**Figura 24. Extracció provetes: a) Inici extracció llistó i b) Extracció total llistó**

Un cop extreta cadascuna de les provetes cal marcar-les i indicar si hi ha algun defecte visible. En el marcatge s'indica el material de la fibra i la data de fabricació, extreta del motllo on estava indicada.



**Figura 25. Marcatge provetes: a) Indicació material i data i b) Defecte provetes**

# Capítol 4 Campanya experimental

## 1.1 Introducció

En aquest capítol es pretén descriure les diverses característiques dels assaig realitzats. Aquestes són les diferents velocitats i el mètode d'encolatge a la màquina de tracció.

Per altra banda s'inclouen també el resum de resultats obtinguts durant els assaigs així com les diverses comparatives, juntament amb els càlculs previs realitzats.

## 1.2 Descripció dels assaigs

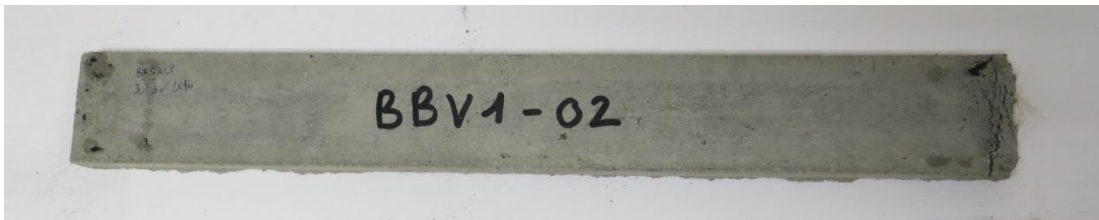
### 4.1.1. Procediments previs

Prèviament a iniciar les diverses proves es van marcar amb un codi les provetes per poder realitzar un bon seguiment (Figura 26). Aquest codi constava de les següents parts:

- Un primer element on s'indicava el material, essent la *B* per al Basalt i la *C* per al carboni.
- Un segon element on s'indicava el tipus de subjecció, essent la *A* per Clevis i la *B* per mordaces.
- Un tercer element on s'indicava la velocitat de l'assaig.
- Un quart element, precedit d'un guionet, on es numerava la proveta entre les tres que tenien les mateixes característiques.

Així doncs, i tenint en compte aquets criteris, direm que:

- La proveta BBV1-01 seria la primera del seu grup, amb fibra de basalt, utilitzant mordaces com a subjecció i a velocitat de 0.2 mm/min.
- La proveta CAV3-02 seria la segona del seu grup, amb fibra de carboni, utilitzant ancoratge Clevis i a velocitat de 5 mm/min.



**Figura 26. Proveta marcada.**

Un cop marcades les provetes es va procedir a eliminar petites imperfeccions per millorar l'execució de les proves. Aquest procediment es va realitzar amb una mola elèctrica circular tal i com es veu a la Figura 27. Principalment es van reduir les rebaves de l'exterior i es va refinar l'acabat superficial.



**Figura 27. Polit de proveta.**



### 4.1.2. Velocitats experimentals

Es van considerar diversos criteris per a decidir les velocitats utilitzades en els assajos, aquest espectre de velocitats es descriu a continuació.

Segons la directriu AC434 [12], per al control per desplaçament es recomana una velocitat de 0,2mm/min.

Segons la norma ASTM D5034-09 [13] es recomana, en els assajos de només teixits una velocitat de 300 mm/min. Tot i això a aquesta velocitat no es podria estudiar correctament el comportament del morter així doncs es va decidir baixar la velocitat màxima a 100 mm/min.

Les altres tres velocitats es van distribuir en el que va considerar el rang òptim per a l'obtenció de resultats del TRM, incrementant cinc cops respecte l'anterior.

Així doncs es van decidir utilitzar les següents velocitats d'assaig:

- V1 = 0.2 mm/min
- V2 = 1 mm/min
- V3 = 5 mm/min
- V4 = 25 mm/min
- V5 = 100 mm/min

Aquesta nomenclatura per a les velocitats es utilitzada al llarg de tota la campanya experimental.

### 4.1.3. Descripció assaig amb mordaces

L'assaig amb mordaces es caracteritza per, amb l'ajuda d'uns elastòmers entre les mordaces i la proveta, introduïm l'espècimen a la màquina de tracció i traccionem amb l'ajuda d'unes mordaces.

Els elastòmers dels que disposàvem eren excessivament gruixuts per a introduir-los juntament amb la proveta en les mordaces, ja que aquestes tenen un cert rang d'obertura.

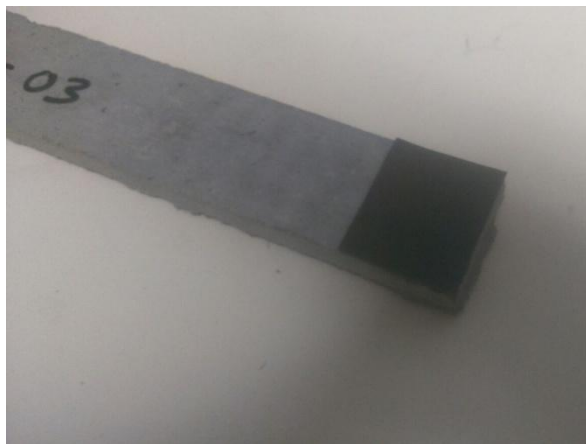
Així doncs es va procedir a rebaixar els elastòmers amb una polidora rotacional elèctrica, tal i com s'indica en la Figura 28. Amb l'ajuda d'unes estenalles es va rebaixar la superfície intentant mantenir una certa uniformitat.



Figura 28. Polit d'un elastòmer.

Un cop polits els elastòmers ja es va procedir a l'assaig. Per a cada una de les provetes es seguia el procediment descrit seguidament.

En primer lloc s'enganxaven, utilitzant petites gotes de cola d'impacte, els elastòmers als respectius extrems de les provetes. Això dona estabilitat al conjunt i permet situar i extreure l'espècimen sense preocupar-se dels elastòmers. (Figura 29)



**Figura 29. Posició elastòmer.**

Un cop situats els elastòmers ja es pot procedir a l' inserció de l'espècimen a les mordaces.

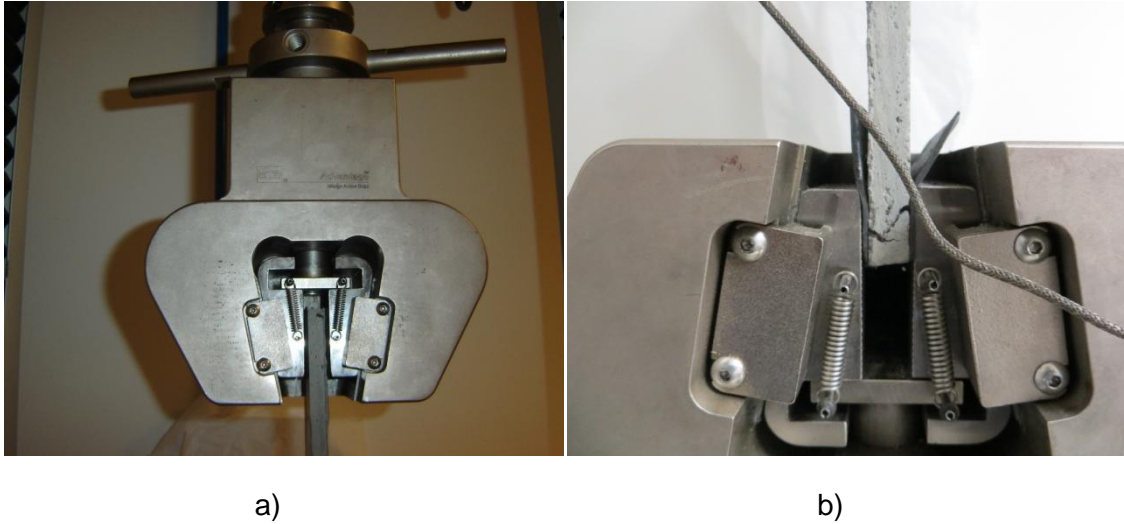
Primerament es puja el pont per a mantenir una distància amb la qual es pugui treballar amb tranquil·litat. Després s'introdueix la proveta a la mordaga inferior, a una distància on agafi tot l'elastòmer i tenint en compte que aquesta varia al tancar-se la mordaga, i mentres una persona subjecta la mordaga, l'altre la tanca.

Posteriorment cal baixar el pont lentament, tan analògica com digitalment, i comprovar que s'introdueixi la part superior de forma que no toqui les parets de les mordaces obertes.

En aquest punt es va veure clarament que les provetes formaven un arc, i per tant oferien dificultats alhora de introduir-les a ambdues mordaces sense forçar-les.

Així doncs el que es realitzava era una primera aproximació amb el pont superior, mentres l'elastòmer inferior estava totalment subjectat, i en cas de que es forces l'espècimen s'alliberava les mordaces inferiors i es reduïa la distància amb que es subjectava.

Això va causar en alguns casos problemes, on el pont que formava la proveta era excessiu i l'elastòmer no va transmetre les forces correctament, o alguns casos on es van fracturar les provetes abans de tancar del tot les mordaces. Aquest aspecte es veu clarament a la Figura 30.



**Figura 30. Tancament mordaces: a) Posició desitjada i b) Posició no desitjada**

Abans de començar l'assaig cal situar l'extensòmetre, i aquest s'ha de situar al centre de l'espècimen per a la correcte adquisició de dades. Per aquesta causa, un cop la proveta ja estava col·locada, primer es mesurava la distància entre les mordaces i es realitzava una marca indicant el centre.

Ja que la longitud de l'extensòmetre és de 5 cm cal situar les seves potes a 2,5 cm del centre, no de la proveta sinó de la distància entre mordaces. (Figura 31 a))

La configuració final del muntatge la podem veure a la Figura 31 b).



a)



b)

**Figura 31. Muntatge mordaces: a) marca i posició extensòmetre i b) Situació final**

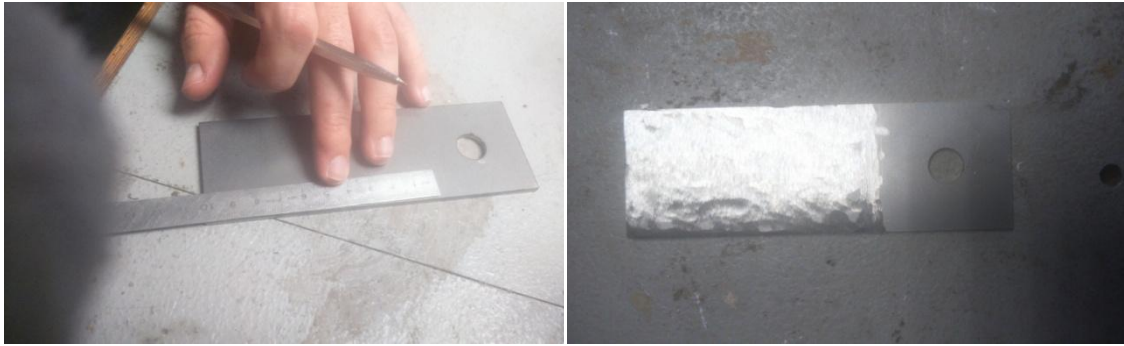
Un cop es comprova que tot el muntatge és correcte, es procedeix a comprovar que les dades introduïdes a l'ordinador, la velocitat, correspongui amb la proveta assajada.

Si tot es correcte es procedeix amb l'assaig.

#### **4.1.4. Descripció assaig Clevis**

El procediment previ per a realitzar l'assaig Clevis és més laboriós i lent que el de mordaces. En aquest cas cal enganxar unes platines d'ancoratge, utilitzant resina epoxy, als extrems de les provetes per a poder realitzar el seu assaig.

Inicialment cal la preparació de les platines, ja que tenen ambdues cares llises i podria afectar a l'adherència amb la proveta. Així doncs es procedeix a marcar una distància de 100 mm a les platines per al posterior desgastat. (Figura 32)



a)

b)

**Figura 32. Preparació platines: a) Marcat i b) Efecte un cop desgastat**

Un cop es tenen totes les platines desgastades es procedeix a l'enganxat amb les provetes. Per a això s'utilitza una fusta amb cargols a mode de guies on es poden situar, en dos nivells, fins a 10 espècimens. (Figura 33)



**Figura 33. Suport per espècimens.**

Posteriorment, i amb l'ajuda d'una pistola, s'aplica la resina epoxy i s'escampa amb una rascleta. Per evitar que la resina enganxi la platina amb la fusta es situen a sota uns trossos de paper vegetal.

Un cop aplicada la resina es situa la proveta i es fa el mateix procediment amb les platines superiors.

Cal destacar que al formar arcs les provetes van ser necessaris uns suports per a mantenir les platines inclinades.

També cal dir que degut a que la superfície superior no era perfectament llisa calia realitzar una revisió de les platines superiors, per si la resina estava correctament aplicada.

Un cop tot és correcte es situen pesos a sobre les platines per maximitzar la superfície de contacte amb la proveta. En el nostre cas es van situar 2 kg per platina, tal i com es pot veure a la Figura 34.



