

## Treball final de Grau

Estudi: **Grau en Arquitectura Tècnica**

Títol: ESTUDI DEL JUTE COM A MATERIAL DE REFORÇ EN CEMENTS

Alumne: Aida Rosich Amorós

Tutor: Rafel Reixach Corominas

Departament: Arquitectura i Enginyeria de la construcció (DAEC)

Àrea: Construccions arquitectòniques

Convocatòria (mes/any): Setembre/ 2016

## ÍNDEX

1. PRÒLEG .....	5
2. INTRODUCCIÓ GENERAL .....	7
3. INTRODUCCIÓ PERSONAL DE L'AUTOR.....	9
4. OBJECTIUS DEL TREBALL .....	10
5 . ESTAT DE L'ART .....	11
5.1. Antecedents experimentals .....	11
5.2. Antecedents històrics .....	13
5.2.1. El jute.....	13
5.2.2. El ciment .....	19
6. METODOLOGIA .....	25
6.1. Introducció .....	25
6.2. Maquinària i materials emprats .....	26
6.2.2. Materials emprats durant el transcurs del treball.....	26
6.2.3. Maquinària emprada durant el transcurs del treball.....	31
6.3. Assajos realitzats .....	33
6.3.1. Assaig de densitat .....	33
6.3.2. Assaig de consistència .....	35
6.3.3. Assaig de flexió .....	37
6.3.4. Assaig de compressió .....	39
6.4. Procés operatori inicial del treball.....	42
7. OPCIO 1: PROVETES REALITZADES AMB FIBRA TRITURADA .....	47
7.1. Introducció .....	47
7.2. Procés de fabricació de les provetes amb fibra triturada.....	48
7.3. Dosificació.....	49

7.4. Resultats assaig de consistència .....	52
7.5. Resultats assaig de densitat .....	53
7.6. Resultats a flexió de provetes amb fibra triturada .....	56
7.6.1. Resultats generals .....	56
7.6.2. Anàlisi de l'evolució de cada sèrie de fibra en comparació amb el ciment blanc.....	61
7.6.3. Anàlisi i comparació del comportament de la fibra segons l'edat de les provetes i el %(v/v) de fibra afegit .....	62
7.6.4. Anàlisi del trencament a flexió.....	63
7.6.5. Conclusions parcials.....	67
7.7. Resultats a compressió de provetes amb fibra triturada .....	68
7.7.1. Resultats generals .....	68
7.7.2. Anàlisi de l'evolució de cada sèrie de fibra en comparació amb el ciment blanc.....	71
7.7.3. Anàlisi i comparació del comportament de la fibra segons l'edat de les provetes i el % (v/v) de fibra afegit .....	72
7.7.4. Anàlisi del trencament a compressió .....	73
7.7.5. Conclusions parcials de resistència a compressió.....	77
8. OPCió 2: PROVETES REALITZADES AMB MALLA DE JUTE .....	79
8.1. Introducció .....	79
8.2. Materials utilitzats .....	79
8.3. Procés de fabricació de les provetes amb malla .....	83
8.4. Dosificació .....	88
8.5. Assaig de consistència .....	89
8.6. Resultats a flexió de provetes amb malla .....	89
8.6.1. Resultats generals dosificació 1 (Relació aigua:ciment 1:1,5) ...	89
8.6.2. Resultats generals dosificació 2 (Relació aigua:ciment 1:3) .....	96
8.6.3. Conclusions parcials de la resistència a flexió .....	103

8.7. Resultats a compressió de provetes amb fibra triturada .....	104
8.7.1. Resultats generals amb dosificació 1:1,5 (aigua:ciment).....	104
8.7.2. Resultats generals amb dosificació 1:3 (aigua/ciment) .....	109
8.7.3. Conclusions parcials de resistència a compressió.....	116
9. CONCLUSIONS GENERALS .....	117
10. NOVES VIES D'INVESTIGACIÓ.....	118
11. BIBLIOGRAFIA.....	119
11.1. Normativa aplicable .....	119
11.2. Articles .....	120
11.3. Documents i llibres.....	121
11.4. Webgrafia .....	121
12. ANNEXES .....	122
11.1. Resultats de densitat .....	122
11.2. Resultats a compressió.....	128
11.2.1. Resultats a compressió de fibra triturada .....	128
11.2.2. Resultats generals a compressió en malla .....	135
11.3. Índex de taules.....	141
11.5. Índex de diagrames .....	143
11.6. Índex de gràfiques .....	144
11.6. Índex de fotografies .....	146
11.7. Llistat d'acrònims .....	149

## 1.PRÒLEG

La meua idea com a Treball Final de Grau era estudiar algun material compost amb l'aprofitament de residus o fibres vegetals en la seva composició per millorar les seves característiques i analitzar el seu possible ús a la construcció. Aconseguint un producte més sostenible i respectant el medi ambient.

El meu tutor em va orientar cap el Grup Lepamap de l'Escola Politècnica Superior. Aquest Grup té una dilatada experiència amb línies de recerca cap aquest camp dels materials compostos amb fibres. La innovació respecte les seves línies de recerca era que la matriu no era un polímer sinó el ciment.

Exposada la meua idea de treball, es proposa la utilització del jute com a substitut de l'àrid fi en els morters per a averiguar l'aptitud d'aquest material, tot buscant i avaluant les propietats físico-mecàniques del material compost.

Es duran a terme els assaigs de:

- Assaig de flexió
- Assaig de compressió
- Densitat
- Assaig de consistència del morter fresc

En aquest cas es proposa dos vies d'investigació, una associada a la fibra de jute triturada i l'altra amb fibra de jute com a filament en malla. Per a cada tipus de reforç s'han utilitzat diferents dosificacions per analitzar el comportament d'aquestes i valorar-ne els resultats per trobar-ne el més òptim. Les dosificacions utilitzades estan dutes a terme en pes i es mostraran més endavant.

En aquest cas, inicialment es va partir per utilitzar una fibra d'un gramatge de 1200 gr/cm<sup>3</sup>, semblant a un geotèxtil i duent a terme provetes de 1600x1600x100mm, essent provetes no normalitzades actualment. Es van utilitzar els motlles normalitzats segons norma UNE-EN però amb una altura màxima d'1cm, com s'ha fet menció anteriorment. Es va fabricar d'acord a una dosificació de 1:1,5 (a:c) col·locant la fibra a la part central de la proveta, coberta així per ambdues parts del material matriu.

No obstant, tot i les diverses proves dutes a terme amb aquest material, i canviant a un gramatge més reduït, la malla no quedava impregnada per el material matriu i es va optar per altres vies d'investigació, amb fibra triturada i amb malla.

Les provetes iniciades a partir d'aquell moment ja van ser totalment normalitzades segons normativa vigent, utilitzant provetes de 1600x1600x400 mm.

Un cop fabricades les provetes corresponents, s'han deixat assecar en diferents edats per a avaluar-ne més detalladament el seu comportament de curació relacionat amb les seves

propietats físico-mecàniques. Les edats de les provetes són de 7 dies, 14 dies, 21 dies i finalment 28 dies.

Primerament s'ha realitzat l'assaig a flexió, obtenint així 3 resultats de cada motlle, i posteriorment l'assaig de compressió, obtenint-ne 6 resultats.

Un cop obtinguts els resultats de cada mostra s'han traspassat els resultats a un document Excel per tal de poder introduir les dades obtingudes i així treure resultats concloents per a poder realitzar les comparatives i treure així conclusions més clares i verídiques del projecte per tal de treure'n unes conclusions finals. Val a dir que també s'han realitzat gràfics relacionats amb els resultats per a poder interpretar millor el resultat final del present projecte.

Per finalitzar, s'han dut a terme les densitats de cada tipus de dosificació diferent per tal d'avaluar i convertir el % de fibra en volum sobre la dosificació. Aquest assaig ha estat determinat mitjançant l'assaig del picnòmetre i no amb l'assaig normalitzat per normativa UNE. S'ha realitzat d'aquesta manera per tal d'agilitzar i escurçar molt més la obtenció dels resultats finals.

## **2. INTRODUCCIÓ GENERAL**

És sabut, que l'esser humà és el gran protagonista de la causa d'una explotació incontrolada dels recursos naturals que existeixen en aquest planeta. Durant anys i anys, l'home ha fet i desfet al seu abast i ha anat deteriorant cada vegada més el medi ambient, comportant amb tot això un preu molt elevat que està pagant la societat i que podria empitjorar molt més si no es pren consciència i es fa un canvi de mentalitat.

Moltes són ja les persones que estan lluitant per aquest gran canvi davant d'una situació d'alarma existent enfront de la inexistència de reserves de matèries primeres, les quals estan sent molt demandades i arrasades. És per aquest motiu que la supervisió dels recursos és molt important, per així limitar la seva explotació per tal d'aconseguir un equilibri entre les dues parts i no sobrepassar els límits incontrolables.

Un dels principals motius d'aquest treball és la necessitat de substituir la matèria prima com és la sorra, per la utilització de fibres naturals, en aquest cas el jute. A hores d'ara, la utilització de la sorra és primordial en molts sectors, però un punt clau i essencial en el de la construcció. La sorra dona peu a la construcció de les infraestructures, dels habitatges, entre d'altres, i és per aquest i d'altres motius que l'estem esgotant. És necessari buscar altres fonts, altres matèries primeres per substituir i frenar aquest esgotament i aquesta explotació.

D'altra banda, també cal tenir en compte que durant els últims anys s'ha donat peu i ha agafat protagonisme el reciclatge i la reutilització dels residus per tal de disminuir la necessitat d'utilitzar matèries primeres.

Nosaltres, com a futurs tècnics també hi tenim molt que veure en aquesta etapa de canvi, fent veure a la resta de la societat que hem de ser menys consumistes i més conscients de que existeixen altres vies menys contaminants, més ecològiques i igual d'eficients que les que estem utilitzant en aquests instants.

El nostre camp, el de l'arquitectura, és un dels sectors que necessita un canvi més gran i més urgent. És aquí doncs, en aquest sector on s'ha d'implantar noves tècniques i nous materials per a la construcció, materials més ecològics, biodegradables i sostenibles que redueixin aquest impacte tant brutal que rep el medi ambient.

I és ara, en aquest projecte on s'intentarà desenvolupar una idea de canvi, utilitzant i aportant un petit gra d'esperança per a ajudar en aquest canvi, utilitzant la fibra de jute com a material de reforç de morters, a fi de substituir la sorra, la tercera matèria prima més utilitzada en aquest

planeta i que cada vegada més està en perill d'exhaurir-se i de crear alteracions en el medi ambient per la seva inexistència.



### **3. INTRODUCCIÓ PERSONAL DE L'AUTOR**

Tothom, qui més qui menys té una meta a assolir a la vida, uns objectius que complir, com també una professió que et crida més l'atenció que una altra. L'arquitectura i la construcció és la professió que des de ben petita atrau a l'autora d'aquest projecte. El seu pare és constructor, cosa que afavoria dia a dia la passió que sentia per aquest ofici i ja des de ben petita que li apassionava i es preguntava el perquè de cada cosa relacionada amb el sector.

Durant el batxillerat va anar aprofundint alguns coneixements relacionats amb la sostenibilitat, les energies renovables, entre d'altres, realitzant un treball de recerca d'una casa sostenible i d'eficiència energètica. En aquell moment, és quan va començar a investigar i a apassionar-li les tècniques constructives, els diferents materials, la optimització dels recursos, la sostenibilitat...

És així doncs, com va embarcar-se en estudiar la carrera d'Arquitectura tècnica a la Universitat de Girona, i és a hores d'ara, uns anys més tard, quan finalment s'adona que s'acaba una etapa de la vida on ha après molts valors, però que realment és l'inici d'una altra etapa, en aquest cas professional on de ben segur que li aportarà molts més coneixements i experiència professional que a hores d'ara no presenta.

Durant aquest últim any de carrera universitària, es va inscriure a la optativa que duien a terme conjuntament en Gabi Barbeta i en Marc Riera, destinada a la arquitectura sostenible, la bioconstrucció, la eficiència energètica, entre d'altres. És en aquesta optativa on setmana rere setmana va creixent la curiositat per descobrir i aprendre a utilitzar noves tècniques de construcció i millorar les que hi ha actualment per tal de ser més eficients amb el medi ambient, tot conjuntament amb una durabilitat adequada.

Aquí és quan em vaig posar en contacte amb el meu tutor, en Rafel Reixach i, posteriorment, amb en Pere Mutjé com a responsable del Grup Lepamap, els quals em van proposar una via diferent de treball que va incentivar-me des de l'inici ja que era un tema innovador i a la vegada complia el requisit d'estar relacionat amb sostenibilitat.

## **4. OBJECTIUS DEL TREBALL**

En els últims anys, la utilització de les fibres naturals ha anat desenvolupant protagonisme pel seu ús com a material de reforç per a la fabricació de materials compostos.

Tot i que els materials compostos amb matriu plàstica tenen la majoria d'aplicacions, el sector de la construcció també comença a ser pioner i dia a dia va desenvolupant i innovant amb aquests tipus de fibres naturals com a reforç de formigons i morters en les seves diferents vessants.