**Figura 34. Situació pesos sobre platines.**

Després d'un temps d'enduriment de dies ja es pot procedir a assajar les provetes.

El sistema per assajar està format d'una baga a l'extrem superior i dos cargols al inferior tal com es mostra a Figura 35





a)



b)

**Figura 35. Conjunt Clevis: a) Sistema superior i b) Sistema inferior**

Per començar fixem l'extrem superior, amb l'ajuda de la baga prèviament col·locada, deixant lliure l'exterior. Cal destacar que és important vigilar al cargolar ja que una excessiva força podria separar les platines i donar resultats incorrectes.

Un cop fixat l'extrem superior es procedeix a fixar l'inferior. Amb l'ajuda de dues claus angleses i les diverses femelles que formen el conjunt s'aconsegueix fixar l'espècimen sense forçar-lo. Això és especialment important en les femelles que estan directament en contacte amb les platines de la proveta.

Abans de començar l'assaig cal situar l'extensòmetre, i aquest s'ha de situar al centre de l'espècimen per a la correcta adquisició de dades. En aquest cas la distància a la que col·locar l'extensòmetre és el propi centre de la proveta, tot i així es va mesurar la distància entre platines, que per petits errors al muntatge era lleugerament diferent.

Ja que la longitud de l'extensòmetre és de 5 cm cal situar les seves potes a 2,5 cm del centre. (Figura 36)





**Figura 36. Configuració general Clevis.**

Un cop es comprova que tot el muntatge és correcte, es procedeix a comprovar que les dades introduïdes a l'ordinador, la velocitat, correspongui amb la proveta assajada.

Si tot es correcte es procedeix amb l'assaig.

### 1.3 Resultats i discussió

Abans de començar cal dir que tot i que s'ha explicat el procés realitzat tan per les provetes de basalt com de carboni, només es treballarà amb els resultats obtinguts de les de basalt.

Per altre banda, tot i que el tema de recerca principal és la velocitat es farà èmfasi també en el tipus de fixació utilitzada.

Les dades proporcionades per l'assaig necessiten un tractament previ ja que aquestes venen donades en Càrrega (N) – Desplaçament del pont (mm). Per a una correcte comparació es necessària la transformació a Tensió ( $\sigma$ ) – Deformació ( $\varepsilon$ ). El procediment per a realitzar aquesta transformació s'explica seguidament.

Per al càlcul de la Tensió s'utilitza la següent fórmula (1):

$$\sigma = \frac{\textit{càrrega}}{A_{\textit{teixit}} \cdot \textit{Ample proveta}} \quad (1)$$

on:

*càrrega* = Càrrega aplicada.

$A_{\textit{teixit}}$  = Gruix equivalent del teixit, en el nostre cas 0,053 mm

*Ample proveta* = 50 mm

Per al càlcul de la Deformació s'utilitza la següent fórmula (2):

$$\varepsilon = \frac{\text{recorregut pont}}{l_0 \text{ pont mitja}} \quad (2)$$

on:

*recorregut pont* = pont recorregut per la màquina de tracció.

*l<sub>0</sub> pont mitja* = mitja entre totes les *l<sub>0</sub>* mesurades, en el cas de fixació de mordaces és de 330,93 mm i en el cas fixació Clevis de 200,13 mm.

La *l<sub>0</sub>* en el cas de les mordaces es considera la distància mesurada entre mordaces.

La *l<sub>0</sub>* en el cas de fixació Clevis és la distància de la proveta lliure de platina.

Al ser un material compost el comportament del TRM consta de dues zones ben diferenciades. Tal i com es mostra a la Figura 26 hi ha sis elements que descriuen aquestes zones.

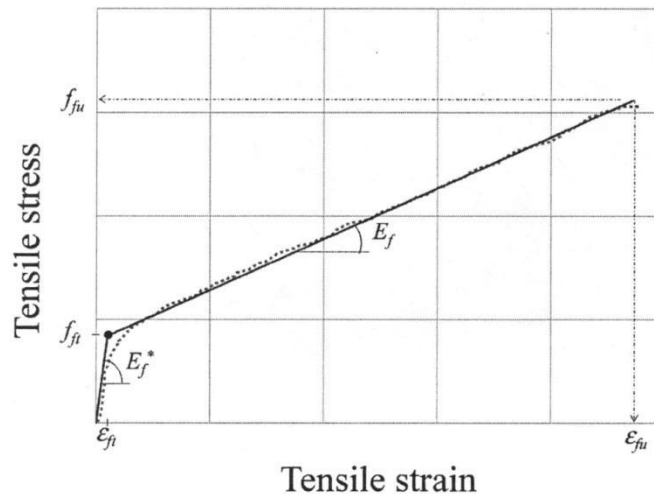


Figura 37. Corba idealitzada comportament TRM

on:

L'eix d'abscisses correspon a la deformació  $\varepsilon$ .

L'eix d'ordenades correspon a la tensió  $\sigma$ .

$E_i$  = Mòdul elàstic zona d'acció morter.

$f_{fi}$  = Tensió ruptura morter.

$\varepsilon_{fi}$  = Deformació ruptura morter.

$E_u$  = Mòdul elàstic zona d'acció teixit.

$f_{fu}$  = Tensió ruptura última.

$\varepsilon_{fu}$  = Deformació ruptura última.

Així doncs per a poder caracteritzar el comportament del TRM cal trobar aquets elements caracteritzadors.

La primera part de la corba, corresponent al comportament del morter, es caracteritza per un mòdul elàstic ( $E_i$ ) que correspon al pendent. El seu punt final, que correspon a la fractura del morter, està format per un punt amb components de tensió ( $f_{fi}$ ) i deformació ( $\varepsilon_{fi}$ ). Aquest es el punt de transició amb la següent part.

La segona part de la corba, corresponent ja a l'actuació del teixit, es caracteritza per un mòdul elàstic ( $E_u$ ), que correspon al pendent. El seu punt final, que correspon a la ruptura del teixit, està format per un punt amb components de tensió ( $f_{fu}$ ) i deformació ( $\varepsilon_{fu}$ ) últimes.

Inicialment, per al càlcul de la primera zona de la corba es volia utilitzar les dades extrems de l'extensòmetre. Aquesta zona és més curta i es desenvolupa en poc temps i l'extensòmetre permetria una bona precisió. Un cop el morter fos fracturat l'extensòmetre seria susceptible a errors degut a la possibilitat d'una ruptura fora de la zona de mesurament.

A partir d'aquest punt es passaria a utilitzar el recorregut del pont, realitzant els ajustos pertinents per coincidir amb les dades del extensòmetre, ja que aquest no rep cap tipus d'influència de les possibles fractures del morter.

Tot i aquesta idea inicial aquest procediment no ha estat possible ja que l'extensòmetre no va funcionar correctament. Per un mal funcionament de l'aparell no va ser possible l'extracció correcta de dades al realitzar l'assaig.

Així doncs finalment les dades s'han extret únicament tenint en compte el moviment del pont, causant una pèrdua de precisió en el primer tram.

Prèviament a la recerca de les característiques s'han creat gràfiques individuals del comportament de totes les provetes. Això ha facilitat la visualització de tots els punts buscats.

Per a l'obtenció de les característiques de la primera zona en primer lloc s'ha identificat el punt de ruptura del morter ( $f_{fi}$  i  $\varepsilon_{fi}$ ). Aquest punt s'identifica fàcilment ja que just després hi ha una davallada de tensió. Per al càlcul del mòdul elàstic ( $E_i$ ) s'ha creat una recta de regressió des de el punt inicial fins al punt de ruptura del morter, el pendent d'aquesta recta és el mòdul elàstic segons l'equació (3).

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (3)$$

Per a identificar el punt de ruptura del teixit s'ha buscat el punt màxim de les dades obtingudes, així doncs la tensió i deformació d'aquest punt correspondria a la tensió i deformació últimes ( $f_{fu}$  i  $\varepsilon_{fu}$  respectivament).

Seguint la normativa ACI 549 [14] es procedeix a calcular el mòdul elàstic  $E_u$ . Es segueix la següent fórmula (4):

$$E_u = \frac{0,9 \cdot f_{fu} - 0,6 \cdot f_{fu}}{\varepsilon_{0,9 \cdot f_{fu}} - \varepsilon_{0,6 \cdot f_{fu}}} \quad (4)$$

Com es pot observar cal calcular prèviament el 90% i el 60% del valor últim, buscant posteriorment el valor de deformació corresponent.

La Taula 1, per a la fixació tipus Clevis, i la Taula 2, per a fixació amb mordaces, mostra el resum dels resultats obtinguts en la campanya de caracterització del TRM. S'hi inclou el mòdul elàstic zona d'acció morter ( $E_i$ ), la tensió de ruptura del morter ( $f_{fi}$ ), la deformació de ruptura del morter ( $\varepsilon_{fi}$ ), el mòdul elàstic en la zona d'acció del teixit ( $E_u$ ), la tensió de ruptura última ( $f_{fu}$ ) i finalment la deformació ruptura última ( $\varepsilon_{fu}$ ). També hi apareixen els diferents modes de falla dels espècimens i la zona de trencament.

Espècimen	Mode de Falla	Zona ruptura	$f_{fi}$	$\varepsilon_{fi}$	$E_i$	$f_{fu}$	$\varepsilon_{fu}$	$E_u$
			(MPa)		(MPa)		(MPa)	(MPa)
BAV1-01	1	B	402,64	0,00755	103972	497,36	0,02290	66063
BAV1-02	1	B	181,51	0,01464	83039	396,98	0,03226	108267
BAV1-03	1	B	364,15	0,00269	136218	496,60	0,01057	91681
BAV2-01	1	A	457,36	0,00629	133694	486,04	0,02228	31110
BAV2-02	1	A	356,98	0,00550	74738	511,32	0,01743	18628
BAV2-03	4	B	385,66	0,00677	131616	646,04	0,02510	53500
BAV3-01**	1	B	205,28	0,00358	80410	643,40	0,02963	11922
BAV3-02	1	B	293,96	0,00291	110914	743,40	0,03072	24165
BAV3-03	2	B	293,58	0,00516	105870	534,34	0,01675	24067
BAV4-01	3	A	222,64	0,00625	99648	518,87	0,02598	14382
BAV4-02	1	B	212,83	0,00474	78775	536,23	0,02298	12307
BAV4-03	1	B	312,08	0,00661	85360	543,40	0,02984	15662
BAV5-01**	2	B	154,72	0,00616	67516	696,98	0,03431	41888
BAV5-02	2	B	312,08	0,00649	87271	530,19	0,02515	39790
BAV5-03*	1	A	399,25	0,00974	58932	570,94	0,02124	32157

(A) Ruptura centre, (B) Ruptura frontera reforç, (1) Ruptura total fibres, (2) Ruptura parcial fibres, (3) Fisuració múltiple i ruptura total de fibres, (4) Fisuració múltiple i ruptura parcial de fibres, (\*) Prefisuració, (\*\*) Placa subjecció despresa.

Taula 1. Resum de resultats de provetes de TRM assajades amb fixació Clevis.

Espècimen	Mode de Falla	Zona ruptura	$f_{fi}$	$\varepsilon_{fi}$	$E_i$	$f_{fu}$	$\varepsilon_{fu}$	$E_u$
			(MPa)		(MPa)		(MPa)	(MPa)
BBV1-01	2	A	370,94	0,00342	101646	370,94	0,00834	65296
BBV1-02	1	C	433,21	0,00693	57507	455,09	0,01414	46056
BBV1-03	1	B	340,38	0,00185	171120	411,70	0,00923	40589
BBV2-01	2	B	328,30	0,00310	100550	406,04	0,01388	10724
BBV2-02	3	B	344,15	0,00332	96645	516,23	0,01119	53386
BBV2-03	4	B	482,64	0,00367	123845	486,79	0,01048	18609
BBV3-01	3	A	448,30	0,00470	89619	556,98	0,01473	41082
BBV3-02	3	B	416,60	0,00329	120862	565,28	0,01292	120862
BBV3-03	3	B	386,04	0,00315	113949	494,34	0,01201	113949
BBV4-01	3	B	469,06	0,00282	155033	620,38	0,01279	61590
BBV4-02	3	A	429,06	0,00331	121914	516,98	0,01162	33480
BBV4-03	3	B	379,25	0,00260	139953	695,47	0,01327	60941
BBV5-01*	3	A	541,51	0,00654	76830	696,98	0,01157	44490
BBV5-02	3	A	502,26	0,00280	175671	530,19	0,01147	51192
BBV5-03*	4	B	424,91	0,00377	112041	570,94	0,01687	22017

(A) Ruptura centre, (B) Ruptura frontera reforç, (C) Ruptura per mordaces, (1) Ruptura total fibres, (2) Ruptura parcial fibres, (3) Fisuració múltiple i ruptura total de fibres, (4) Fisuració múltiple i ruptura parcial de fibres, (\*) Prefisuració.

Taula 2. Resum de resultats de provetes de TRM assajades amb mordaces.



Observant els resultats es pot veure que pràcticament totes les provetes han trencat fora de les zones de fixació. El cas aïllat de trencament per les mordaces es degut a que la proveta estava fortament arquejada, fet que va obligar a subjectar-la amb una superfície insuficient.

Per altre banda cal destacar la gran quantitat d'espècimens que han fracturat per la zona on residia la frontera amb el reforç. En el nostre cas particular en que no s'han pogut utilitzar les dades de l'extensòmetre no ha tingut cap conseqüència, però caldria modificar la forma en futures investigacions si es vol usar l'extensòmetre.

Cal destacar també que la majoria d'espècimens han trencat totalment les fibres. Així doncs es pot dir que en general la distribució de tensions per tota la proveta ha sigut correcte, donant un bon comportament en aquest aspecte en els dos mètodes de subjecció.

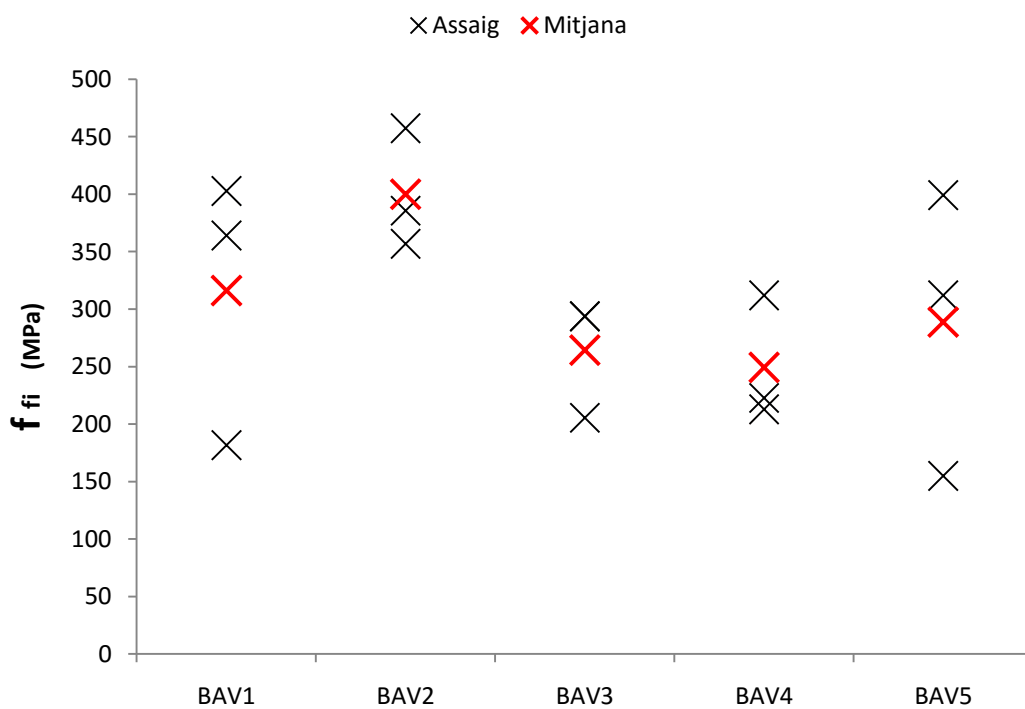
Un cop vist els resultats en general es pot procedir a comparar les sis característiques calculades. En les següents gràfiques es pot veure cadascuna de les propietats per separat per observar la seva evolució entre les diverses velocitats, separant resultats per tipus de fixació.

En aquestes gràfiques es podrà veure la característica a comparar a l'eix d'ordenades. En l'eix d'abscisses trobem les cinc velocitats diferents dels assaig. Veiem també els resultats obtinguts en negre i la mitjana per a cadascuna de les velocitats en vermell.

Es podrà veure les gràfiques dels dos tipus de fixacions i posteriorment es comentaran i compararan per a extreure una conclusió.

Procedim ara a comentar els resultats obtinguts. Cal recordar que totes les dades són tractades sense utilitzar l'extensòmetre. Això afecta als resultats fins al punt de ruptura del morter, especialment a altes velocitats.

La Figura 38 mostra els resultats de la tensió de ruptura utilitzant la fixació de tipus Clevis en les diferents velocitats. Tal i com es pot observar els resultats obtinguts són molt dispersos, on no es pot veure una tendència clara.



**Figura 38. Comparativa tensió ruptura morter amb fixació tipus Clevis.**

La Figura 39 mostra els resultats de la tensió de ruptura utilitzant la fixació amb mordaces en les diferents velocitats. Tal i com es pot observar la tensió de ruptura del morter presenta un comportament ascendent.

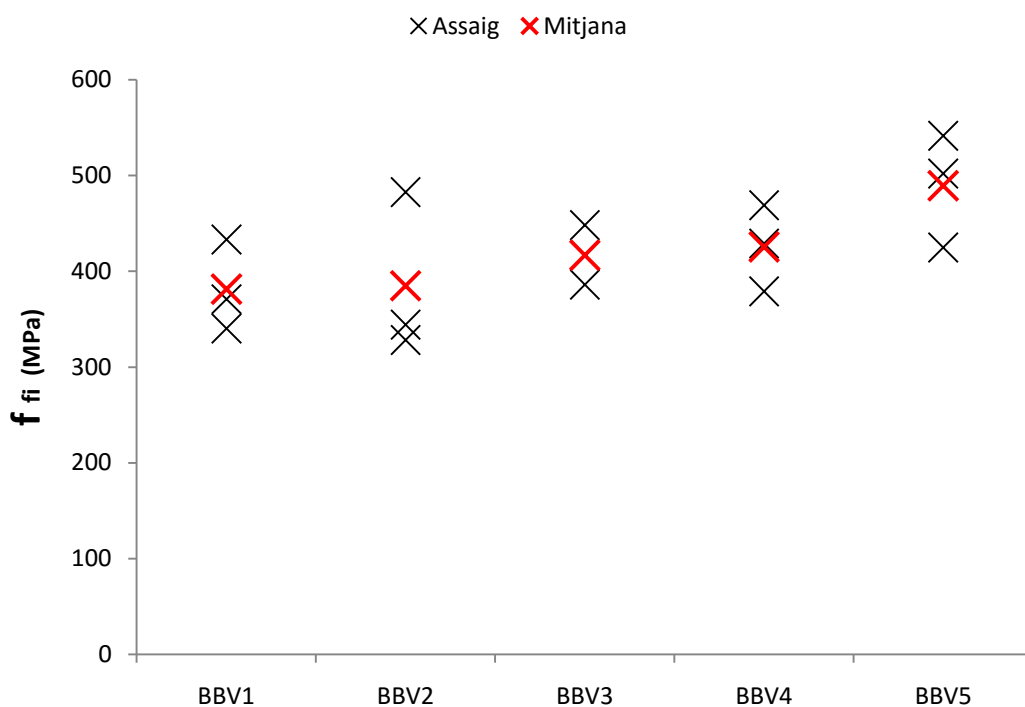


Figura 39. Comparativa tensió ruptura morter per fixació amb mordaces.

Per altre banda és pot veure a la Figura 40 una dispersió a les primeres dades obtingudes en l'assaig Clevis. Podríem dir aleshores que pel que respecta a la tensió de ruptura del morter les fixacions amb mordaces donen uns resultats més alts i constants.

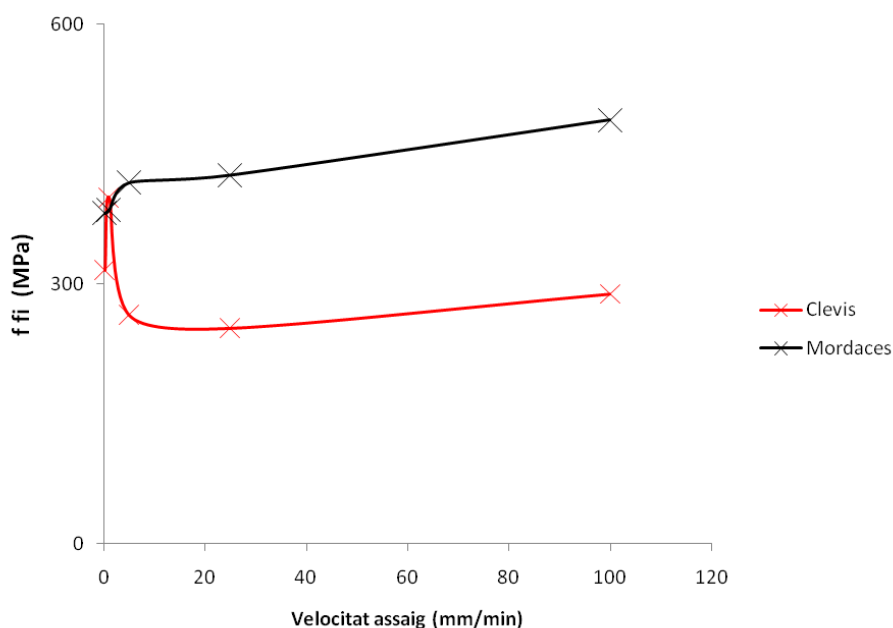
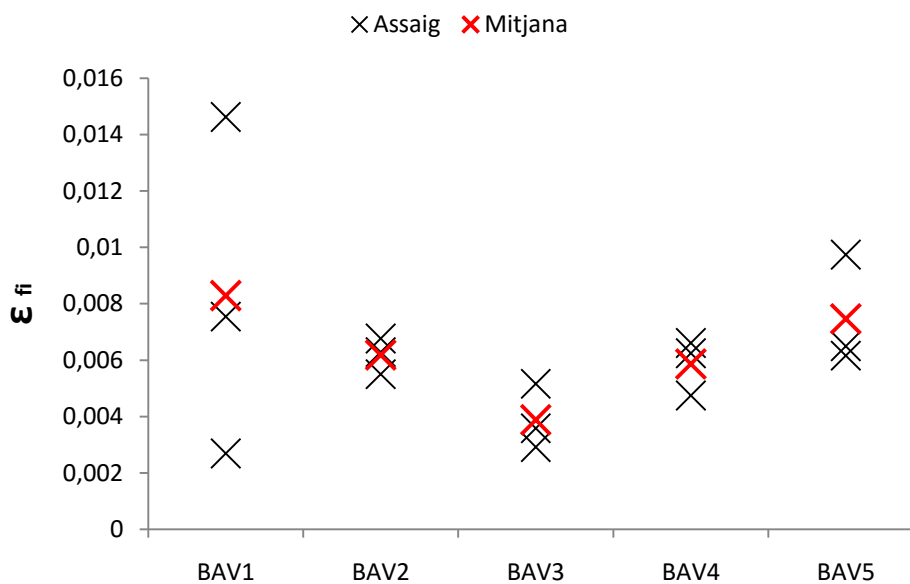


Figura 40. Comparativa mitjanes tensió ruptura morter per diferents mètodes de fixació.

La Figura 41 mostra els resultats de la deformació de ruptura utilitzant la fixació de tipus Clevis en les diferents velocitats. Es pot observar una disminució del valor de la deformació fins a V3 (5 mm/min), per posteriorment augmentar fins a valors similars als inicials. Així doncs les velocitats de V1 (0,2 mm/min) i V5 (100 mm/min) presenten valors similars. Succeeix d'una forma similar amb V2 (1 mm/min) i V4 (25 mm/min).



**Figura 41. Comparativa deformació ruptura morter amb fixació tipus Clevis.**

La Figura 42 mostra els resultats de la deformació de ruptura utilitzant la fixació amb mordaces de les diferents velocitats. Es pot observar que la deformació de ruptura del morter es manté constant. Tot i això cal destacar la dispersió de resultats en la velocitat màxima (V5) i mínima (V1).

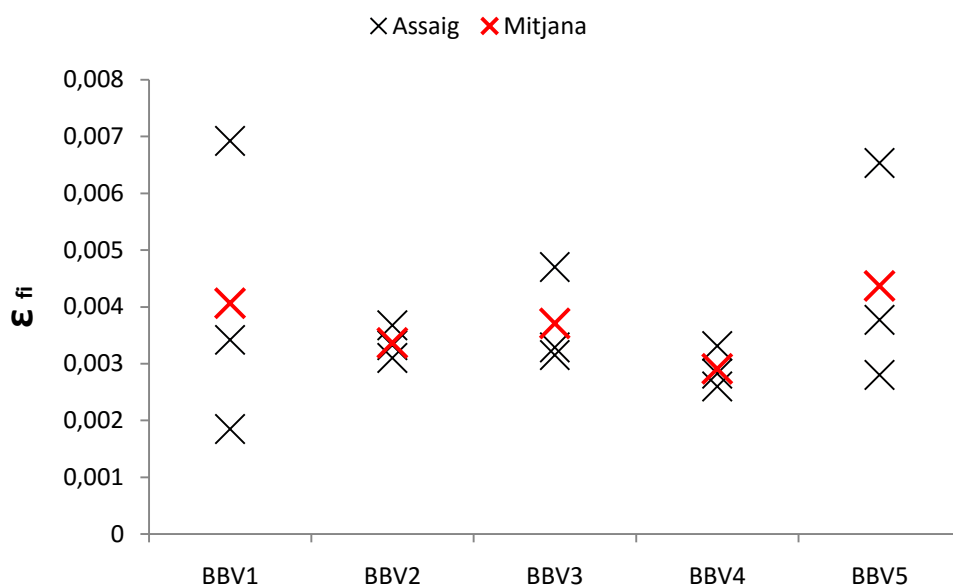


Figura 42. Comparativa deformació ruptura morter per fixació amb mordaces.