El present projecte perseguirà l'objectiu d'innovar i utilitzar una fibra natural, en aquest cas el jute, com a material de reforç de morters de ciment, utilitzant dos modalitats de fibra de jute diferents i avaluant finalment les propietats fisico-mecàniques del material compost resultant.

La primera modalitat de fibra, en aquest cas triturada sense crear enllaços entre ella, presentarà una dispersió de les fibres amb una orientació desordenada. La segona modalitat, en forma de malla i manta, presentarà una màxima capacitat de reforç.

Amb la utilització d'aquesta fibra, la qual presenta un mòdul de Young i una resistència a tracció molt interessant, es pretén substituir l'àrid principal d'un morter, en aquest cas la sorra, per la fibra natural.

Un dels motius principals és el de donar protagonisme a les fibres naturals per a crear materials compostos que siguin aptes per a la construcció, siguin biodegradables i el més sostenible possible, a banda de frenar també la incontrolable explotació de la matèria primera com és la sorra, actualment en perill d'esgotar-se i que afecta totalment de manera brutal al medi ambient.

Així doncs, d'entrada aquest projecte partirà de dues línies d'investigació que finalment s'entrellaçaran entre elles, sent comparades per les seves propietats fisico-mecàniques i obtenint-ne unes conclusions finals. Es duran a terme varies dosificacions diferents de fibra sobre el volum del ciment i s'estudiarà el comportament mitjançant els següents assaigs:

- Assaig de flexió
- Assaig de compressió
- Densitat del morter endurit
- Consistència del morter fresc

Finalment, s'analitzaran els resultats obtinguts i es determinarà l'afectació de la fibra en les diferents propietats.

## 5 . ESTAT DE L'ART

### 5.1. Antecedents experimentals

En aquest apartat en concret, s'ha recopilat informació de diferents articles, llibres i altres fonts de consulta sobre les aplicacions que ha tingut la fibra natural de jute en les seves diferents vessants, centrant-nos principalment en el sector de la construcció que és el qual ens interessa. La informació que proporcionen aquestes fonts és d'especial importància, si més no per tal d'averiguar si alguns realitzen experiments similars als utilitzats en aquest projecte, i si s'escau, analitzar i veure si pot haver-hi la possibilitat de resultats positius. Així doncs, els articles més rellevants sobre la utilització del jute són els següents:

Aziz, Paramasivam i Lee, l'any 1981, en l'estudi de "Prospects for natural fibre reinforced concretes in construction", varen estudiar la utilització de diversos recursos i fibres naturals, entre elles el jute, com a reforç de formigons. En aquest estudi, s'analitzen les propietats de la fibra natural en formigó armat i finalment discuteixen sobre diferents possibilitats d'aplicacions en el sector de la construcció. Analitzen diferents propietats i característiques com són la compressió, la flexió, la conductivitat tèrmica, entre d'altres. Com a conclusions finals, fan especial menció en que una correcta elaboració de les mostres pot influir positivament en els resultats assajats, i que seria productiu l'elaboració d'un procediment normalitzat, igual que es presentin unes especificacions completes de cada tipus de fibra i l'aplicació de cadascuna en particular.

Mansur i Aziz, l'any 1982, varen dur a terme una investigació anomenada "A study of jute fibre reinforced cement composites" sobre les propietats mecàniques de la pasta de ciment i de morter reforçat amb fibres de jute. Varen utilitzar diferents tipus de fibres i longituds distribuïdes uniformement i a l'atzar. Varen analitzar les resistències a flexió, compressió, impacte, entre d'altres en diferents percentatge de fibra afegida (v/v). Els resultats han mostrat una certa facilitat per utilitzar fibres de jute per al desenvolupament d'un material de construcció econòmic com podria ser panells de paret. Com a conclusions finals, la presència de fibra a la mescla fa incrementar els valors a flexió i a impacte. No obstant, els valors de compressió no mostren una millora molt significativa i alguns valors fins i tot disminueixen.

L'estudi realitzat l'any 1994 per S. R. Ranganathan, anomenat "Development and Potential of Jute Geotextiles", ha donat pas a una àmplia gamma d'aplicacions del jute com a geotèxtil. L'article

analitza en detall els geotèxtils duts a terme amb fibra natural de jute, fent especial menció que aquests poden proporcionar i controlar l'erosió del sòl a través de revegetació. Degut a l'existència dels materials sintètics, el jute i el cànem es van veure afectats greument, disminuint la seva exportació i aplicació. No obstant, degut al canvi de mentalitat sobre el impacte ambiental, la societat està eliminant la utilització de materials sintètics i està apostant per les fibres naturals. L'avantatge que proporcionen aquestes fibres naturals és que presenten un gran potencial amb quantitats relativament petites. Existeix una proporció de superfície terrestre afectada per l'erosió del sòl en els països en desenvolupament agreujada per l'agricultura, la construcció, la mineria, entre d'altres factors. És així doncs, on el paper del jute és molt important, creant així geotèxtils per protegir i promoure la capa vegetal durant el període de formació, utilitzant la natura per combatre els problemes d'erosió del sòl d'una manera ambientalment amistosa. La revegetació del sòl per a controlar l'erosió del sòl és especialment essencial per a proporcionar una rugositat de la superfície, i el sistema d'arrels reforça el terreny i facilita la infiltració de l'aigua obtenint sòls més porosos. Finalment, van fer referència a nous productes i aplicacions del jute, especialment utilitzat en carreteres d'autopistes, com a drenatge, introduïdes dins de terraplens per evitar la erosió o també en tècniques de revestiments.

Un estudi realitzat l'any 2013 per Sumit Chakraborty i ALT, amb títol "Improvement of the mechanical properties of jute fibre reinforced cement mortar: A statistical approach" va mostrar l'eficàcia de les fibres de jute com a reforç del morter de ciment, millorant les propietats físiques i mecàniques del compost. Durant l'elaboració de l'estudi, varen realitzar tres processos diferents per a realitzar una mescla homogènia en el morter. Varen validar que els resultats obtinguts mostren un increment de les propietats a flexió del compost a mesura que augmenta el contingut en fibra. Van dur a terme un anàlisi complet sobre tres procediments de fibra diferents, comparant-les entre elles. A major quantitat de fibra la resistència a compressió disminueix igual que la densitat aparent. Fora d'aquests tres procediments, la utilització de fibra triturada saturada d'aigua era la que presentava una major dispersió de les fibres.

## 5.2. Antecedents històrics

### 5.2.1. El jute

#### Descripció

La planta de jute es cultiva principalment a la part oriental del subcontinent indi i a les regions tropicals. Anteriorment, la gent solia consumir les fulles de la planta com a verdura o l'utilitzaven com a remei a base d'herbes.

El gran creixement de producció es va dur a terme a mitjans del segle XIX, el qual va conduir a una millora dels mètodes del cultiu i de l'extracció de la fibra.

Aquest cultiu requereix un clima càlid i humit i amb pluges abundants.

Pot arribar a uns 3 m d'altura i necessita aproximadament de 4 a 6 mesos de formació des que es cultiva fins que es pot recol·lectar. El seu diàmetre oscil·la entre 17 i 20 micres.

Pertany al gènere dels Corchorus, el qual existeixen 30 espècies d'aquest gènere. No obstant, tant sols dos espècies són aptes per a la producció de fibres, el Corchorus Capsularis (jute blanc) i el Corchorus Olitorius (jute Tossa).

#### Procés d'extracció i obtenció de la fibra

Per normal, des de finals de febrer fins a principis del mes de juny s'efectua la sembra d'aquesta planta herbàcia. Aproximadament es recol·lecta poc després de la floració dels fruits.

Les fibres del tall de la planta s'extrauen mitjançant un procés especial anomenat Retting, el qual consisteix en lligar les plantes en diversos paquets i submergir-los en aigua estancada durant un període de 2-3 setmanes. No obstant, abans de procedir a submergir-los en aigua, hauran prèviament estat uns dies per a que es sequin i se li puguin treure les rames i les fulles. Aquest període d'humectació facilita l'extracció de la fibra ja que dissol les substàncies enganxades com la pectina<sup>1</sup>. Per suposat, l'extracció es fa manualment i seguidament es renta i es fa el posterior assecat. Els manats es dobleguen pel centre i es comprimeixen en bales, de manera que el jute queda llest per al seu transport i exportació.

#### Composició del jute

La composició química del jute és la següent:

- Celulosa -	59 - 61 %
- Hemicel·lulosa -	22 - 24%

- Lignina -	12 - el 14%
- Grasses & ceres -	1,0 - 1,4%
- Matèria nitrogenada -	1,6 - 1,9%
- Contingut de cendres -	0,5 - 0,8%
- Pectina -	0,2 - 0,5%

La presència d'hemicel·lulosa en la seva composició denota en ell una higroscopicitat, per tant, és un material que absorbeix ràpidament l'aigua i a conseqüència les fibres s'inflen. El jute de Tossa és lleugerament més higroscòpic que el jute blanc.

### **Propietats físiques de les fibres de jute**

Si analitzem el promig de la densitat lineal d'un sol filament de jute, es troba al voltant de 1,3-2,6 Tex per al jute blanc i de 1,8-4.0 Tex per al jute Tossa amb una distribució totalment normal. Paral·lelament, les fibres més gruixudes són generalment les que presenten una força més elevada, i, en relació als dos tipus de jute, cal dir que el jute Tossa és més fort que el jute blanc.

Presenten una baixa extensibilitat, fet que produeix que la tenacitat de la gamma oscil·li entre 4,2 – 6,3 g/denier, variant en funció de la longitud de la fibra. L'allargament al trencament de les fibres es situa entre 1,0% i 1,8%.

Si el comparem amb el cotó i la llana, podem observar que aquest presenta una major rigidesa de torsió i flexió.

Pel que fa a l'absorció d'aigua, la fibra s'infla i augmenta un 45% transversalment i un 0,4% longitudinalment. Val a dir que durant aquest procés d'addició d'aigua, la tenacitat de la fibra augmenta inicialment fins a una humitat relativa del 20%.

Si supera el límit d'absorció d'humitat disminueixen la rigidesa a flexió i torsió de la fibra.

És un material altament aïllant tèrmic a causa del seu alt calor específic amb una temperatura d'ignició de l'ordre de 193 °C.

No es termoplàstic com altres fibres naturals i quan està exposat a un ambient calent redueix la força. A més a més és especialment sensible als àcids.

Si la fibra es presenta en estat sec és un bon resistent a l'electricitat. No obstant, quan s'humidifica perd totalment aquesta propietat a la resistència elèctrica.

## **Història**

Va ser a l'any 1757 quan la East India Company, després de la seva victòria a la batalla de Plassey, va acaparar i controlar administrativament i comercialment Bengala. Allí és on es va descobrir el potencial de la fibra de jute.

L'any 1791 va arribar a Anglaterra la primera mostra de planta de jute, i als voltants del 1820 es va introduït a Escòcia el centre de la indústria tèxtil de l'oest on la fibra més utilitzada era la de lli.

En aquest centre es va descobrir l'elevada força que presenta inicialment la fibra de jute i va ser allà quan el jute va prendre protagonisme.

El 1838 ja es fabricaven sacs de jute per a transportar el cafè de les plantacions de la Índia oriental, i com a conseqüència de dues guerres importants on els sacs eren primordials, el jute va esdevenir una empresa comercial molt sòlida.

Al 1870, va resultar que el sac de jute era el més demanat a causa del seu baix preu i de la bona qualitat que oferia.

Durant aquests últims 150 anys, la indústria del jute no ha perdut importància comercial i ha passat a ser una de la agroindústria supervivent més antiga del món. Algunes de les raons de la seva supervivència és l'afany de desenvolupar nous usos i tipologies de tèxtils de jute i la preocupació del medi ambient ha ajudat a innovar per a la creació de nous materials com a fibra de matriu.

L'aprofitament de la fibra com a material de biomassa també n'és una aplicació avui dia, gràcies a la cel·lulosa que presenta la fibra és un material apte.

## **Els geosintètics**

L'home ha estat tractant de superar els problemes relacionats amb el sòl des de les albrors de la civilització ja que les complexitats del comportament del sòl no eren conegudes per l'home en un passat llunyà. Les estructures ferroviàries, carreteres i la resta d'infraestructures han estat construïdes sobre el sòl, basant-nos en l'experiència sense saber molt de les diferents composicions de sòl i el seu comportament sota càrregues estàtiques i dinàmiques. De fet, ens vam adonar de la importància del sòl molt més tard, l'any 1940, sota pressió de la necessitat. La mecànica dels sòls, ara coneguda com Enginyeria Geotècnica, va prendre forma posteriorment com una disciplina diferent.

Curiosament, els materials naturals eren d'ús comú en el passat per evitar problemes provinents dels sòls. Trobem evidències d'ús d'estores teixides fetes de boga en alguns zigurats (temples) de Babilònia.

Aquestes pràctiques improvisades en algunes parts de l'Índia estan encara de moda. Fins i tot estolons d'arbres són sembrades en sòls fangosos per a facilitar el caminar en alguns països en desenvolupament. Els països desenvolupats són cada vegada més els que utilitzen la vella pràctica d'utilitzar la vegetació per controlar l'erosió de la superfície del sòl.