Es pot observar a la Figura 43 que els valors obtinguts en els dos tipus de fixació són molt similars. Es veu una davallada inicial a velocitats baixes per augmentar lleugerament després.

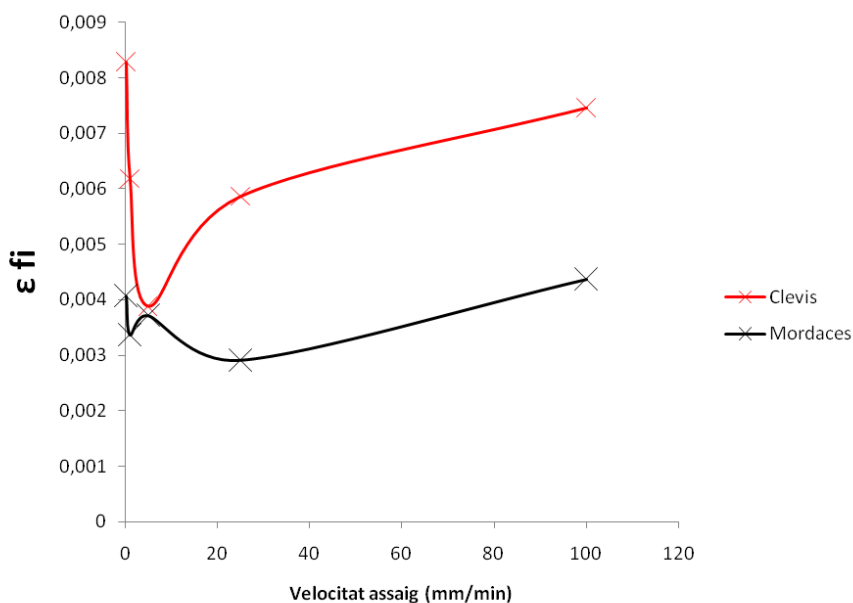
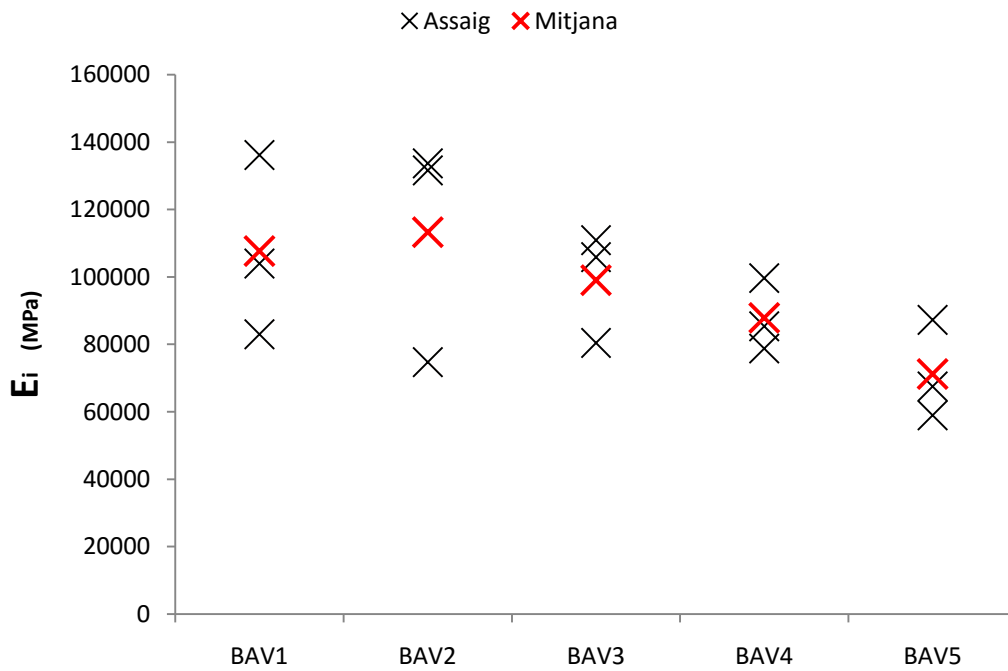


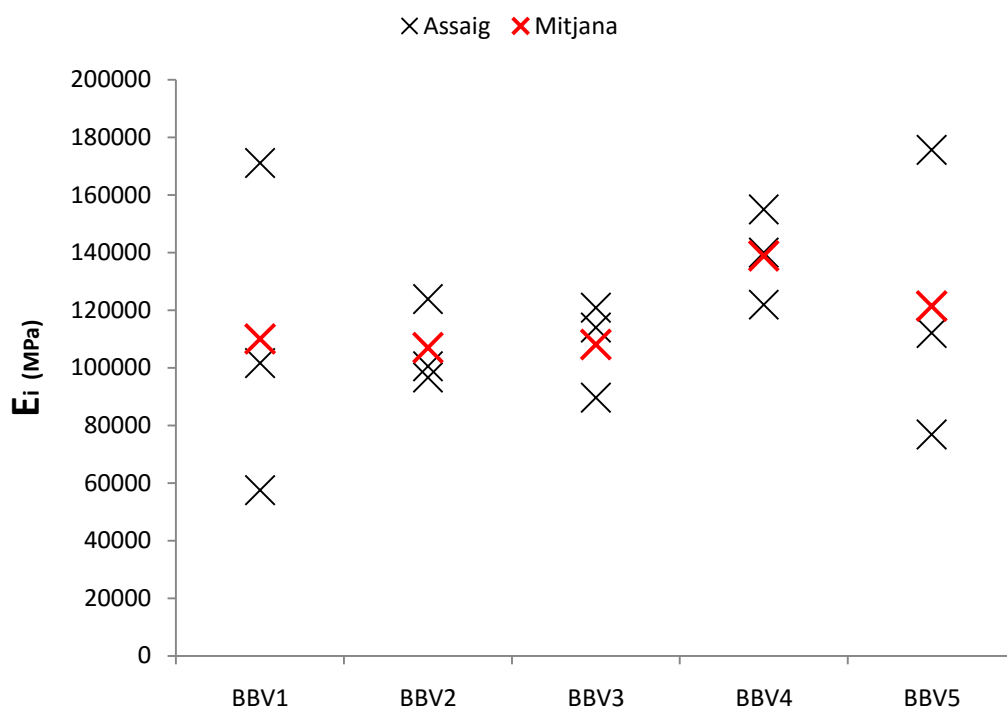
Figura 43. Comparativa mitjanes deformació ruptura morter per diferents mètodes de fixació.

La Figura 44 mostra els resultats del mòdul elàstic de la zona d'acció del morter utilitzant la fixació de tipus Clevis en les diferents velocitats. Es pot observar que el mòdul de Young disminueix conforma augmenta la velocitat, previ petit augment en V2 (1 mm/min). Podem veure també que conforme va augmentant la velocitat les dades pateixen una dispersió menor.



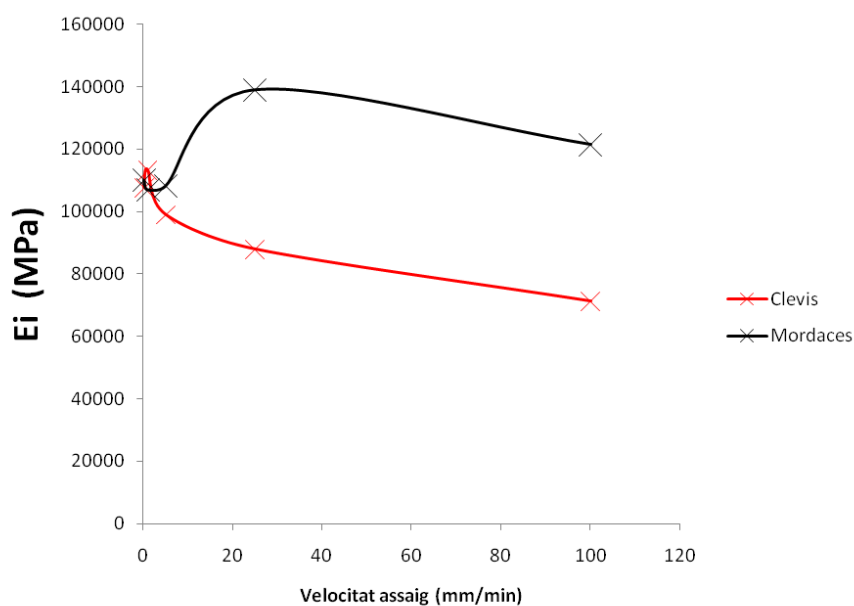
**Figura 44. Comparativa mòdul elàstic zona d'acció morter amb fixació tipus Clevis.**

La Figura 45 mostra els resultats del mòdul elàstic de la zona d'acció del morter utilitzant la fixació amb mordaces en les diferents velocitats. Es pot observar que el mòdul de Young del morter en la fase inicial es manté constant. En aquest cas observem una forta dispersió en els resultats de les velocitats més extremes, la V1 i la V5.



**Figura 45. Comparativa mòdul elàstic zona d'acció morter per fixació amb mordaces.**

Es pot observar a la Figura 46 que els valors obtinguts en els dos tipus de fixació són del mateix ordre de magnitud, donant valors superiors en fixació per mordaces. Tot i això per la oscil·lació de les dades no podríem determinar un comportament general.



**Figura 46. Comparativa mitjanes mòdul elàstic zona d'acció morter per diferents mètodes de fixació.**

La Figura 47 mostra els resultats de la tensió de ruptura última utilitzant la fixació de tipus Clevis en les diferents velocitats. Tal i com es pot observar la tensió última de ruptura presenta un comportament ascendent en les tres primeres velocitats, de 0,2 a 5 mm/min, i tendeix a quedar-se constant a partir d'aquest punt, tal i com es mostra a les velocitats V4 i V5, de 25 i 100 mm/min respectivament.

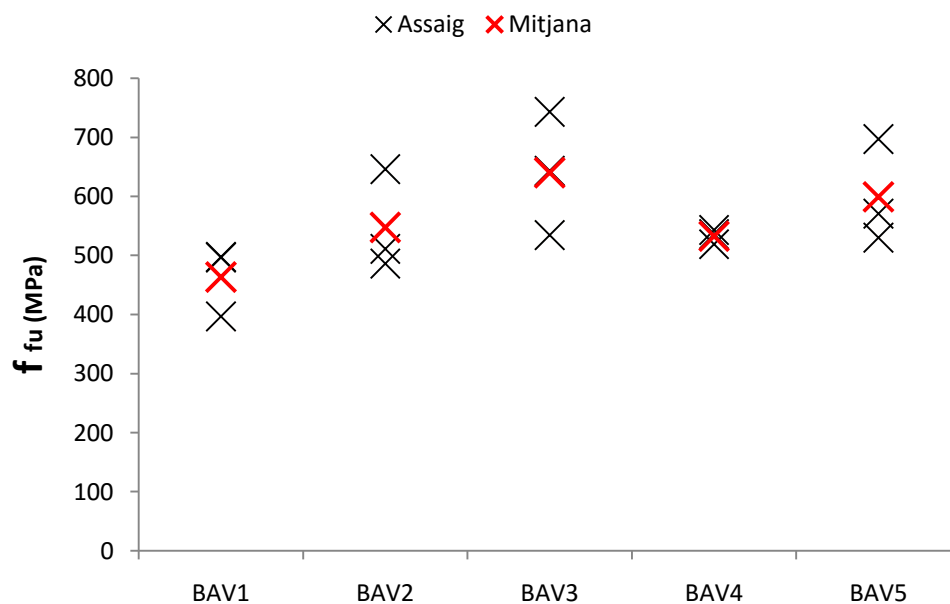
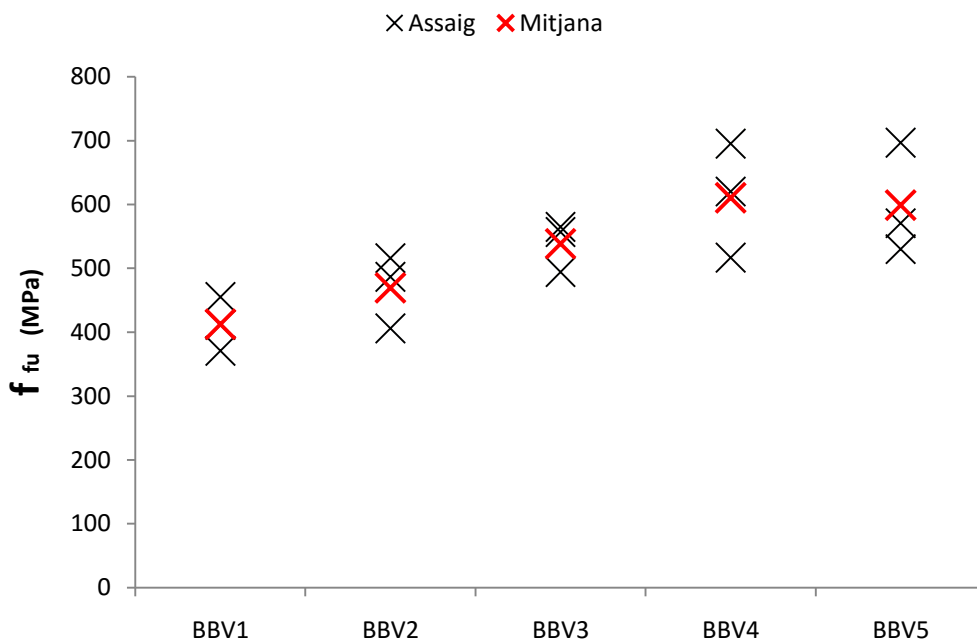


Figura 47. Comparativa tensió ruptura última amb fixació tipus Clevis.