Els productes naturals van ser acorralats després del descobriment de materials polimèrics feta per l'esser humà l'any 1950. Va ser la pressió de la necessitat comercial que va impulsar la indústria connexa ubicada en països desenvolupats per diversificar. Van observar la disminució en el consum de materials tèxtils tradicionals derivades principalment de les importacions més barates de varietat de productes tèxtils procedents dels països en desenvolupament. Prenent l'exemple de la improvisació d'usos d'ingredients naturals a la superació dels problemes relacionats amb el sòl, els tecnòlegs van pensar en fer teixits artificials amb materials polimèrics com ara la poliamida o el polietilè, materials que poguessin satisfer les necessitats tècniques necessàries per a millorar la resistència del sòl i el seu comportament. Va ser així com es va originar el concepte de Geosintètics.

Els països desenvolupats com els Estats Units o els Països Baixos van començar amb uns geosintètics artificials per a la prevenció de l'erosió dels sòls, en particular des de principis de la dècada del 1950. Més tard, altres països van seguir l'exemple i, no és fins als anys seixanta quan a Europa els Geosintètics es van convertir mundialment populars. S'ha d'admetre que l'eficàcia dels Geosintètics fets per l'home es basa en anys d'investigació rigorosa, estudis i assajos sobre el terreny.

Els geosintètics es troben en el mercat en dos tipus generals diferents: els teixits i els no teixits. També inclouen teles teixides amb grans obertures i són generalment realitzats mitjançant l'entrellaçat de dos o més conjunts de fils / fibres / filaments / cintes. Els conjunts estan entreteixits amb un joc corrent en sentit longitudinal (ordit) i l'altre corrent a través de la trama. Els geosintètics teixits es classifiquen sobre la base del tipus de rosques o sobre la base de la funció de la tela. Els de tipus no teixits, en canvi, són fabricats per enganxat o enclavament de fibres discontinües, monofilaments o multifilaments que estan ja sigui a l'atzar o específicament orientats. La mecànica, la tèrmica o la química i la utilització de combinacions adequades d'aquests mètodes fan assolir el desitjat procés d'enganxat o d'entrellaçat de les fibres. És a dir, les geomalles enreixats de polímers són també les teles sense teixir. Els teixits de punt són bàsicament fets de fils paral·lels entrellaçats lateralment. Els punts d'entrellaçat no estan especialment enganxats en aquests teixits.



Les estores 3-D que són fabricades per extrusió de monofilaments / polímers o per aplicació de pressió en calent en fulls de polímer pot ser ubicat sota la categoria de no teixides. Aquestes estores són usades principalment per als drenatges.

Tant siguin teixits i no teixits, els geosintètics són permeables. No obstant, existeixen alguns en el mercat que són impermeables, anomenats geomembranes i que estan disponibles en forma de fulls plans. La diferència entre els geosintètics i les geomembranes és la capacitat de deixar o no passar l'aigua, la permeabilitat.

No tots els materials impermeables o barreres impermeables són classificats com a geomembranes, ja que aquestes són fabricades a partir de materials bituminosos o termoplàstics.

Les fibres naturals, tal i com es coneixen, es poden obtenir mitjançant 4 fonts principals:

- Fibres procedents de la fusta (fustes dures...)
- Fibres vegetals (jute, coco, cotó...)
- Fibres d'origen animal (llana, seda...)
- Fibres minerals (amiant, bigotis...)

Per suposat, no totes les fibres són apropiades per a crear geosintètics naturals. La disponibilitat que es presenta a gran escala i les propietats físiques de les fibres naturals són determinants pel que fa a la conveniència de la fabricació natural dels geosintètics, essent les fibres vegetals les més apropiades per a la fabricació.

La fibra de jute passa a ser l'ideal d'entre moltes de les fibres naturals a causa de la seva disponibilitat i per la presència de molt bones propietats físiques. De fet, la indústria del jute al subcontinent indi té darrere seu una riquesa d'experiència en la fabricació de filats de fibres, al costat de la tradició de l'extracció de fibres liberianes de la planta del mateix nom i altres processos paral·lels com el procés d'extracció de la fibra anomenat Retting.

El creixement de geosintètics durant les últimes tres dècades ha experimentat un notable creixement. L'any 1970, aproximadament es va fabricar uns 10,2 milions de m<sup>2</sup>, i és als anys 2006-2007 on el consum ha augmentat a 2.475 milions de metres quadrats. En un estudi realitzat per Freedonia Group ha previst que la demanda mundial de geosintètics podria arribar als 4.760.000.000 de metres quadrats l'any 2018. El mercat dels geosintètics es limita encara a EUA, Canadà, els països desenvolupats d'Europa Occidental, Japó i també Austràlia. Aquests països representen prop del 33% del consum global ara en l'actualitat. S'ha pronosticat que la regió d'Àsia i el Pacífic podria consumir el 53% de la demanda de geosintètics l'any 2018.

Tot i el creixement del sector del geotèxtil global, tant sols un 6% correspon a geosintètics de fibra natural fabricats amb jute o altres fibres.

La manca d'una adequada estratègia de màrqueting per part de les indústries afectades són les principals raons de la miserable quota d'utilització de geosintètics naturals. L'altre factor de l'escassa contribució de geosintètics naturals és la manca de treball sistemàtic i la manca d'estudi sobre el seu rendiment i comportament sobre el terreny i el grau de càrregues externes aplicades.

Els estudis realitzats fins ara no han aprofundit en els resultats ni en el rendiment dels geosintètics en quan a les aplicacions de camp. No obstant això, les coses han començat a canviar en la mesura que el jute es refereix. Un projecte internacional sobre els geotèxtils de jute ha estat portat de la mà amb l'important finançament del Fons Comú per als productes bàsics (FCPB), Amsterdam, un òrgan de l'ONU, amb la iniciativa del Grup Internacional d'Estudi del Jute, Bangladesh i el suport dels governs de l'Índia & Bangladesh. Els instituts de recerca com, IJT IJIRA BESUS, a l'Índia i a Bangladesh BJRI Buet, són les agències facilitadores del projecte. El principal objectiu del projecte és desenvolupar els geotèxtils de jute potencialment estudiant i aplicant en les àrees de control de l'erosió i la construcció de carreteres rurals. La indústria tèxtil mundial està ara preparada per a una nova transformació. Els usos innovadors dels tèxtils han obert noves vies d'investigació i estudis en tecnologia tèxtil.

### **Beneficis ambientals**

La fibra de jute presenta la capacitat de ser totalment biodegradable i reciclable, i per conseqüent, apta per al medi ambient sense necessitat d'atacar-lo.

Una hectàrea de plantes de jute consumeix al voltant de 15 tones de diòxid de carboni i allibera 11 tones d'oxigen. A banda, el cultiu d'aquesta planta fertilitza el sòl.



**Fotografia 1. Filaments de fibra de Jute. Font: Google**

## 5.2.2. El ciment

### Introducció

El ciment és un conglomerat hidràulic artificial de naturalesa inorgànica que en contacte amb l'aigua produeix una reacció d'hidratació. És un dels materials per excel·lència més importants que hi ha, ja que amb la seva utilització es fabriquen els morters i/o formigons i quasi bé mai s'empra sol.

### Història i evolució del ciment

La història del ciment és la història de l'esser humà i de la seva recerca d'un espai per viure amb la màxima seguretat, protecció i comoditat. Des dels seus inicis i fins a l'actualitat, els avenços tècnics han transformat aquest material en un element indispensable per al desenvolupament social i per a la millora de la qualitat de vida de les persones.

Des dels inicis de la humanitat, l'evolució de l'activitat constructiva ha estat íntimament lligada al coneixement i a l'ús dels materials, primerament en el seu estat natural, i posteriorment en un estadi més elaborat. Les primeres construccions es limitaven a tancaments i cobertes, creant zones protegides de l'exterior, tot utilitzant materials naturals, vegetals i minerals com a elements únics de les estructures. Més endavant es va fer ús de minerals amb característiques hidràuliques com són el guix i la calç, aconseguint així la unió d'elements primaris.

Els ciments s'han utilitzat històricament, com a mínim des de fa 8.000 anys, per a fer:

- Pastes de ciment (ciment + aigua)
- Morters (ciment + aigua + sorra)
- Formigons (ciment + aigua + sorra + àrids)

### Prehistòria

Fa aproximadament uns 8.000 anys es va originar un nou material, el formigó. Aquest material estava compost per la barreja de ciment, aigua, sorra i àrids més gruixuts (grava). Era un material que es podia emmotllar fàcilment i que una vegada endurit presentava característiques de resistència, durabilitat i solidesa elevats. Aquí doncs, va ser quan el ciment va jugar un paper molt important.

La construcció més antiga realitzada amb formigó és el terra d'una cabana a Lepensky Vir (Iugoslàvia). Aquesta construcció està datada del 5.600 a.C.

### Edat antiga

Està datat que el poble egipci ja utilitzava un morter (sorra, aigua i ciment) per tal d'unir uns blocs de pedra i així construir les seves meravelloses piràmides. Una petita part de les piràmides de Gizà, el 2.600 aC. va ser realitzada amb formigó, i en el mural de Tebes, any 1950 aC. es poden observar escenes d'homes produint formigó i aplicant-lo en una obra.

Els constructors grecs i romans van descobrir que certs materials procedents de dipòsits volcànics, barrejats amb calcària, sorra i aigua, produïen un morter de gran força, capaç de resistir l'acció de l'aigua dolça i salada. La civilització romana utilitzava el formigó en la construcció de grans edificis, també en la xarxa d'aigua potable i en l'evacuació d'aigües residuals. Entre d'altres exemples d'utilització de formigons, es poden destacar els següents:

- L'amfiteatre a Pompeià, construït el 75 a.C., mostra anelles de formigó al seu perímetre.
- El Coliseu de Roma, construït el 82 d.C., conté formigó en els fonaments, els murs interiors i l'estructura.
- El Panteó de Roma, construït el 127 d.C., compta amb formigó lleuger a la cúpula, de 50 m de diàmetre.
- A diverses canalitzacions d'aigua, en nombrosos exemples.

### Formigó medieval

Després del gran paper del formigó en les construccions de l'imperi romà, no es troben mostres del seu ús fins l'any 1.200, en què es tornà a fer servir per a la construcció de grans obres com la Catedral de Salisbury a Anglaterra, els fonaments de la qual estan fets amb formigó.

### Ciment Pòrtland

A partir de mitjans del segle XVIII, es començaren a realitzar una sèrie d'investigacions relacionades amb el ciment i el formigó. El 1.759, John Smeaton, un enginyer de Leeds, al Regne Unit, va desenvolupar un nou morter per a unir els blocs de pedra del far d'Eddystone. Al cap de pocs anys, el reverend James Parker va crear un nou ciment de manera accidental tot cremant unes pedres calcàries. Aquest nou ciment, denominat ciment romà perquè es pensava que era el que s'havia utilitzat a l'època romana, es va patentar i es va començar a utilitzar en diverses obres al Regne Unit.

Es pot dir amb encert que el primer pare del ciment va ser Vicat a ell es deu el sistema de fabricació que se segueix emprant en l'actualitat i que va proposar el 1817. Vicat va ser un gran investigador i divulgador dels seus treballs; l'any 1818 va publicar el seu "Recerques experimentals" i el 1928 "Morters i ciments calcaris". En aquests treballs marca la pauta a seguir en la fabricació del ciment per mitjà de mescles calcàries i argiles dosificades en les proporcions convenients. El sistema de fabricació que va emprar Vicat va ser el de via humida i amb ell va marcar l'inici de l'actual procés de fabricació. Aquest gran científic el 1853 va començar a estudiar l'acció destructiva de l'aigua de mar sobre el morter i formigó.

L'any 1824, James Parker i Joseph Aspdin van patentar un nou ciment hidràulic artificial, fabricat per la combustió conjunta de calcària i carbó, que van anomenar Pòrtland Cement pel seu color fosc, semblant a la pedra de la illa de Pòrtland. En els seus inicis aquest material no va ser gaire utilitzat, a causa del seu complex procediment de fabricació, que encaria la seva producció. Cap a finals del segle XIX, el procés d'industrialització i la introducció de forns rotatoris van propiciar l'extensió del seu ús per a tot tipus d'aplicacions. Actualment, i malgrat totes les millores tècniques produïdes (menys impacte ambiental i més prestacions), el ciment pòrtland continua essent, en essència, molt similar al primer que es va patentar.

L'any 1838 Brunel emprà per primera vegada un ciment procedent de la fàbrica de Aspdin en què s'havia aconseguit una parcial sinterització per elecció d'una temperatura adequada de cocció. Aquest ciment es va aplicar en la construcció d'un túnel sota el riu Tàmesi a Londres.

Es pot dir que el prototip del ciment modern va ser produït a escala industrial per Isaac Johnson qui en 1845 aconsegueix aconseguir temperatures prou altes per clinkeritzar a la barreja d'argila i calcària emprada com a matèria primera.

L'intens desenvolupament de la construcció de ferrocarrils, ponts, ports, dics, etc., en la segona meitat del segle XIX, dóna una importància enorme al ciment i les fàbriques d'aquest, especialment les de ciment natural, comencen a estendre per tot arreu.

És a partir de 1900 quan els ciments pòrtland s'imposen en les obres d'enginyeria i quan comença un descens veloç del consum de ciments naturals.

Les investigacions dutes a terme pels pares del ciment Michaelis i Le Chatelier, el 1870 i 1880, van ser fonamentals i molt meritòries per al desenvolupament d'aquest material. En elles es recolza tota la investigació actual que emprà tècniques d'anàlisi molt sofisticades i ràpides.

Època actual

Actualment, el ciment pòrtland ha arribat a una gran perfecció i és el material industrialitzat de construcció de més consum. Es pot dir que el ciment és l'ànima del formigó, anant destinada, pràcticament, tota la seva producció a enllaçar pedres soltes per crear el material petri que coneixem com formigó.

Els formigons fabricats amb ciment pòrtland admeten múltiples possibilitats d'aplicació. La seva diversitat de característiques posa a l'abast de la societat un ampli ventall de modalitats per a triar. Totes les modalitats de formigons han demostrat al llarg del temps les seves excel·lents propietats i el seu grau elevat de durabilitat i resistència, i així es pot constatar a les grans edificacions, a les obres públiques o als conjunts artístics (com ara escultures), mostra de la funcionalitat i el bon comportament.

**Tipus de ciments en el mercat**

Existeixen fins a 5 tipus de ciments actualment, tots ells regulats per la Norma UNE-EN 197-1:2000. Exceptuant el ciment tipus I, la resta són ciments amb addicions especials.

Tipos de cemento	Denominaciones	Designaciones
I	Cemento Portland	CEM I
II	Cemento Portland con adiciones	CEM II
III	Cemento Portland con escorias de horno alto	CEM III
IV	Cemento puzolánico	CEM IV
V	Cemento compuesto	CEM V

**Taula 1: Denominacions dels ciments. Font: Norma UNE-EN 197-1:2000**

Per la elaboració de les nostres provetes, hem utilitzat el CIMENT TIPUS I, sense cap mena d'addició i amb una resistència de 52,5 N/mm<sup>2</sup>.

**Composició del ciment tipus I**

Segons la taula que es presenta a continuació, el CEM I presenta la composició química següent:

Cemento	Composición de los compuestos (%)							pérdida en el encendido
	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF	CaSO <sub>4</sub>	CaO libre	MgO	
Tipo I	59	15	12	8	2.9	0.8	2.4	1.2
Tipo II	46	29	6 (8 máx)	12	2.8	0.6	3.0	1.0
Tipo III	60	12	12 (15 máx)	8	3.9	1.3	2.6	1.9
Tipo IV	30 (35 máx)	46 (40 mín)	5 (7 máx)	13	2.9	0.3	2.7	1.0
Tipo V	43	36	4 (5 máx)	12	2.7	0.4	1.6	1.0

Valores promedios típicos de la composición de los cementos Portland de distintos tipos.  
Los valores entre paréntesis son los límites especificados por ASTM C150-84.

Taula 2 : Composició dels components % del ciment. Font: Institut de Promoció de ceràmica.

### Exigències de durabilitat

Per moltes aplicacions, particularment en condicions ambientals severes, el tipus de ciment escollit influirà en la durabilitat dels morters i de les pastes. Per aquest motiu, a l'hora d'escollir un ciment, segons la norma europea, ens assegurarem que s'adapti al tipus i classe de resistència per a diferents aplicacions i classes d'exposició.

1	2	3	4	5
Propiedades	Ensayo de referencia	Tipo de cemento	Clase de resistencia	Exigencias <sup>1)</sup>
Pérdida por calcinación	EN 196-2	CEM I CEM III	Todas	≤5,0 %
Residuo insoluble	EN 196-2 <sup>2)</sup>	CEM I CEM III	Todas	≤5,0 %
Sulfato (SO <sub>3</sub> )	EN 196-2	CEM I CEM II <sup>3)</sup> CEM IV CEM V	32,5 N 32,5 R 42,5 N	≤3,5 %
			42,5 R 52,5 N 52,5 R	≤4,0 %
		CEM III <sup>4)</sup>	Todas	
Cloruros	EN 196-21	Todos <sup>5)</sup>	Todas	≤0,10 % <sup>6)</sup>
Puzolanicidad	EN 196-5	CEM IV	Todas	Cumplir con el ensayo

1) Las exigencias se dan en porcentajes en masa del cemento final.  
2) Determinación del residuo insoluble en ácido clorhídrico y carbonato de sodio.  
3) El cemento tipo CEM II/B-T puede contener hasta el 4,5% de SO<sub>3</sub> para todas las clases de resistencia.  
4) El cemento tipo CEM III/C puede contener hasta el 4,5% de SO<sub>3</sub>.  
5) El cemento tipo CEM III puede contener más de 0,10% de cloruros pero en tal caso, el contenido máximo se debe consignar en los envases y albaranes de entrega.  
6) Para aplicaciones de pretensado, el cemento se puede fabricar de acuerdo con valores más bajos. Si es así, se debe reemplazar el valor de 0,10% por este valor, el cual se debe consignar en los albaranes de entrega.

Taula 3 : Exigències químiques. Font: Norma UNE.

## **Designació dels ciments**

Els ciments tipus CEM s'identifiquen per el tipus de ciment i per la resistència. Per indicar la classe de resistència inicial, s'afegiran les lletres R o N, segons correspongui. Per tant, la designació completa d'un ciment segons la norma En 197-1 és:

Ciment Portland EN 197-1 – CEM / 52,5 R

## **Composició del Clíner**

El clíner del ciment Portland, el definirem com un material de caràcter hidràulic que està compost de com a mínim almenys 2/3 de la seva massa de silicats de calci  $[(CaO)_3.SiO_2]$  i de  $[(CaO)_2.SiO_2]$ . Els altres components són combinacions d'òxid d'alumini, òxid de ferro i altres òxids.

La relació en massa de  $CaO / SiO_2$  no haurà de ser menor que 2 i el contingut de d'òxid de magnesi no podrà sobrepassar el 5% en massa.



## 6. METODOLOGIA

### 6.1. Introducció

Una vegada realitzades diverses reunions amb el tutor Rafel Reixach, en Pere Mutjé i la Neus Pellicer, es va anar entreveient cap a quina direcció i quins objectius es volien assolir mitjançant la realització d'aquest treball.

La idea inicial era analitzar el comportament de la fibra de jute com a material de reforç de morters i/o formigons. No obstant, aquesta era una via molt extensa i de la qual no es coneixia el comportament inicial de la fibra amb la matriu principal d'aquests compostos, el ciment.

Així doncs, es va decidir encaminar el treball cap a l'anàlisi de les propietats que li confereix la fibra al ciment.

A primera instància, la fase del projecte consistia en fer proves visuals de diferents provetes analitzant posteriorment els resultats i observant quina línia perseguia. Aquesta fase consistia en utilitzar la manta de jute com a reforç de ciments, utilitzant diversos gramatges de fibra i seguint un procés operatiu de fabricació de les provetes igual per cadascuna de les mostres. Es volia analitzar si aquesta fibra dotava al compost d'unes resistències mecàniques més elevades en comparació a una mostra de ciment blanc.

No obstant, durant l'execució del procés es van detectar diverses problemàtiques enumerades a continuació que van fer desestimar la utilització d'aquesta manta de jute i buscar altres vies d'investigació més adients i productives.

- L'alt gramatge de les mantas de jute utilitzades no deixava que el ciment penetrés en elles i per tant no hi havia una impregnació correcta.
- Es van haver de realitzar uns prismes rectangulars d'acer per tal de poder premsar la mescla un cop introduïda als motlles.
- Al quedar la fibra enganxada als prismes rectangulars un cop es retiraven del motlle, es va haver de buscar una altra via per evitar aquesta problemàtica. Es va solucionar mitjançant la utilització de mostres de metacrilat blanc envoltats de film transparent i lubricats amb oli mineral.
- La fabricació d'una sola proveta era molt feixuga a causa del llarg procediment que requeria. A banda d'això, requeria de molt de temps de fabricació i en moltes ocasions la mescla ja començava el procés de curació abans de premsar-la.
- Durant el procés de premsat amb la premsa universal de 60 tones, era imprevisible saber en quin moment havies de parar per tal d'aconseguir un gruix uniforme en totes les mostres per a ser analitzades i comparades.

Finalment, es va optar per canviar la via d'investigació del projecte, analitzant dues opcions diferents de l'esmentada anteriorment:

- Comportament de la fibra de jute triturada com a reforç de ciments.
- Comportament de la malla de fibra de jute com a reforç de ciments.

Aquest canvi va agilitzar el desenvolupament del treball, i va donar pas al següent procediment:

- Recopilació d'informació (fase teòrica)
- Obtenció de la matèria primera (ciment i fibra)
- Fabricació de dos tipus de provetes diferents, amb fibres diferents (fase experimental)
- Obtenció de resultats dels assajos a flexió, compressió, densitat i consistència.
- Interpretació dels resultats i conclusions parcials.
- Conclusions generals

## 6.2. Maquinària i materials emprats

### 6.2.2. Materials emprats durant el transcurs del treball

Durant el procediment operatori del laboratori, s'han utilitzat una sèrie de materials per a realitzar les corresponents mostres. A mesura que avançava la part de laboratori era necessari treballar i utilitzar nous materials a causa dels problemes que sorgien durant el transcurs del treball. A continuació es mostra un seguit de materials emprats.

- La matriu de les mostres, el ciment pòrtland Tipus I amb una resistència de 52,5 N/mm<sup>2</sup>.



Fotografia 2: Ciment pòrtland Tipus I. Font: pròpia

- Motlles normalitzats d'acer per a la fabricació de les provetes. Mesura de 1600 x 400 x 400 mm.



**Fotografia 3: Motlles d'acer per realitzar les provetes. Font: pròpia**

- Taula de sacsejades normalitzada per norma UNE-EN 1015-3 2000.



**Fotografia 4: Taula de sacsejades normalitzada. Font: pròpia**

- Acetona per dur a terme la neteja i l'assecat del picnòmetre, utilitzat per l'assaig de densitat.



Fotografia 5: Acetona per assaig de densitat. Font: pròpia

- Picnòmetre per l'assaig de densitat.



Fotografia 6: Picnòmetre. Font: pròpia

- Morter tixotròpic per a la utilització del refractat de les provetes de malla.



Fotografia 7: Morter tixotròpic per el refractat. Font: pròpia

- Nivell per mesurar la planeïtat de les provetes.



Fotografia 8: Nivell utilitzat en el refractat de provetes. Font: pròpia

- Bosses de polietilè per al curat de les provetes.



Fotografia 9: Bossa de polietilè per al curat de les provetes. Font: Imatges de Google.

- Malla de jute per l'elaboració de provetes.



Fotografia 10: Diferents tipus de malla de jute. Font: pròpia

- Filferro d'acer galvanitzat de  $\Theta 2$  mm.



Fotografia 11: Filferro d'acer galvanitzat de d 2mm. Font: Imatges de Google.

- Fibra triturada de jute per a la realització de les provetes.



Fotografia 12: Fibra de jute triturada. Font: pròpia.

### 6.2.3. Maquinària emprada durant el transcurs del treball

- Amasadora normalitzada per a dur a terme la mescla del compost.



Fotografia 13: Amasadora. Font: pròpia.

- Cambra d'humitat on es dipositen les provetes realitzades per mantenir les condicions de temperatura i humitat



Fotografia 14: Cambra d'humitat. Font: pròpia.

- Balança per determinar els pesos dels materials i de la mescla a dur a terme.



Fotografia 15: Balança. Font: pròpia

- Màquina d'aire comprimit per dur a terme l'assecat del picnòmetre.



Fotografia 16: Màquina d'aire comprimit. Font: pròpia.

- Premsa universal de 60 tones per a la realització de l'assaig a compressió.



Fotografia 17: Premsa universal de 60 tones. Font: pròpia.



- Premsa hidràulica de 5000N per l'assaig a flexió.



Fotografia 18: Premsa hidràulica de flexió. Font: pròpia.

### 6.3. Assajos realitzats

Durant el transcurs del treball, s'ha cregut oportú dur a terme els assajos que es detallaran a continuació per tal d'esbrinar no només les propietats mecàniques, sinó també altres valors importants que són d'especial utilitat. Així doncs, a continuació s'explicaran els assajos de densitat, de consistència del ciment fresc, de flexió i finalment els de compressió.

#### 6.3.1. Assaig de densitat

##### 6.3.1.1. Introducció

Per a determinar la densitat aparent de les provetes en sec es pot optar per dos vies diferents de càlcul. Tot i que existeix una normativa específica, la norma UNE-EN 1015-10:2000, en aquest treball, s'ha optat per la utilització del càlcul de densitat mitjançant la tècnica del picnòmetre, el qual també serveix per obtenir aquests resultats.

Aquesta tècnica s'utilitza bàsicament per determinar la densitat aparent en partícules inferiors a 31,5mm. No obstant, nosaltres hem realitzat una compressió del material a assajar per a reduir el mesures de la proveta i poder realitzar aquest assaig.