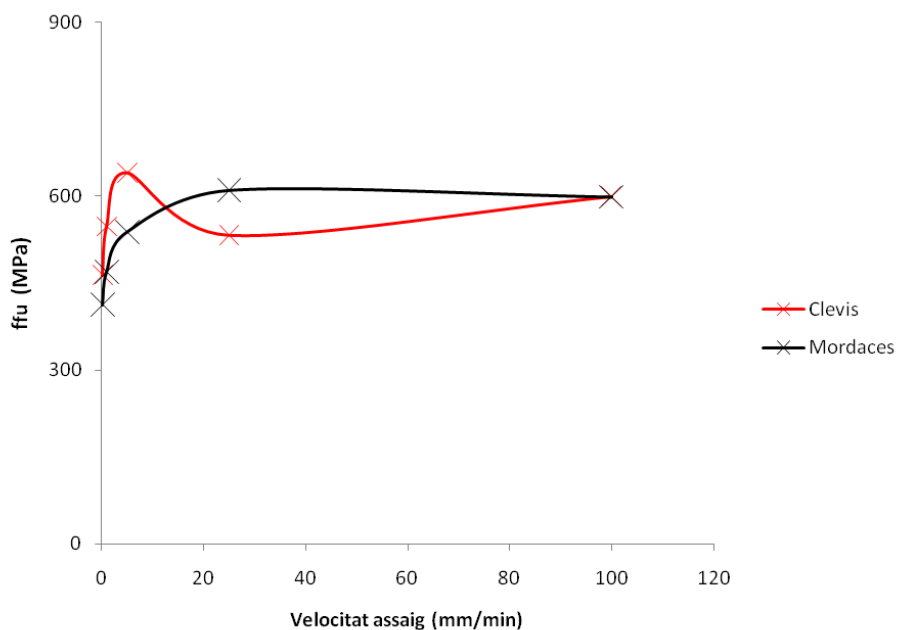
La Figura 48 mostra els resultats de la tensió de ruptura última utilitzant la fixació amb mordaces en les diferents velocitats. Tal i com es pot observar la tensió de ruptura última té un comportament ascendent fins a la velocitat V4, per després establir-se a V5.





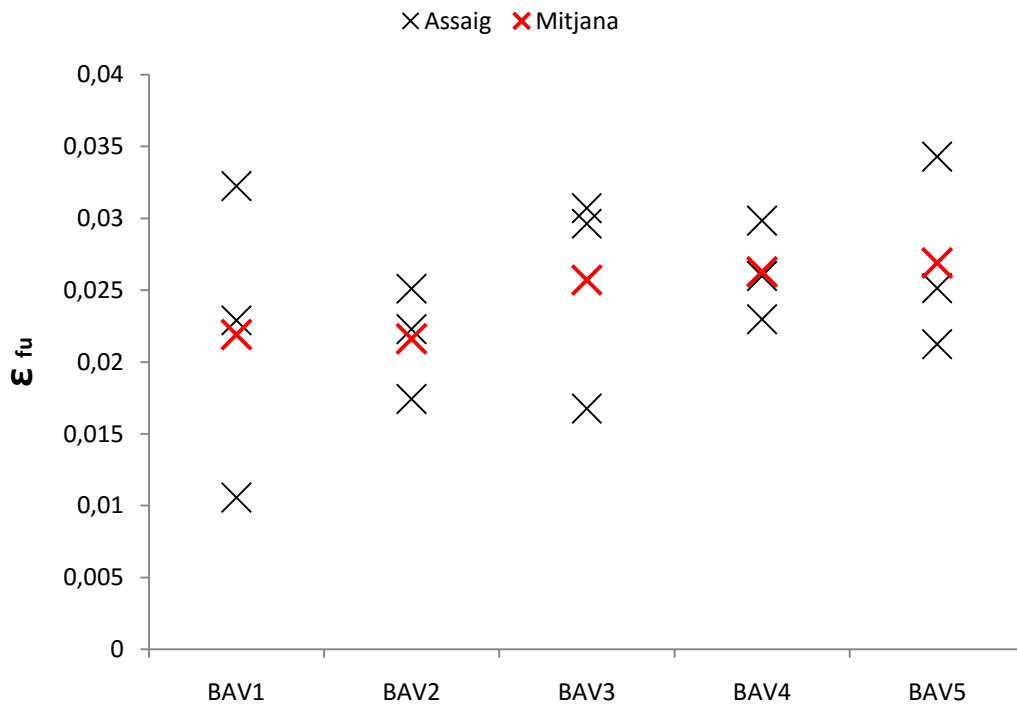
**Figura 48. Comparativa tensió ruptura última fixació amb mordaces.**

Observant la Figura 49 podem determinar que pel que es refereix a la tensió última, ambdós sistemes de fixació es comporten d'una forma similar, amb un increment inicial per posteriorment quedar-se constants. A més a més les dues gràfiques presenten un rang de valors similar, reforçant un comportament general de la tensió de ruptura última en el TRM.



**Figura 49. Comparativa mitjanes tensió ruptura última per diferents mètodes de fixació.**

La Figura 50 mostra els resultats de la deformació de ruptura última utilitzant la fixació de tipus Clevis en les diferents velocitats. Es pot observar un comportament constant en la deformació de ruptura última. Tot i això podríem considerar una lleugera tendència ascendent. Cal destacar la dispersió de valors en la velocitat mínima.



**Figura 50. Comparativa deformació ruptura última amb fixació tipus Clevis.**

La Figura 51 mostra els resultats de la deformació de ruptura última utilitzant la fixació amb mordaces en les diferents velocitats. Podem observar un comportament lleugerament ascendent fins a V3 (5 mm/min), i constant a partir d'aquest punt en la deformació última de ruptura.

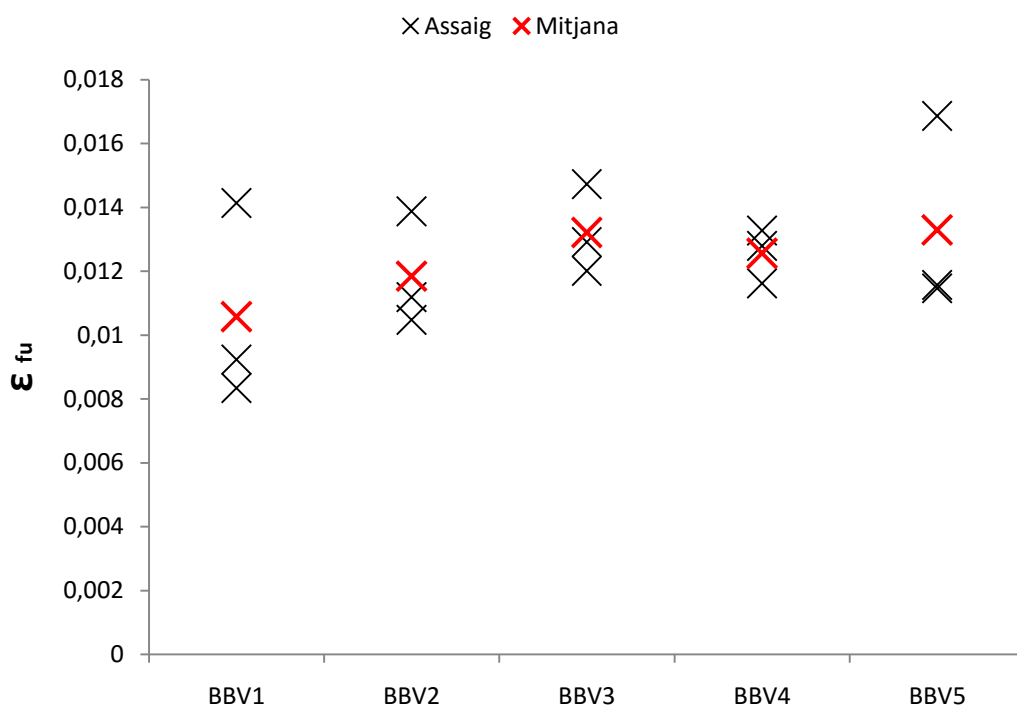


Figura 51. Comparativa deformació ruptura última fixació amb mordaces.

Es pot observar a la Figura 52 que els valors obtinguts són majors amb la fixació de tipus Clevis. Per altre banda cal constatar que els valors de la deformació de ruptura última amb fixació tipus Clevis són més dispersos que els obtinguts en l'assaig amb mordaces, que són més constants.

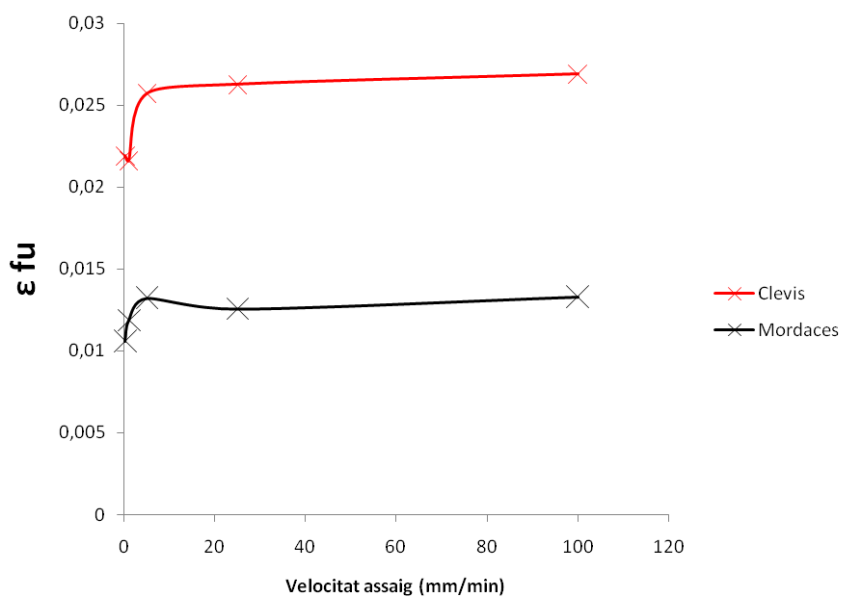
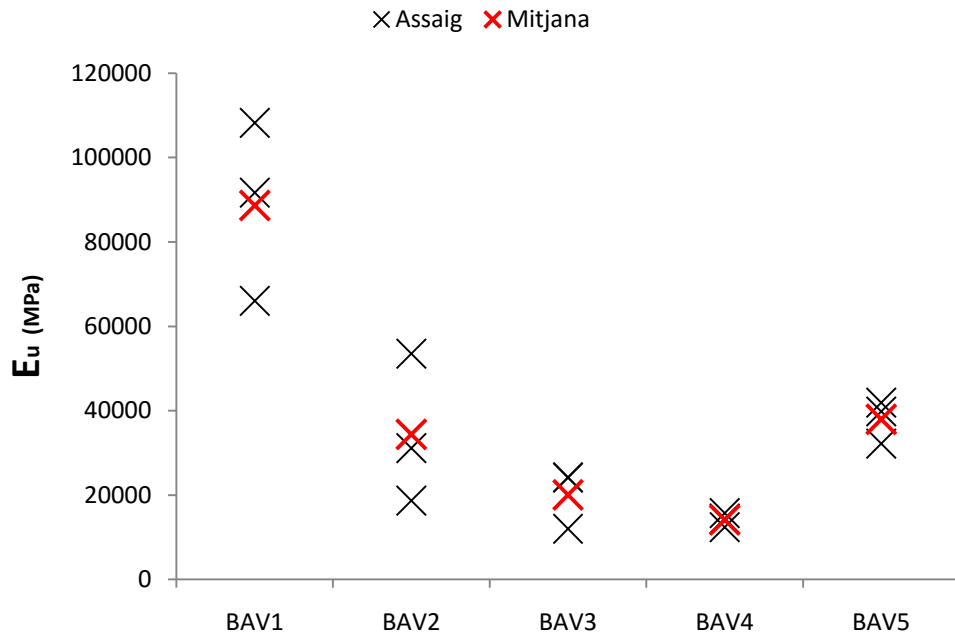


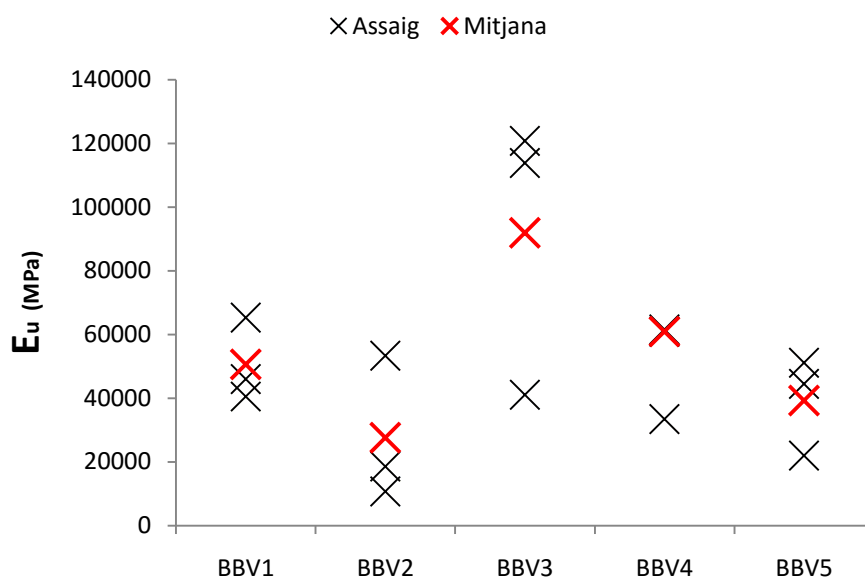
Figura 52. Comparativa mitjanes deformació ruptura última per diferents mètodes de fixació.