##### 6.3.1.2. Procediment operatori i càlculs

El procediment operatori que es segueix en aquest tipus de tècnica és la descrita en el diagrama que es mostra a continuació.

Cal tenir en compte que l'aigua utilitzada per a la realització dels pesos ha de ser destil·lada. A més a més, s'utilitzarà acetona per netejar el picnòmetre i mitjançant aire comprimit s'assecarà. Cada vegada que es netegi i s'assequi el picnòmetre caldrà pesar-lo per comprovar que segueix tenint el mateix pes que inicialment, això significarà que no queden restes de mostra o d'aigua en el seu interior.

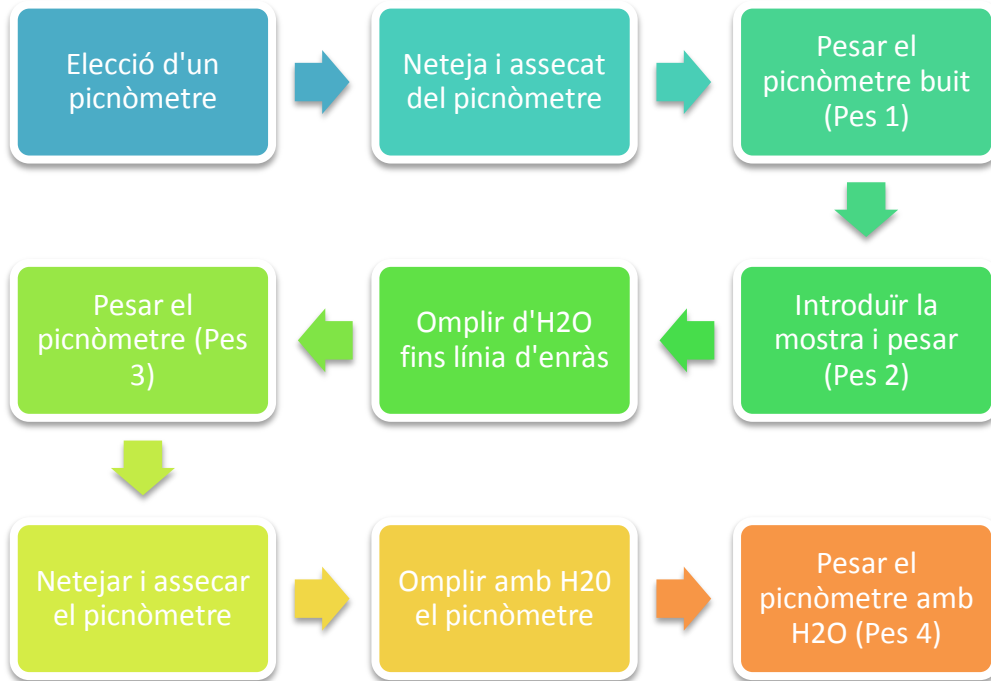
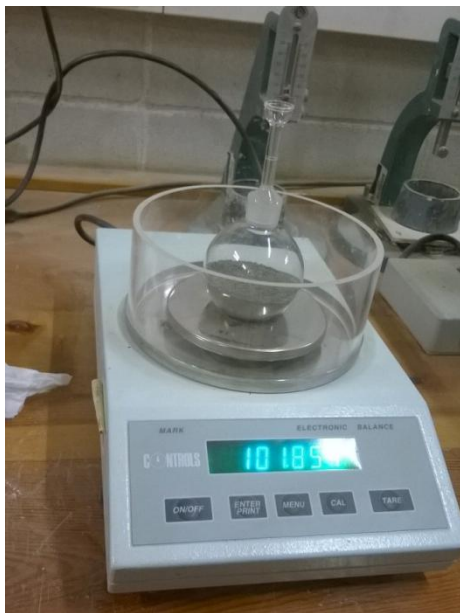


Diagrama 1: Procediment operatiu tècnica picnòmetre. Font: pròpia.



Fotografia 19: Exemple tècnica del picnòmetre. Font: pròpia



Fotografia 20: Exemple tècnica del picnòmetre. Font: pròpia

Així doncs, mitjançant aquest procediment s'obtenen els següents resultats:

**Pes nº 1** → Pes del picnòmetre buit (g)

**Pes nº 2** → Pes del picnòmetre + quantitat de mostra (g)

**Pes nº 3** → Pes del picnòmetre + quantitat de mostra + quantitat H<sub>2</sub>O (g)

**Pes nº 4** → Pes del picnòmetre + quantitat H<sub>2</sub>O (g)

El pes específic de l'aigua destil·lada = 1 g/cm<sup>3</sup>. Mitjançant la fórmula de la densitat i els resultats obtinguts calcularem el valor.

$$\text{Densitat } (\rho) = \text{massa (g)} / \text{volum (cm}^3\text{)} = \text{g/cm}^3$$

$$\text{Massa} = \text{Pes nº 2} - \text{Pes nº 1} = A$$

$$\text{Quantitat d'aigua total} = \text{Pes nº 4} - \text{Pes nº 1} = B$$

$$\text{Quantitat d'aigua en la mostra} = \text{Pes nº 3} - \text{Pes nº 2} = C$$

$$\text{Volum mostra} = B - C = D$$

$$\text{Densitat} = A \text{ (g)} / D \text{ (cm}^3\text{)}$$

## 6.3.2. Assaig de consistència

### 6.3.2.1. Introducció

Per a caracteritzar el ciment fresc, es mesura el nivell de consistència mitjançant la taula de sacsejades. Es pot definir la consistència com una mesura que representa la humitat i la fluïdesa del morter fresc, la qual proporciona una mesura de deformació quan està exposat a un tipus d'esforç. La normativa de referència per al ciment que s'ha aplicat per a la realització de l'assaig és la Norma UNE-EN 1015-3 de l'any 2000 "Determinació de la consistència del morter fresc".

### 6.3.2.2. Aparells

Per a dur a terme aquest assaig específic, és necessari uns materials normalitzats tals com:

- La taula de sacsejades
- Un motlle d'acer inoxidable o de llautó de 60 mm ± 0,5 mm altura amb diàmetre interior de 100 mm ± 0,5 mm a la base i de 70 mm ± 0,5 mm a la part superior.
- Un pistó compactador
- Un regle per enrasar la mescla

- Un element de mesura per mesurar fins a 300 mm de diàmetre amb precisió



Fotografia 21: Exemple taula de sacsejades amb mostra de morter fresc. Font: pròpia

### 6.3.2.3. Procediment operatori segons normativa

Abans d'iniciar l'assaig de consistència és necessari obtenir una superfície de la taula de sacsejades neta. Aplicarem oli mineral com a desencofrant al plat de la taula de sacsejades i a l'interior del motlle per evitar que el material quedi atrapat.

Seguidament, col·locarem el motlle al centre del disc de la taula de sacsejades i introduïrem el ciment fresc en dues tongades, tot compactant amb 10 cops de pistó a cada tongada.

Agafarem el regle i enrasarem la superfície, tot passant un paper per netejar l'excés de mescla que pot quedar. Transcorreguts 15 segons aixecarem amb cura el motlle donant-li també 15 cops de pistó a poder ser amb una freqüència de 15 segons, 1 segon per cada sacsejada.

Finalment, mesurarem el diàmetre de la mescla amb el peu de rei, mesurant en els dos sentits i obtenint dos valors.

### 6.3.2.4. Càlcul dels resultats

Els dos valors obtinguts mitjançant la mesura del diàmetre, ens mostren el valor d'escorrentia del ciment fresc. Per analitzar i calcular aquest valor, es farà la mitja dels dos valors obtinguts i aquest ens mostrarà a partir d'unes taules, quina consistència té el material.

Hem de tenir en compte que, si algun dels dos valors difereix en més del 10% del valor mig, es repetirà l'assaig analitzant dues altres mostres.

A partir del valor d'escorriment en mm, podem designar si és seca, plàstica o fluïda.

Mortero Fresco	Consistència (Escurrimiento en mm)	Designación
Seco	< 140	S
Plàstico	140 a 200	P
Fluido	> 200	F

Taula 4 : Tipus de consistència del ciment fresc. Font: norma UNE-EN 1015:3 2000.

### 6.3.3. Assaig de flexió

#### 6.3.3.1. Introducció

Una de les propietats i característiques més rellevants i objecte d'estudi d'aquest treball, és la resistència a flexió de les mostres analitzades.

S'estudiarà i analitzarà el comportament de les mostres realitzades a diferents edats de curació, essent així 7 dies, 14 dies, 21 dies i 28 dies.

Les provetes es realitzaran d'acord amb el que estableix la normativa UNE-EN 1015:11.

#### 6.3.3.2. Preparació i conservació de les provetes

Les provetes han de tenir forma de prisma, amb unes dimensions normalitzades per normativa de 1600 x 400 x 400 mm i s'han de preparar 3 provetes de cada sèrie.

Abans d'afegir la mescla en els motlles normalitzats, es col·locarà una capa lleugera d'oli mineral per tal de lubricar la zona i que servirà com a desencofrant.

Durant els dos primers dies, les provetes es fabricaran de tal manera que un cop introduïda la mescla dins del motlle, aquest s'introduirà dins d'una bossa de polietilè per tal de conservar la humitat i temperatura. Transcorreguts dos dies, es desemmotllaran els motlles i s'introduiran a la cambra a humitat i temperatura constant fins el dia en que s'hagin d'assajar.

#### 6.3.3.3. Aparells

És necessari una màquina per assajar capaç d'aplicar la càrrega a una velocitat específica com mostra la taula següent.

**Tabla 2**  
**Requisitos para las máquinas de ensayo**

Repetibilidad máxima admisible de las fuerzas en porcentaje de la fuerza nominal	Error medio máximo admisible de la fuerza en porcentaje de la fuerza nominal	Error máximo admisible de la fuerza cero en porcentaje de la fuerza máxima del recorrido
%	%	%
2,0	± 2,0	± 0,4

**Taula 5 : Requisits de les màquines d'assaig a flexió. Font: norma UNE-EN 1015:11**

#### **6.3.3.4. Procediment operatori segons normativa**

Les provetes s'assajaran en els dies establerts de 7, 14, 21 i 28 dies després de la seva fabricació. S'haurà de netejar la proveta amb un paper per tal d'evitar partícules en les seves cares que puguin afectar al trencament. La càrrega aplicada s'aplica evitant acceleracions brusques i a una velocitat uniforme d'entre 10 N/s i 50 N/s, produint la ruptura entre 30 i 90 segons. Un cop produïda aquesta ruptura, s'anota el major resultat i es guarden els dos trossos de cada proveta per a ser assajats posteriorment a compressió.

Totes les provetes assajades a flexió, han estat analitzades amb una màquina de precisió de 5.000 N ubicada en el Parc tecnològic de la UdG.



**Fotografia 22: Realització de trencament a flexió. Font: pròpia**

### 6.3.3.5. Càlcul dels resultats

Segons aplica la normativa, el càlcul de la resistència a flexió es calcula mitjançant la fórmula següent:

$$R_f = (1,5 * F * l) / b^3$$

Tenint que:

$R_f$  → la resistència a flexió (Mpa)

$l$  → la distància entre els suports (mm)

$b$  → el costat de la secció del prisma (mm)

$F$  → la força aplicada al centre del prisma (N)

Es registra la resistència a flexió de cada proveta, aproximadament a 0,05 N/mm<sup>2</sup>. El valor mig es calcula amb una aproximació de 0,1 N/mm<sup>2</sup>.

## 6.3.4. Assaig de compressió

### 6.3.4.1. Introducció

L'altra propietat mecànica analitzada en aquest treball és la resistència a compressió. Tal i com s'ha anomenat anteriorment en l'apartat de flexió, les provetes fabricades s'analitzaran a 7, 14, 21 i 28 dies respectivament. Aquests valors ens marquen la referència de la càrrega màxima que pot suportar una vegada s'està comprimint abans de la ruptura.

### 6.3.4.2. Preparació i conservació de les provetes

La preparació i la conservació de les provetes és exactament la mateixa que l'anomenada anteriorment en l'apartat de flexió. Les provetes assajades a flexió es divideixen en dos unitats, i aquestes dues unitats són les que s'assagen a compressió, tenint així 6 valors representatius de cada sèrie diferent.

### 6.3.4.3. Aparells

Per a la realització d'aquest assaig és necessària una màquina capaç d'aplicar càrrega a una velocitat específica i uniforme. És necessari de dos plats de recolzament amb una duresa superficial de com a mínim 600 HV.

La maquinària utilitzada en aquest assaig està normalitzada i permet aplicar una càrrega màxima de 60 tones. La premsa universal utilitzada per a aquest assaig es troba als laboratoris de construcció de l'Escola Politècnica Superior.