La Figura 53 mostra els resultats del mòdul elàstic després del punt de transició utilitzant la fixació tipus Clevis en les diferents velocitats. Com podem observar el valor del mòdul de Young després del punt de transició és fortament descendent. Per altra banda, si considerem la primera velocitat com una excepció ja que s'incrementa molt respecte la resta de valors, obtenim un comportament constant en la resta de velocitats.



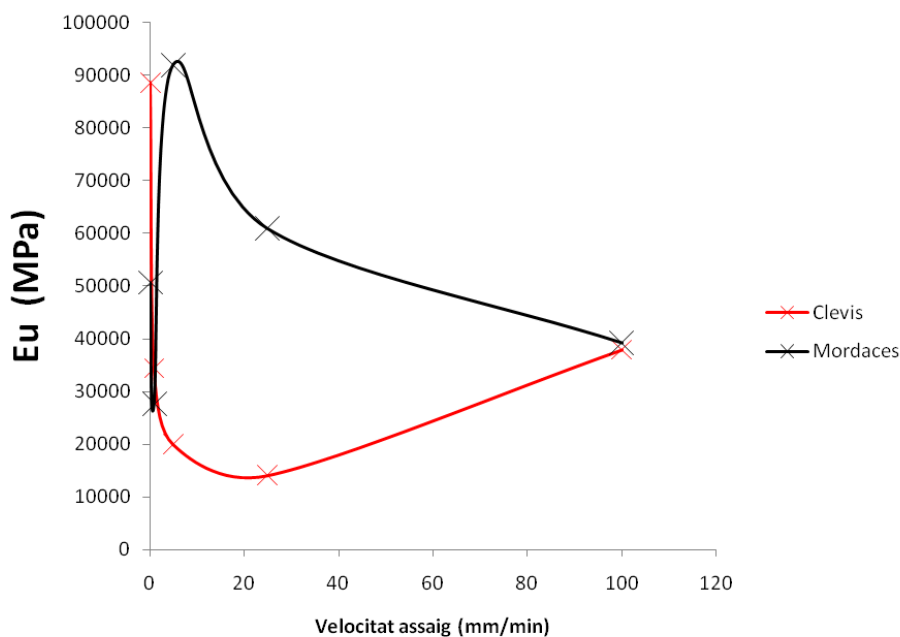
**Figura 53. Comparativa mòdul elàstic després del punt de transició fixació tipus Clevis.**

La Figura 54 mostra els resultats del mòdul elàstic després del punt de transició utilitzant la fixació amb mordaces en les diferents velocitats. Podem observar que els valors del mòdul de Young després del punt de transició són molt dispersos en l'assaig amb mordaces.



**Figura 54. Comparativa mòdul elàstic després del punt de transició fixació amb mordaces.**

En el cas del mòdul elàstic després del punt de transició, amb ambdós tipus de fixació (Figura 55), el càlcul del mateix ha sigut poc precís degut a una forta oscil·lació en les dades després del punt de ruptura del morter que ha dificultat l'obtenció dels punts necessaris per a calcular el mòdul de Young d'aquesta zona.

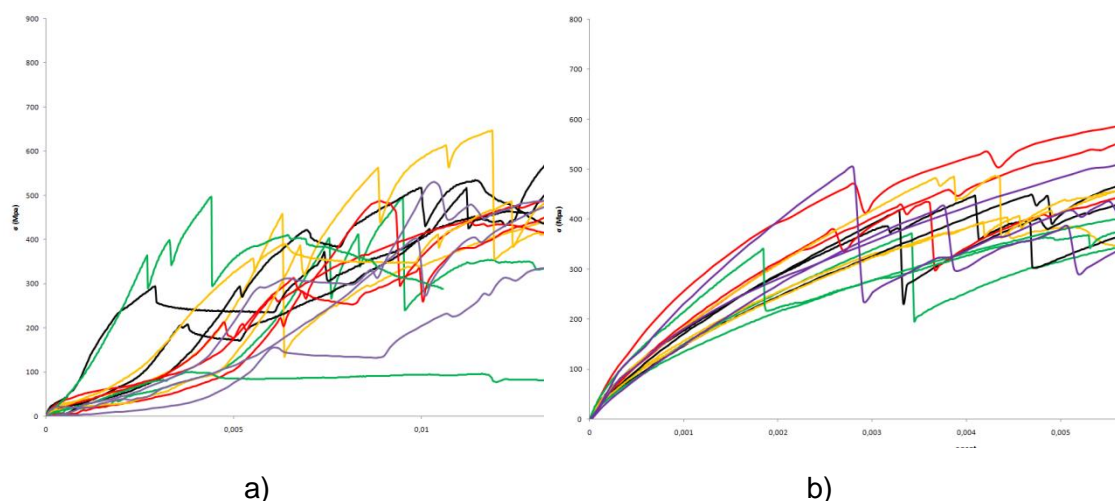


**Figura 55. Comparativa mitjanes mòdul elàstic després del punt de transició per diferents mètodes de fixació.**

Per això mateix és difícil determinar un comportament general tot i mantenir, exceptuant un parell de valors, el mateix ordre de magnitud.

Un cop analitzat cadascun dels paràmetres principals es pot procedir a comparacions més generalitzades.

En la Figura 56 es pot veure una comparativa on s'inclouen totes les velocitats, agrupades pel tipus de subjecció. Com es pot observar en el cas de la subjecció per mordaces es tendeix cap a un comportament més uniforme. Per altre banda amb la subjecció tipus Clevis els resultats de les diferents velocitats tot i seguir una tendència són molt més dispersos. Aquest fet possiblement es degui al moviment superior que permet la fixació tipus Clevis.

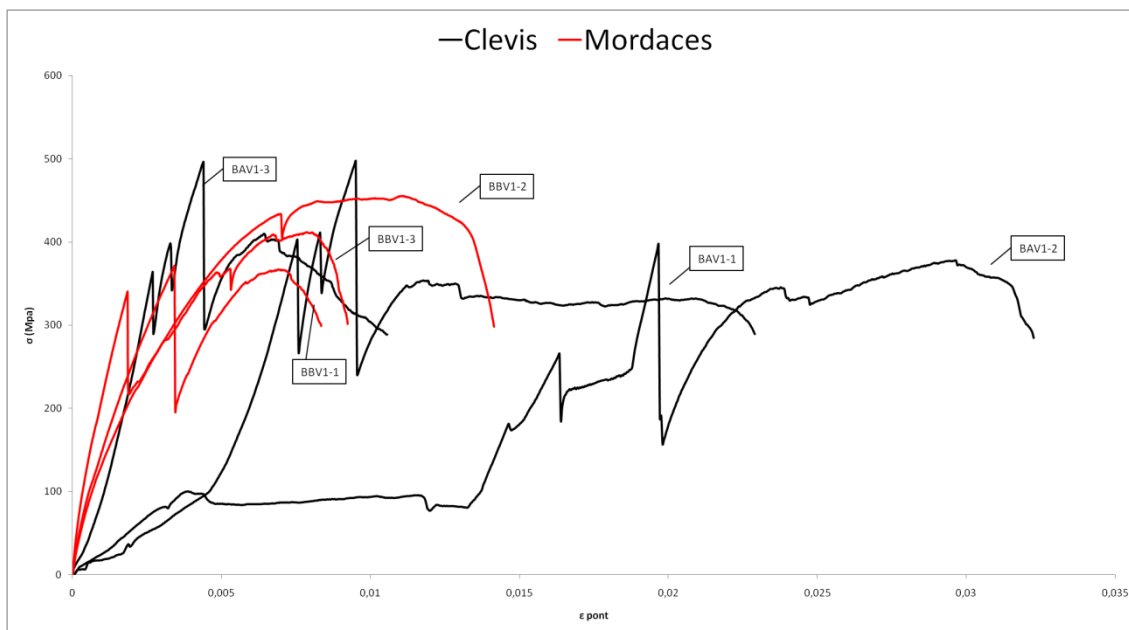


**Figura 56. Comparativa totes les velocitats: a) Clevis i b) Mordaces**

La Figura 57 mostra la comparativa entre els resultats obtinguts per els tres espècimens amb fixació Clevis i els obtinguts amb les mordaces, ambdós a la velocitat V1 (0,2 mm/min). Tal i com es pot observar els tres espècimens realitzats amb mordaces tenen un comportament molt similar entre ells. Per altre

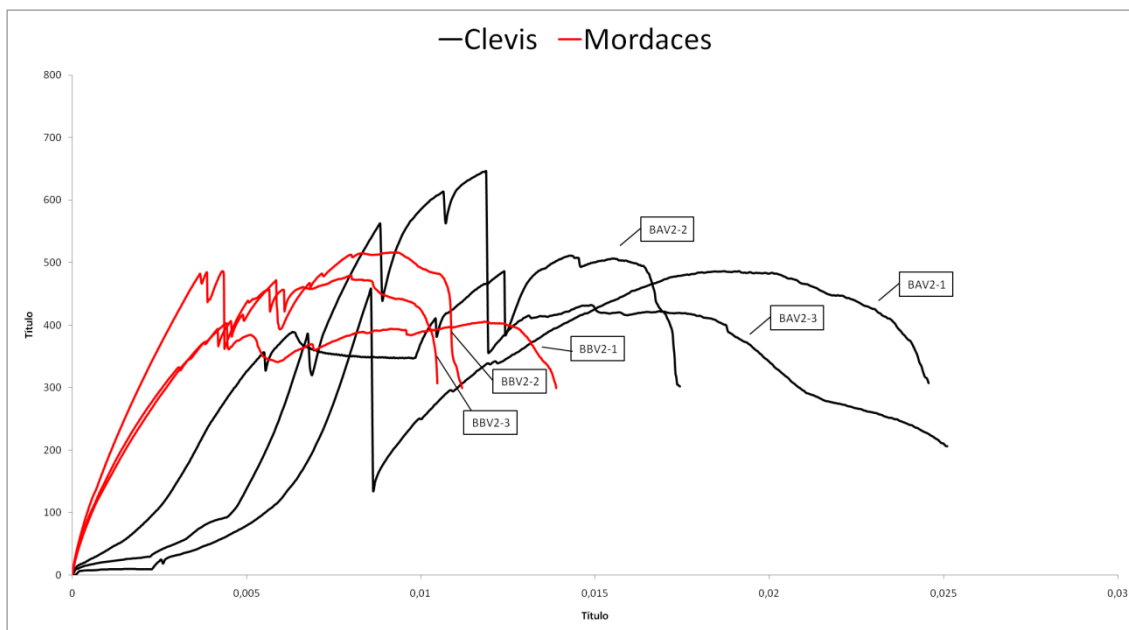
banda el tram inicial de dos dels espècimens realitzats amb fixació Clevis tenen un inici molt irregular, tot i que després mantenen una forma similar a la resta.

Això pot ser degut a que es pateixi un petit lliscament inicial de les platines amb la proveta, causat per la tensió de la resina epoxy.