Fotografia 23: Premsa universal de 60T. Font: pròpia

#### 6.3.4.4. Procediment operatori segons normativa

El procediment que s'ha efectuat per a dur a terme aquest assaig consta dels següents passos:

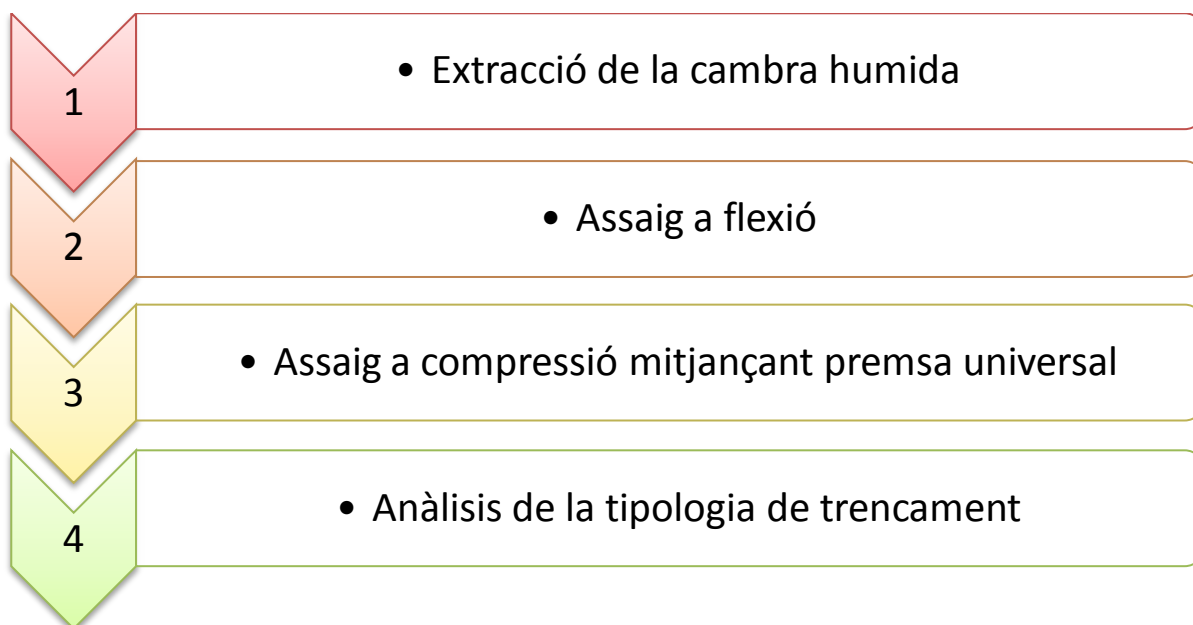


Diagrama 2: Procediment operatori d'assaig a compressió. Font: pròpia.



Primerament s'extreuen les provetes a assajar de la cambra humida i es deixen aclimatar a temperatura i a humitat durant un període d'una hora aproximada per que les mostres no puguin ser afectades per el canvi brusca de les condicions a les quals estava sotmesa. De mentre, s'ha d'assegurar una correcta neteja dels plats i de la premsa universal per tal d'obtenir una superfície d'assaig totalment plana i sense cap mena d'obstacle que pugui influir en el resultat de les mostres.

Un cop transcorregut el temps d'aclimatació, les mostres ja estan llestes per ser assajades. Primerament durem a terme l'assaig de flexió, en el qual s'assagen les 3 mostres de cada sèrie. Un cop assajades les provetes, obtenim un total de 6 mostres de cada sèrie per assajar a compressió. És molt important situar la mostra al centre dels plats per mantenir una càrrega uniforme a tota la superfície.

La velocitat de càrrega s'ha de mantenir constant a mesura que la proveta es va deformant ràpidament abans del trencament. Un cop acabat l'assaig, mitjançant el programa específic de mesura de la càrrega aplicada, s'anota els 6 resultats obtinguts de cada sèrie per a calcular-ne la resistència a compressió.



**Fotografia 24: Exemple d'assaig a compressió de proveta amb malla. Font: pròpia.**



**Fotografia 25: Exemple d'anàlisi del tipus de ruptura. Font: pròpia**

### 6.3.4.5. Càlcul dels resultats

Es calcula la resistència a compressió  $R_c$  (Mpa) mitjançant la fórmula següent:

$$R_c = F_c / 1600$$

On tenim:

$R_c$  → Resistència a compressió (Mpa)

$F_c$  → Càrrega màxima de ruptura (N)

1600 → 40 mm x 40 mm, la qual es la superfície dels plats o plaques auxiliars (mm)

Es registra la resistència de cada proveta amb una aproximació de 0,05 N/mm<sup>2</sup>. Es calcula la mitjana dels 6 valors amb una aproximació de 0,1 N/mm<sup>2</sup>.

S'ha de tenir especial cura en que, si un dels resultats de les 6 determinacions varia en ± 10% respecte de la mitjana, es descarta aquest resultat i es calcula la mitja aritmètica dels 5 resultats restant. Si algun d'aquests altres 5 valors presenta un valor ± 10% de la mitjana, es descartarà la totalitat de la sèrie.

## 6.4. Procés operatiu inicial del treball

L'estada al laboratori es va iniciar un cop va arribar el material inicial de manta de jute al laboratori de construcció. Va ser en aquell moment quan es van engegar els motors d'aquest treball.

Inicialment, es va treballar amb dos tipus de manta de jute de gramatges diferents, un corresponent a un gramatge de 1200 g/m<sup>2</sup> i el següent de 500 g/m<sup>2</sup>.



Fotografia 26: Manta de fibra de jute de gramatge 1200 g/m<sup>2</sup>. Font: pròpia

En una visita d'en J. Claramunt, professor de la UPC, el qual treballa amb materials compostos, va explicar el procés operatiu que utilitzava per a dur a terme compostos amb fibra com a reforç, afegint capa rere capa de manta de fibra de jute i utilitzant una mescla molt líquida per a garantir la impregnació d'aquesta mescla. No obstant, utilitzava gramatges molt reduïts, de l'ordre de 200 g/m<sup>2</sup> i les mostres que realitzava no eren en motlles normalitzats i tenien una altura màxima 1 cm aproximadament.

A partir d'aquí, es va realitzar una sèrie de mostres de prova per esbrinar i garantir la impregnació d'aquesta manta. Es van utilitzar els motlles normalitzats d'acer inoxidable de 1600 x 400 x 400 mm per a la fabricació de provetes. No obstant, aquestes tenien una alçada aproximada d'entre 1 i 2 cm de gruix ja que era molt complicat mantenir un gruix constant a totes les mostres.

Es van fabricar uns prismes rectangulars d'acer per tal de ser introduïts dins del motlle normalitzat per a premsar la mescla i treure l'aigua resultant.

El procés operatiu que es seguia per a la fabricació d'aquest tipus de provetes era el següent:

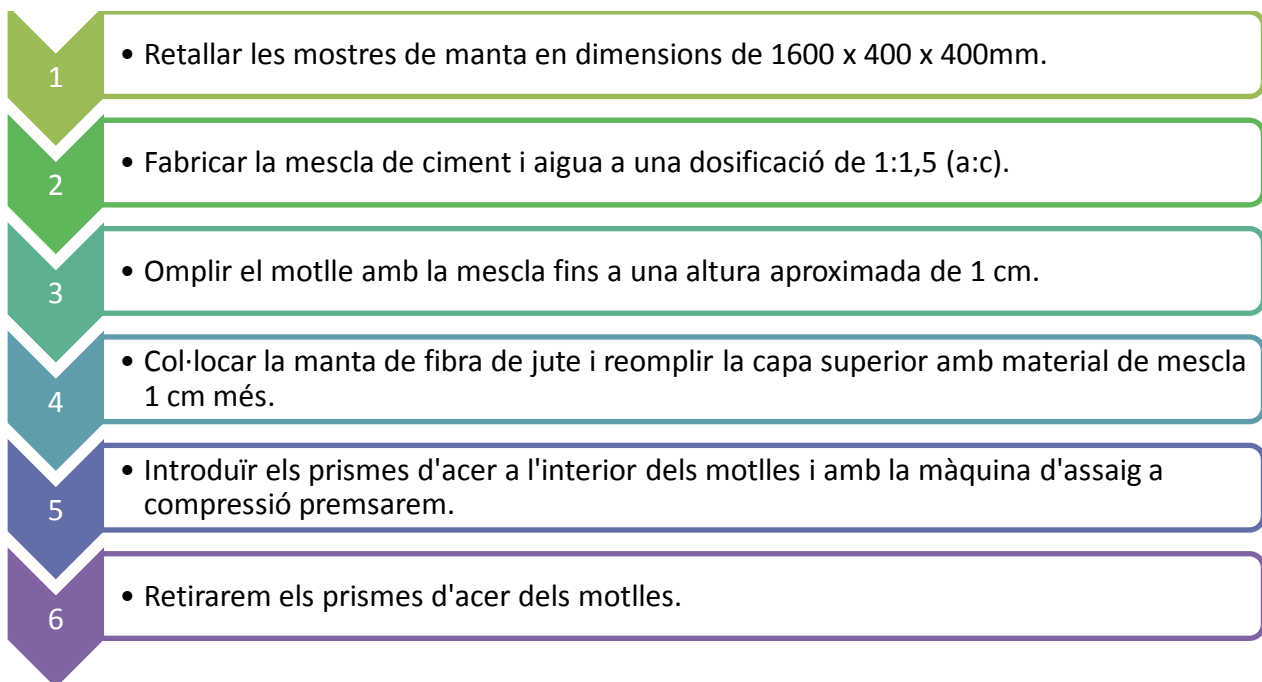


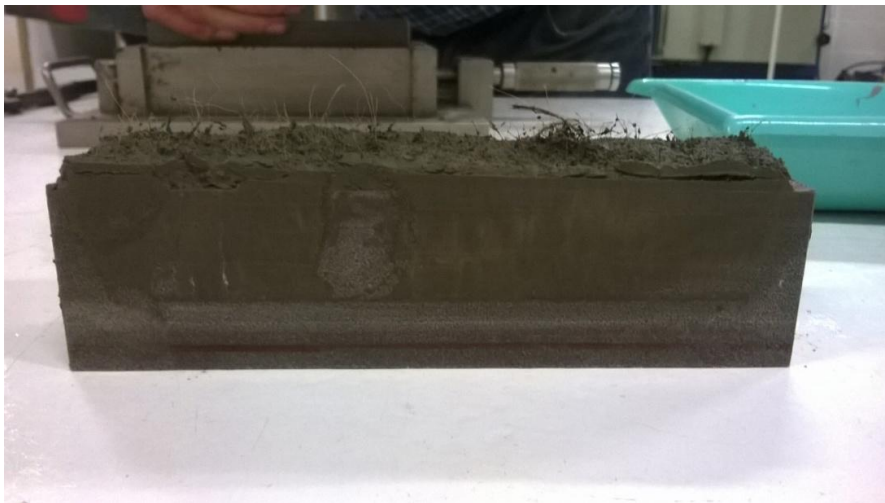
Diagrama 3: Procediment de fabricació de les primeres provetes amb manta de jute. Font: pròpia

A mesura que s'avançava amb la realització de les provetes sorgien complicacions que requerien una solució immediata per a poder seguir avançant.

Tot i aplicant líquid desencofrant als motlles i als prismes d'acer, al retirar els prismes del motlle una vegada premsat, la fibra quedava enganxada a la part inferior dels prismes.



Fotografia 27: Motlle normalitzat amb els prismes rectangulars premsant la mescla. Font: pròpia



Fotografia 28: Resultat de retirada del prisma del motlle. Font: pròpia



Fotografia 29: Proveta inicial amb manta de jute. Font: pròpia

Per a solucionar aquest problema, es va utilitzar uns retalls de metacrilat blanc folrats amb paper transparent i untats amb l'oli mineral desencofrant.



Fotografia 30: Material de metacrilat blanc. Font: pròpia

Tot i solucionar el problema dels prismes, la manta de jute no quedava impregnada a causa del seu elevat gramatge, ni la de gramatge 1200 g/m<sup>2</sup> ni la de 500 g/m<sup>2</sup>. En les fotografies que es mostren a continuació es mostra clarament la no impregnació de la manta.



Fotografia 31: Mostra realitzada amb manta de jute de 1200 g/m<sup>2</sup>. Font: pròpia



Fotografia 32: Mostra realitzada amb manta de jute de 500 g/m<sup>2</sup>. Font: pròpia

Un cop analitzat el mal resultat de la manta, es va demanar un gramatge més petit, corresponent a un gramatge de 200 g/m<sup>2</sup> i es va canviar el procediment operatori, utilitzant ja les dimensions del motlle normalitzat i no premsant amb el dau la mescla. A més a més ja s'opta per la utilització de dues fibres en la mateixa proveta, treballant com a positiu i negatiu a 1 cm aproximat de la base i de la part superior del motlle.

No obstant, segons la fotografia que es mostra a continuació, la fibra tampoc semblava impregnada de ciment i a més a més es creaven punts crítics per el desplaçament que es duia a terme de la manta a l'interior de la proveta un cop iniciat el procés de curació de la mateixa. Aquests desplaçaments es devien a la no utilització de cap mena de separador i per la fluïdesa de la dosificació utilitzada.



**Fotografia 33: Mostra realitzada amb manta de jute de 200 g/m<sup>2</sup>. Font: pròpia**

Per aquest motiu, finalment es va descartar la utilització de la manta de jute com a via d'investigació i es va optar per analitzar dues opcions totalment diferents:

1. Investigació del comportament de la fibra triturada com a material de reforç en ciments.
2. Investigació del comportament de la fibra en malla com a material de reforç en ciments.