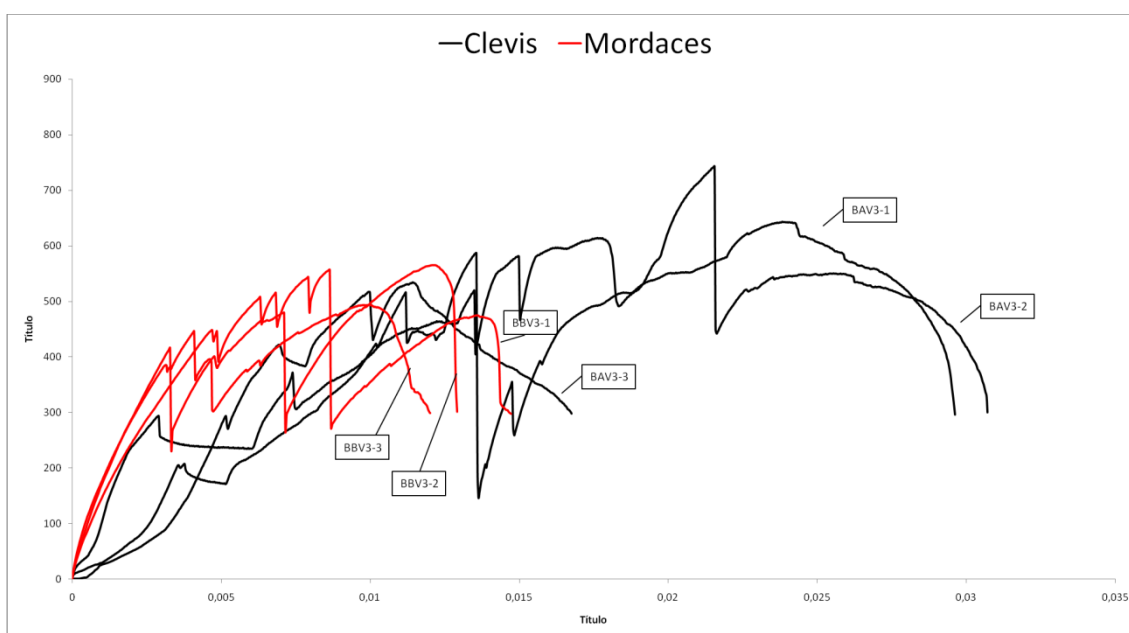
**Figura 57. Comparativa Clevis-Mordaces de V1.**

La Figura 58 mostra la comparativa entre els resultats obtinguts per els tres espècimens amb fixació Clevis i els obtinguts amb les mordaces, ambdós a la velocitat V2 (1 mm/min). Tal i com es pot observar els tres espècimens realitzats amb mordaces tenen un comportament molt similar entre ells, mentre que els tres realitzats amb fixació Clevis també tenen un comportament similar entre ells. Per altre banda si comparem Clevis i mordaça es pot veure una gran diferència amb la forma, tan en el tram inicial com en el final. Cal destacar la forma que tenen les corbes realitzades amb fixació Clevis al inici, possiblement deguda a un lliscament inicial.



**Figura 58. Comparativa Clevis-Mordaces de V2.**

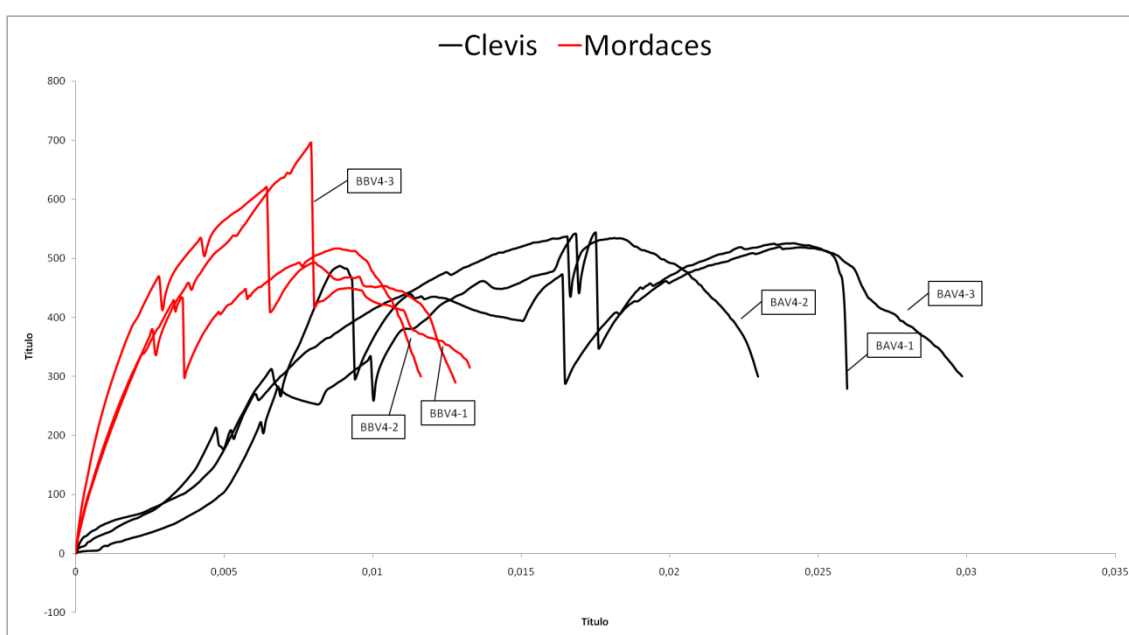
La Figura 59 mostra la comparativa entre els resultats obtinguts per els tres espècimens amb fixació Clevis i els obtinguts amb les mordaces, ambdós a la velocitat V3 (5 mm/min). Tal i com es pot observar els tres espècimens realitzats amb mordaces tenen un comportament molt similar entre ells. Cal destacar la forma que tenen les corbes realitzades amb fixació Clevis al inici, possiblement deguda a un lliscament inicial.



**Figura 59. Comparativa Clevis-Mordaces de V3.**

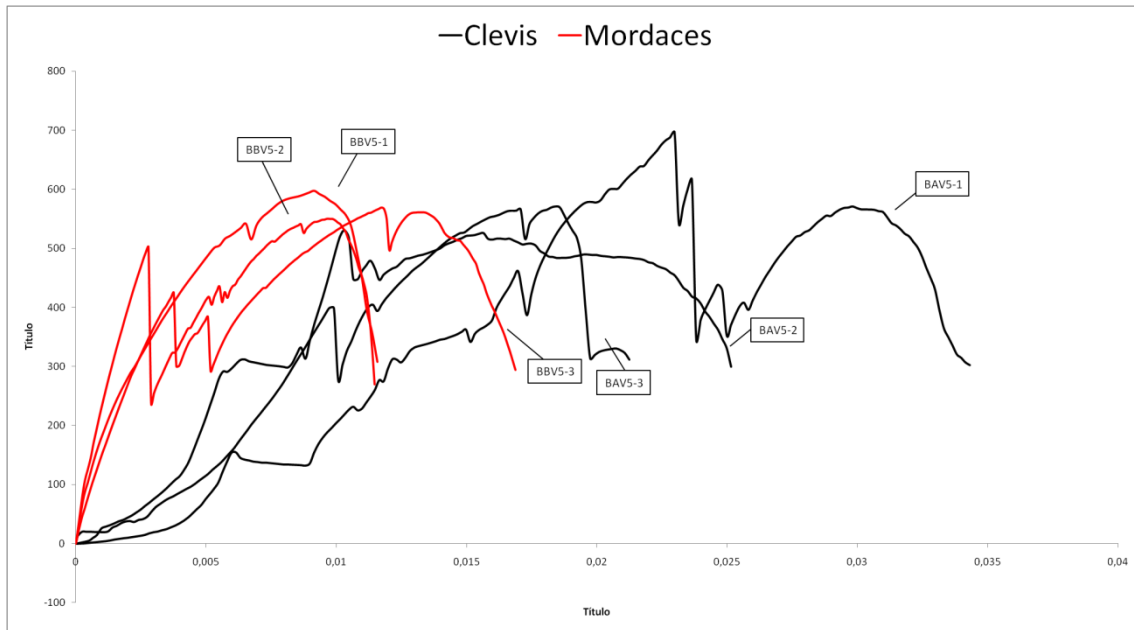


La Figura 60 mostra la comparativa entre els resultats obtinguts per els tres espècimens amb fixació Clevis i els obtinguts amb les mordaces, ambdós a la velocitat V4 (25 mm/min). Tal i com es pot observar els tres espècimens realitzats amb mordaces tenen un comportament molt similar entre ells, mentre que els tres realitzats amb fixació Clevis també tenen un comportament similar entre ells. Per altre banda si comparem Clevis i mordaga es pot veure una gran diferència amb la forma, tan en el tram inicial com en el final. Cal destacar la forma que tenen les corbes realitzades amb fixació Clevis al inici, possiblement deguda a un lliscament inicial.



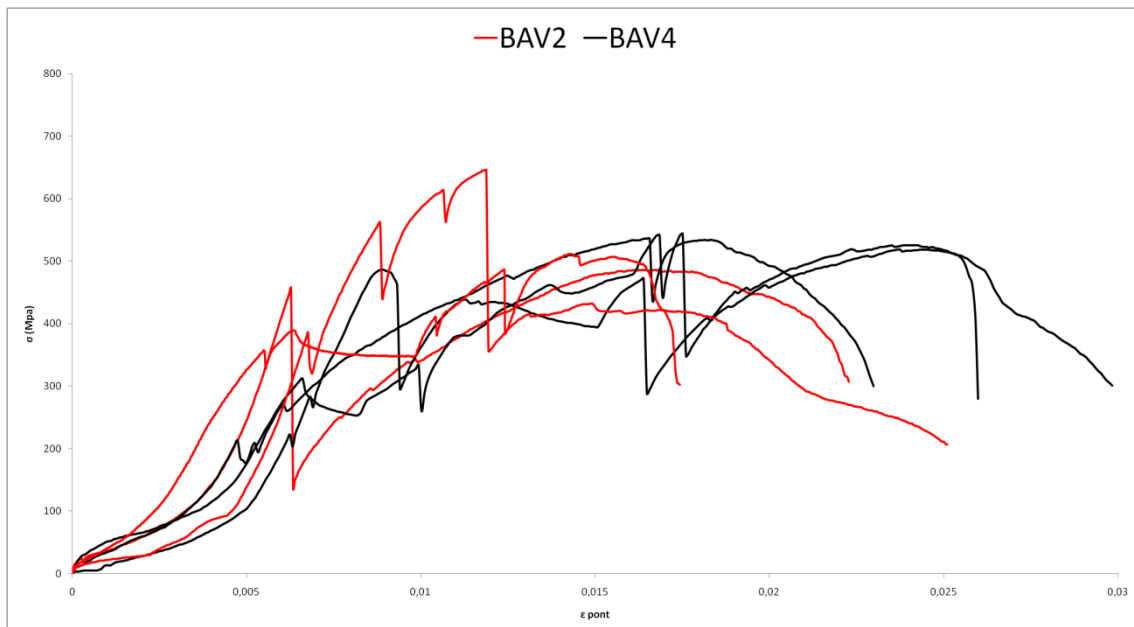
**Figura 60. Comparativa Clevis-Mordaces de V4.**

La Figura 61 mostra la comparativa entre els resultats obtinguts per els tres espècimens amb fixació Clevis i els obtinguts amb les mordaces, ambdós a la velocitat V5 (100 mm/min). Tal i com es pot observar els tres espècimens realitzats amb mordaces tenen un comportament molt similar entre ells, mentre que els tres realitzats amb fixació Clevis també tenen un comportament similar entre ells. Per altre banda si comparem Clevis i mordaga es pot veure una gran diferència amb la forma, tan en el tram inicial com en el final. Cal destacar la forma que tenen les corbes realitzades amb fixació Clevis al inici, possiblement deguda a un lliscament inicial.



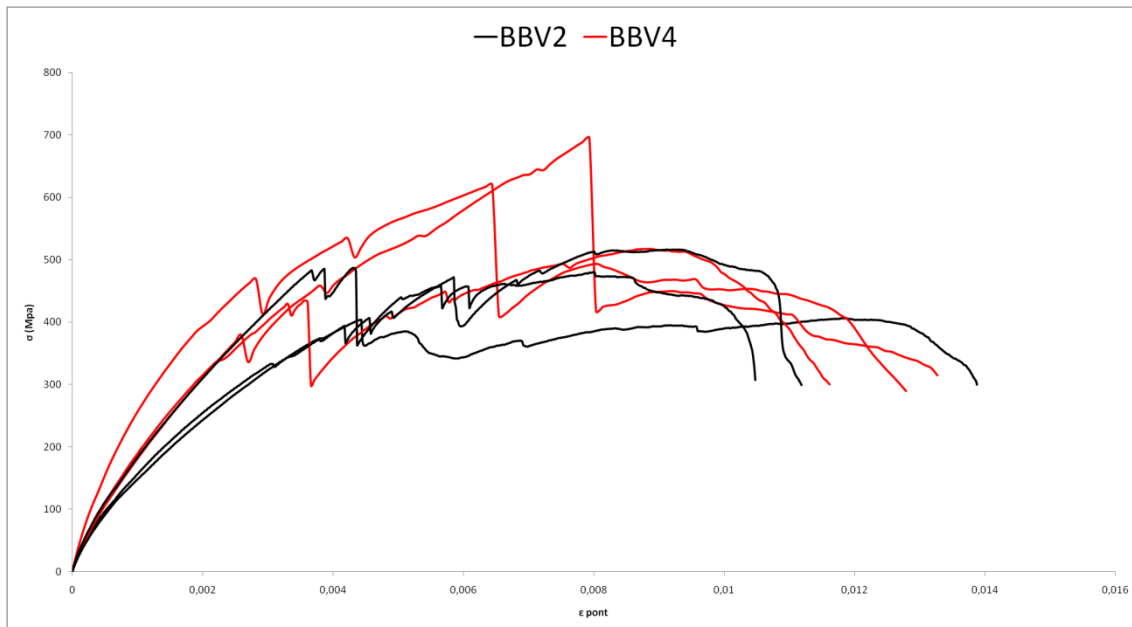
**Figura 61. Comparativa Clevis-Mordaces de V5.**

La Figura 62 mostra la comparativa entre les velocitats V2 i V4 amb fixació Clevis. Tal i com es pot observar es manté un comportament general similar, fins i tot per part de la V2 superior en alguns casos.



**Figura 62. Comparativa V2-V4 fixació Clevis.**

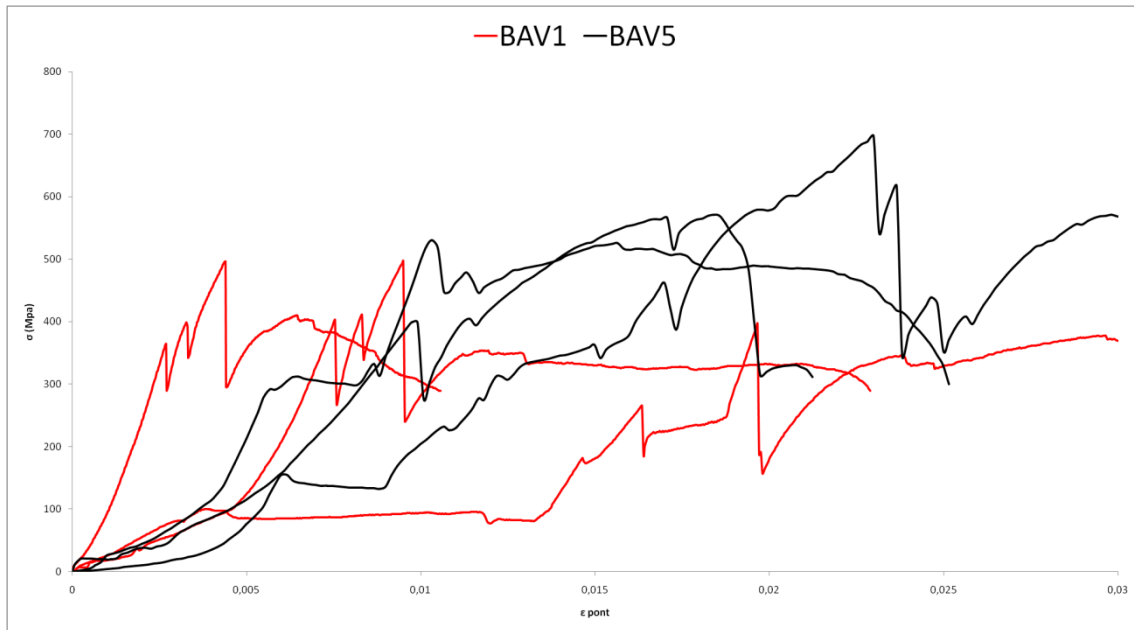
La Figura 63 mostra la comparativa entre les velocitats V2 i V4 fixades amb mordaces. Tal i com es pot observar les dues velocitats mantenen un comportament similar, tanmateix en termes generals es pot considerar que la velocitat superior dona resultats mes elevats en conjunt.



**Figura 63. Comparativa V2-V4 fixació amb mordaces.**

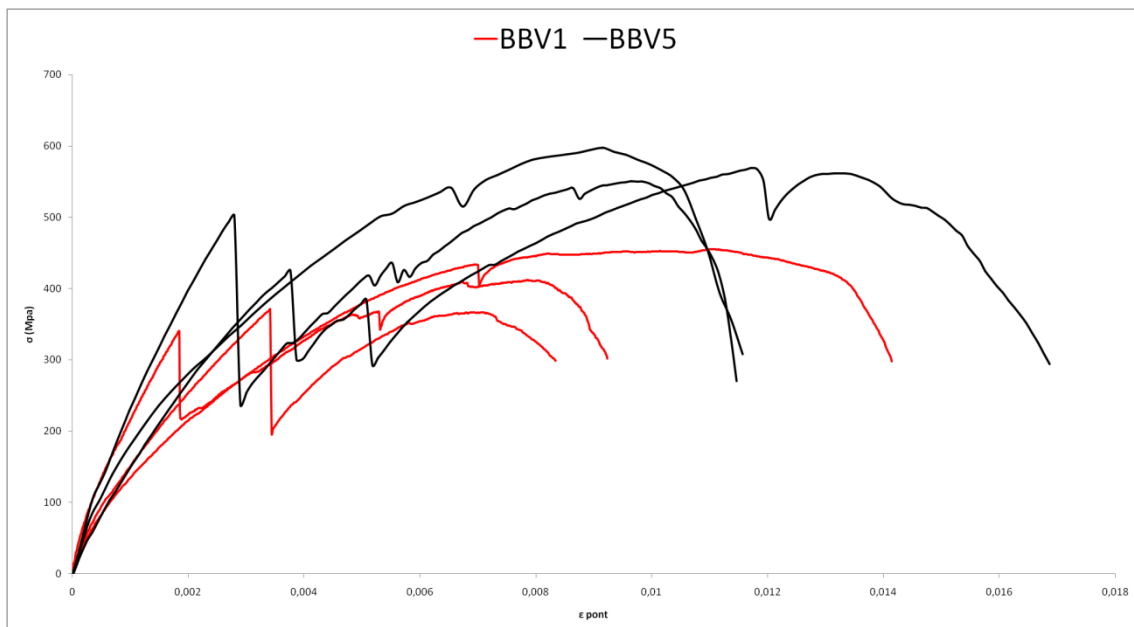
Com es pot observar comparant la Figura 62 i la Figura 63 en el cas de les mordaces es veu clarament una tendència a augmentar els valors si s'augmenta la velocitat. Per altre banda en el cas de la subjecció Clevis hi ha una excessiva dispersió de les dades com per a realitzar aquesta afirmació.

La Figura 63 mostra la comparativa entre les velocitats V1 i V5 amb fixació Clevis. Tal i com es pot observar a velocitat baixa el teixit trenca a valors de tensió-deformació baixos, en canvi a la velocitat de 100 mm/min el teixit augmenta de forma substancial la seva capacitat.



**Figura 64. Comparativa V1-V5 fixació Clevis.**

La Figura 65 mostra la comparativa entre les velocitats V2 i V4 fixades amb mordaces. Tal i com es pot observar a velocitat baixa el teixit trenca a valors de tensió-deformació baixos, en canvi a la velocitat de 100 mm/min el teixit augmenta de forma substancial la seva capacitat.



**Figura 65. Comparativa V1-V5 fixació amb mordaces.**

## Capítol 5 Conclusions

Aquest capítol resumeix les principals conclusions obtingudes dels diversos estudis experimentals i analítics realitzats sobre la relació entre la velocitat d'assaig i les característiques mecàniques del TRM.

La campanya experimental ha estat realitzada sobre provetes de morter reforçades amb matriu de basalt. Els resultats obtingut compleixen l'objectiu de determinar les característiques mecàniques del TRM estudiat. A continuació es detallen les conclusions principals obtingudes d'aquest estudi:

- Hi ha una tendència l'augment tan de la tensió última de ruptura com de la deformació última de ruptura conforme augmenta la velocitat d'assaig. Aquests però tendeixen a estabilitzar-se i mantenir-se constants a partir d'una certa velocitat. Aquesta tendència es veu de forma més marcada en el cas dels elements assajats fixats per mordaces. Aquesta característica podria ser especialment important per a l'ús del Textile Reinforced-Mortar en situacions de càrrega a altes velocitats, com podria ser el cas d'un terratrèmol.
- Les característiques del primer tram, fins a la primera ruptura del morter, es mantenen força constants tot i l'augment de velocitat. En el cas particular dels assaigs realitzats amb les mordaces com a fixació es pot detectar un lleuger increment de les propietats conforme augmenta la velocitat, i a la vegada un augment dels valors respecte als assaigs realitzats amb Clevis com a fixació.
- Les oscil·lacions en els valors obtinguts després del trencament han dificultat la correcta obtenció del mòdul de Young d'aquella zona.
- En el cas dels assaigs amb mordaces com a fixació s'intueix una gran uniformitat entre les diferents dades en tots els trams. Això pot ser degut al confinament de les fibres degut a les pròpies mordaces ja que no permeten el lliscament d'aquestes.

- En el cas dels assaigs amb Clevis es pot deduir un lliscament al inici de l'assaig degut possiblement al desplaçament de les platines respecte la proveta a causa de l'adaptació de la resina epoxy.
- S'ha observat una tendència a ruptura total post lliscament de les fibres, fet que podria indicar una distribució de tensions uniforme en els dos mètodes. No obstant això la oscil·lació de càrrega després de la ruptura del morter pot ser deguda a una fissuració progressiva de les fibres.
- Per a futures investigacions seria adequat l'ús del extensòmetre per a calcular les dades del primer tram, ja que aquest ha resultat ser poc precís i amb dades disperses i sense tendència clara. Tanmateix per a la correcta utilització de l'extensòmetre caldria realitzar modificacions a la proveta per assegurar que la primera ruptura del morter es produeixi en la zona interna de l'àmbit de mesura del sensor.

## Bibliografía

- [1] A. Peled, A. Bentur, Geometrical characteristics and efficiency of textile fabrics for reinforcing cement composites, *Cem. Concr. Res.* 30 (2000) 781–790. doi:10.1016/S0008-8846(00)00239-8., (n.d.).
- [2] D. Arboleda, Fabric Reinforced Cementitious Matrix ( FRCM ) Composites for Infrastructure Strengthening and Rehabilitation : Characterization Methods, (2014) 1–131.
- [3] A.O. López, El ferrocemento y sus aplicaciones, México Instituto Politécnico Nacional, México D.F., (1985).
- [4] W. Brameshuber, T. Brockmann, C. Aldea, T. Gries, A. Roye, P. Offermann, E. Al., Textile Reinforced Concrete. State-of-the-Art Report of RILEM TC 201-TRC, Report 36, RILEM Publications S.A.R.L., Bagneux, (2006).
- [5] P. Larrinaga, Flexural strengthening of low grade concrete through the use of new cement-based composite materials, (2011).
- [6] W. Brameshuber, T. Brockmann, Concrete/Matrix, in: W. Brameshuber (Ed.), *Text. Reinf. Concr. State-of-the-Art Rep. RILEM TC 201-TRC, Report 36*, RILEM Publications S.A.R.L., Bagneux, 2006: pp. 29–56., (n.d.).
- [7] A. Keil, H. Cuypers, M. Raupach, J. Wastiels, Study of the bond in textile reinforced concrete: influence of matrix and interface modification, in: *Proc. CCC – Chall. Civ. Constr., Porto*, (2008).
- [8] M. Raupach, J. Orłowsky, T. Büttner, U. Dilthey, M. Schleser, J. Hegger, E. Al., Epoxyimpregnated textiles in concrete-Load bearing capacity and durability, in: *ICTRC'2006-1st Int. RILEM Conf. Text. Reinf. Concr.*, 2006: pp. 77–88., (n.d.).

- [9] U. Dilthey, M. Schleser, M. Möller, O. Weichold, W. J. Hegger, Brameshuber, E. Al., Application of polymers in textile reinforced concrete—from the interface to construction elements, in: ICTRC'2006-1st Int. RILEM Conf. Text. Reinf. Concr., 2006: pp. 55–64. [, (n.d.).
- [10] D. Arboleda, F.G. Carozzi, A. Nanni, C. Poggi, Testing procedures for the uniaxial tensile characterization of fabric-reinforced cementitious matrix composites, *J. Compos. Constr.* 1 (2015) 11. doi:10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000626.
- [11] C. Escrig, Estudio del comportamiento mecánico de vigas de hormigón armado reforzadas a flexión y a cortante con materiales compuestos de matriz cementítica, (2015).
- [12] ICC Evaluation Service Inc., AC434-2013 - Acceptance Criteria for Masonry and Concrete Strengthening Using Fabric-reinforced Cementitious Matrix (FRCM) Composite Systems, (2013).
- [13] A.S. for T. and Materials, ASTM D5034-09. Standard test method for breaking strength and elongation of textile fabrics (Grab Test), (2013).
- [14] a. Dubey, N.J. Buch, Report on Thin Reinforced Cementitious Products, ACI Comm. 549. (2004) 549.2R–1 – 549.2R–28.