A continuació, s'explicarà detalladament cadascuna de les dues línies d'investigació, incloent la part de resultats experimentals i les conclusions a les quals s'ha arribat.

## 7. OPCIO 1: PROVETES REALITZADES AMB FIBRA TRITURADA

### 7.1. Introducció

Un dels motius principals d'estudi d'aquesta modalitat de proveta, és l'especial interès en el seu funcionament donant peu al raonament el qual, es parteix que la proveta quedarà totalment impregnada de la fibra, essent una distribució molt més homogènia ja que totes i cadascuna de les parts presentaran un mínim de reforç.

Tot i que ja s'han estudiat algunes propietats de fibres triturades com a materials de reforç, en aquest treball s'ha cregut oportú estudiar la reacció que comportarà aquesta fibra en concret i si s'escau, comparar-la amb la fibra amb malla.

En aquest treball s'han estudiat diferents % d'addició de fibra a la mescla, essent aquests valors inicials duts a terme % en pes/pes sobre el pes del ciment.

Es va escollir analitzar primerament les addicions de 1%, 2%, 3%, 4% i 5%, totes elles en (w/w) sobre el pes del ciment, per veure l'evolució de reforç de la fibra i analitzar si era lineal o no.

Més endavant es va decidir també analitzar un % d'addició de fibra més elevat a l'atzar, per veure'n el seu comportament i avaluar-ne les conseqüències, que serà el 10% (w/w) d'addició sobre el pes del ciment.

S'han analitzat les densitats de cada tipus de proveta diferent per tal de convertir el % d'addició de fibra en (w/w) a (v/v) i expressar-ho de la última forma.

Es mostraran els resultats de consistència, densitat, resistència a flexió i resistència a la compressió respecte la mostra del ciment blanc per veure'n la diferència.

Totes les provetes de fibra triturada estan compostes per una relació aigua:ciment de 1:1,5.



Fotografia 34: Exemple de provetes amb augment de fibra addicionada. Font: pròpia

## 7.2. Procés de fabricació de les provetes amb fibra triturada

El procés de fabricació de les provetes amb fibra triturada afegida a la pasta de ciment, segueix una metodologia clara i igual per a totes les dosificacions. A diferència del ciment blanc, el qual es fa la mescla sense cap mena d'addició.

A continuació enumerarem els passos a seguir per la fabricació d'aquestes provetes de fibra:



Diagrama 4: Procediment operatiu per a la fabricació de les provetes amb fibra. Font: pròpia



### 7.3. Dosificació

A continuació, es mostren un seguit de dosificacions utilitzades durant la realització d'aquestes sèries de provetes. Es pot comprovar que en el nº de dosificació el % d'addició ja està convertit en (v/v) i per comparar millor amb les gràfiques, el valor d'addició serà en (w/w) com es va realitzar des d'un inici.

Es presenten un total de 7 dosificacions diferents, totes elles es poden comparar ja que la seva relació aigua:ciment és la mateixa.

DOSIFICACIONS						
Nº DOSIFICACIÓ	Relació a:c	Tipus d'addicions	Valor d'addició (w/w) %	Aigua (gr)	Ciment (gr)	Fibra (gr) (w/w)
CB R 1:1,5	R 1:1,5	CAP	--	600,00	900,00	--
R 1:1,5 + 1,67% (v/v)	R 1:1,5	Fibra de jute	1%	600,00	900,00	9,00
R 1:1,5 + 3,31% (v/v)	R 1:1,5	Fibra de jute	2%	600,00	900,00	18,00
R 1:1,5 + 4,94% (v/v)	R 1:1,5	Fibra de jute	3%	600,00	900,00	27,00
R 1:1,5 + 6,54% (v/v)	R 1:1,5	Fibra de jute	4%	600,00	900,00	36,00
R 1:1,5 + 8,12% (v/v)	R 1:1,5	Fibra de jute	5%	600,00	900,00	45,00
R 1:1,5 + 15,75% (v/v)	R 1:1,5	Fibra de jute	10%	700,00	1.050,00	105,00

Taula 6: Dosificacions. Font: pròpia

Després d'esmentar les diferents dosificacions i les diferents proporcions i quantitats de materials necessaris per la realització de cada una de les mateixes, s'adjunta un diagrama de sectors per fer més fàcil i senzill la interpretació dels materials utilitzats per la realització de cadascuna de les dosificacions anteriorment citades.

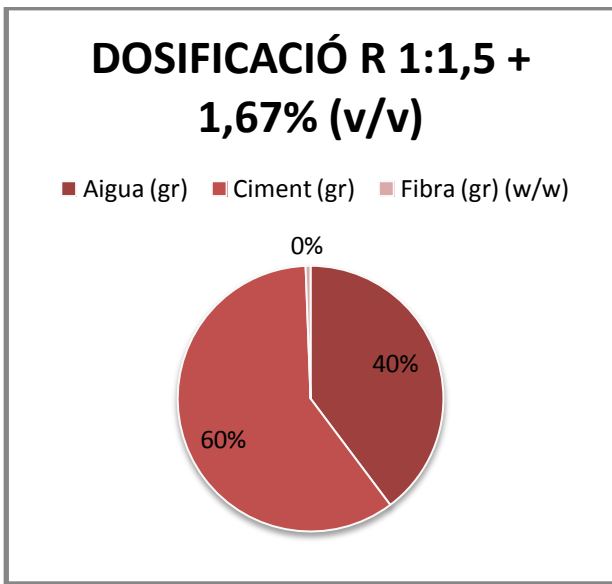


Diagrama 5: Dosificacions R1:1,5 + 1,67% (v/v). Font: pròpia

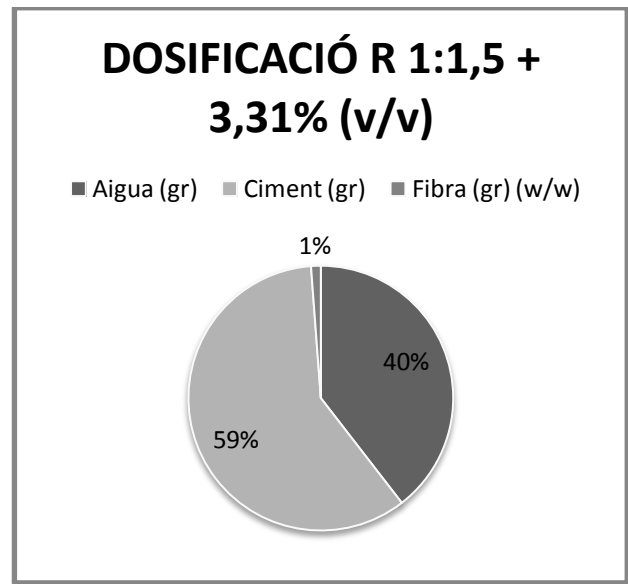


Diagrama 6: Dosificacions R1:1,5 + 3,31% (v/v). Font: pròpia

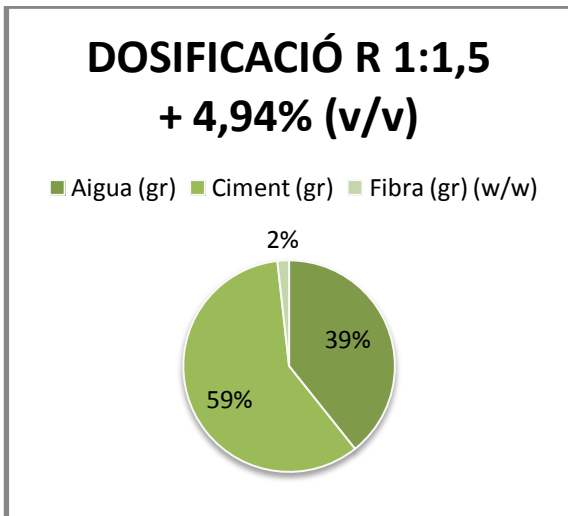


Diagrama 7: Dosificacions R1:1,5 + 4,94% (v/v). Font: pròpia

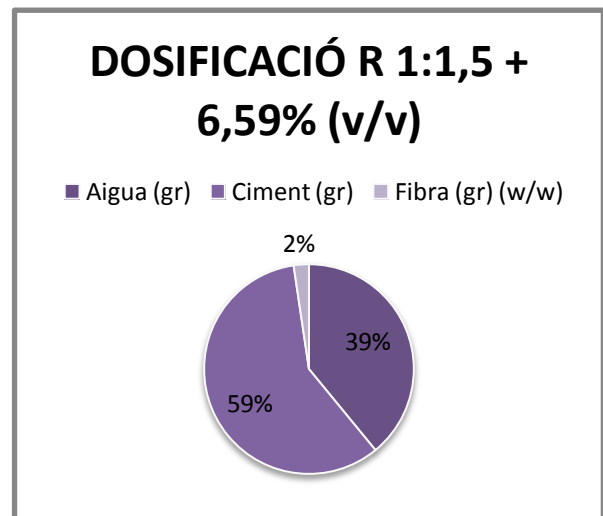


Diagrama 8: Dosificacions R1:1,5 + 6,59% (v/v). Font: pròpia

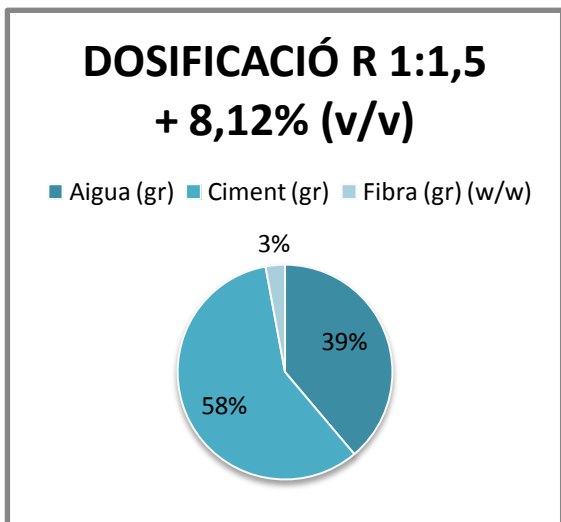


Diagrama 9: Dosificacions R1:1,5 + 8,12% (v/v). Font: pròpia

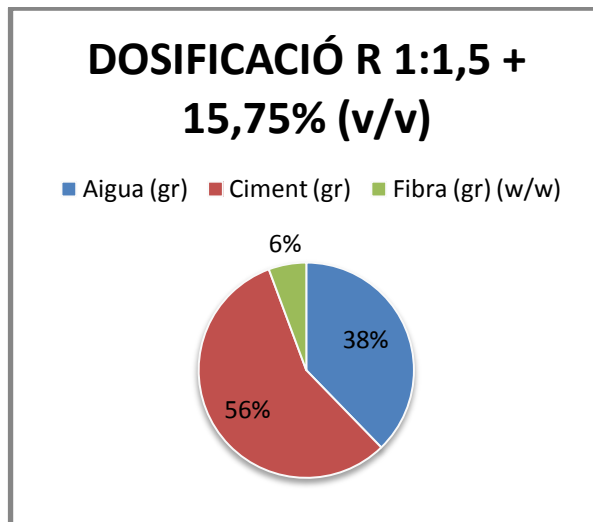


Diagrama 10: Dosificacions R1:1,5 + 15,75% (v/v). Font: pròpia

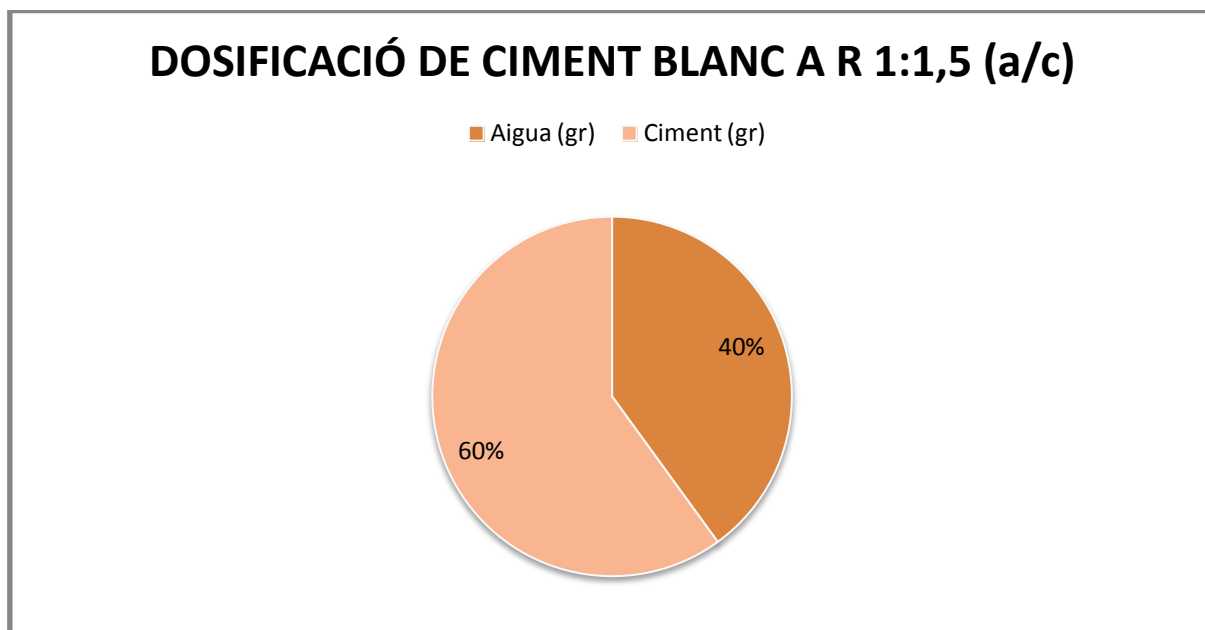


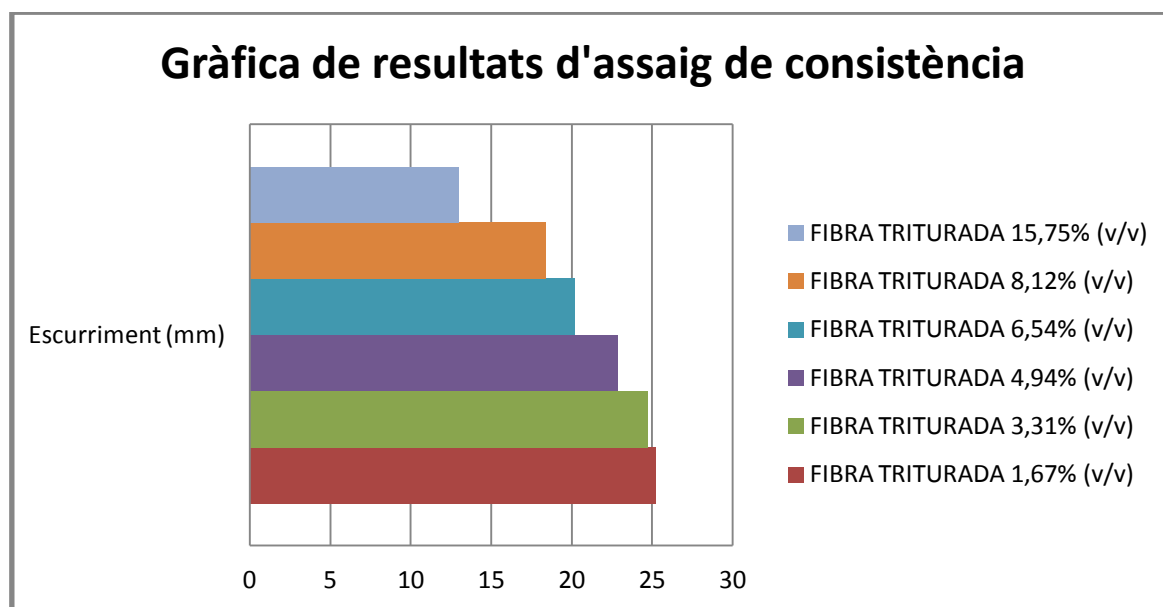
Diagrama 11: Dosificacions ciment blanc R1:1,5 . Font: pròpia

## 7.4. Resultats assaig de consistència

L'assaig de consistència ens mostra el valor d'escorriment per a cada tipus de dosificació diferent, donant així una designació a cada sèrie analitzada.

ASSAIG DE CONSISTÈNCIA				
SÈRIE	Valor 1 (mm)	Valor 2 (mm)	Escorriment (mm)	Designació
<b>CIMENT BLANC R 1:1,5 (w/w)</b>	--	--	--	Fluida
<b>FIBRA TRITURADA 1,67% (v/v)</b>	25,2	25,3	25,25	Fluida
<b>FIBRA TRITURADA 3,31% (v/v)</b>	24,6	24,8	24,7	Fluida
<b>FIBRA TRITURADA 4,94% (v/v)</b>	22,8	22,9	22,85	Fluida
<b>FIBRA TRITURADA 6,54% (v/v)</b>	19,9	20,5	20,2	Fluida
<b>FIBRA TRITURADA 8,12% (v/v)</b>	18,7	18	18,35	Plàstica
<b>FIBRA TRITURADA 15,75% (v/v)</b>	13,4	12,5	12,95	Seca

Taula 7: Resultats d'assaig de consistència. Font: pròpia



Gràfica 1: Gràfica de resultats d'assaig de consistència. Font: pròpia

La fibra triturada de jute, és un material higroscòpic, per tant, quan està en contacte amb l'aigua, n'absorbeix una part.

Així doncs, és productiu pensar que a major contingut de fibra (v/v) afegit a la mescla, el valor de l'escorriment cada vegada serà més petit i la consistència passarà de fluida a plàstica, i de plàstica a seca.

El ciment blanc no té valor ja que com es mostrarà a la fotografia de continuació, es veu perfectament com la mescla és tan líquida que sobrepassa els límits del plat de la taula de sacsejades.



Fotografia 35: Assaig de consistència del ciment blanc a R 1:1,5. Font: pròpia.

## 7.5. Resultats assaig de densitat

En aquest apartat es mostren els resultats que s'han obtingut mitjançant la tècnica del picnòmetre. Aquestes densitats seran utilitzades per convertir el % de contingut de fibra en (w/w) a % de contingut de fibra a (v/v).

Les dades obtingudes es presenten en forma de resum a continuació. Els càlculs de cadascuna de les densitats estan adjuntats en l'apartat d'Annex "Resultats de l'assaig de densitat".

<b>CÀLCUL DE DENSITATS</b>	
<b>PROVETA</b>	<b>RESULTAT (g/cm<sup>3</sup>)</b>
<b><i>CIMENT BLANC R 1:1,5 (w/w)</i></b>	<b>2,01</b>
<b><i>FIBRA TRITURADA 1% (w/w)</i></b>	<b>2,00</b>
<b><i>FIBRA TRITURADA 2% (w/w)</i></b>	<b>1,99</b>
<b><i>FIBRA TRITURADA 3% (w/w)</i></b>	<b>1,97</b>
<b><i>FIBRA TRITURADA 4% (w/w)</i></b>	<b>1,96</b>
<b><i>FIBRA TRITURADA 5% (w/w)</i></b>	<b>1,95</b>
<b><i>FIBRA TRITURADA 10% (w/w)</i></b>	<b>1,89</b>

Taula 8: Càlcul de densitat aparent de les provetes amb fibra. Font: pròpia

A partir de les densitats obtingudes, calcularem el % de contingut de fibra en (v/v).

**% EN PES DE FIBRA → % EN VOLUM DE FIBRA**

$$\frac{\text{gr de fibra}}{\text{gr totals (ciment+ fibra)}} \times 100 = 1\%, 2\%, 3\%, 4\%, 5\%, 10\%$$

$$d \text{ fibra} = d \text{ blanc} - d \text{ proveta (fibra+ciment)}$$

$$d \text{ fibra} = 2,01 - 2,00 = 0,012 \text{ g/cc}$$

**1% (w/w)**

$$\% \text{ volum} = \frac{1 \text{ gr fibra} \times \frac{1 \text{ cc}}{0,01 \text{ g}}}{100 \text{ gr totals} \times \frac{1 \text{ cc}}{2,00 \text{ g}}} = \frac{83,33 \text{ cc}}{50,05 \text{ cc}} = 1,67 \% \text{ v/v}$$

**2% (w/w)**

$$\% \text{ volum} = \frac{2 \text{ gr fibra} \times \frac{1 \text{ cc}}{0,01 \text{ g}}}{100 \text{ gr totals} \times \frac{1 \text{ cc}}{1,99 \text{ g}}} = \frac{166,67 \text{ cc}}{50,35 \text{ cc}} = 3,31 \% \text{ v/v}$$

**3% (w/w)**

$$\% \text{ volum} = \frac{3 \text{ gr fibra} \times \frac{1 \text{ cc}}{0,01 \text{ g}}}{100 \text{ gr totals} \times \frac{1 \text{ cc}}{1,97 \text{ g}}} = \frac{250,00 \text{ cc}}{50,66 \text{ cc}} = 4,94 \% \text{ v/v}$$

**4% (w/w)**

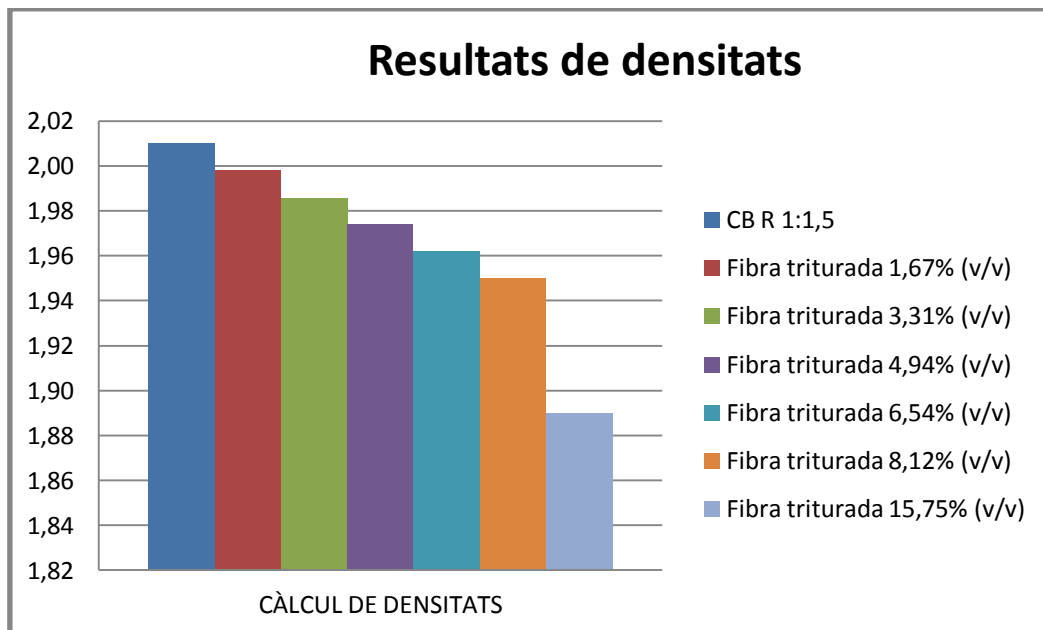
$$\% \text{ volum} = \frac{4 \text{ gr fibra} \times \frac{1 \text{ cc}}{0,01 \text{ g}}}{100 \text{ gr totals} \times \frac{1 \text{ cc}}{1,96 \text{ g}}} = \frac{333,33 \text{ cc}}{50,97 \text{ cc}} = \boxed{6,54 \% \text{ v/v}}$$

**5% (w/w)**

$$\% \text{ volum} = \frac{5 \text{ gr fibra} \times \frac{1 \text{ cc}}{0,01 \text{ g}}}{100 \text{ gr totals} \times \frac{1 \text{ cc}}{1,95 \text{ g}}} = \frac{416,67 \text{ cc}}{51,28 \text{ cc}} = \boxed{8,12 \% \text{ v/v}}$$

**10% (w/w)**

$$\% \text{ volum} = \frac{10 \text{ gr fibra} \times \frac{1 \text{ cc}}{0,01 \text{ g}}}{100 \text{ gr totals} \times \frac{1 \text{ cc}}{1,89 \text{ g}}} = \frac{833,33 \text{ cc}}{52,91 \text{ cc}} = \boxed{15,75 \% \text{ v/v}}$$



Gràfica 2: Resultat de densitats. Font: pròpia

A mesura que l'addició de fibra és més elevada, la densitat del compost és més baixa. No obstant, no presenta una disminució molt significativa.

Cal fer especial menció que la densitat està analitzada en provetes amb un curat de 28 dies.

## **7.6. Resultats a flexió de provetes amb fibra triturada**

### **7.6.1. Resultats generals**

Per a poder dur a terme una interpretació acurada dels resultats que s'han obtingut durant l'assaig de flexió i treure'n unes conclusions, s'adjunten les taules amb els diferents resultats de cadascuna de les provetes assajades durant el transcurs del treball.

Aquestes taules estan classificades per ordre d'addició de fibra, començant per els resultats obtinguts en el ciment blanc, la matriu d'aquest treball, fins a passar per varis resultats arribant a un màxim de 15,75% (v/v) d'addició de fibra.

En aquestes taules, a banda d'analitzar el valor final de resistència a flexió i la mitjana dels 3 valors de cada sèrie, s'ha analitzat el comportament de la desviació estàndard per tal d'analitzar si els valors són molt dispersos o, si pel contrari, s'ajusten més a la mitjana i per tant són molt més acurats i vàlids.

Cal fer especial menció en que totes les mostres d'aquestes taules estan dutes a terme amb la mateixa dosificació aigua:ciment per tal de poder-les comparar entre elles.

- Si analitzem els resultats obtinguts en el CIMENT BLANC R 1:1,5, podem observar que la resistència a flexió va augmentant progressivament de 7 a 28 dies, complint-se el requisit que el valor a 7 dies és entre un 60-65% del valor de 28 dies. No obstant, si analitzem la desviació estàndard, s'observa una gran dispersió dels valors de 14, 21 i 28 dies respecte de la seva mitjana, cosa que indica que ens allunyem d'una distribució homogènia.



<b>CIMENT BLANC R 1:1,5 (a:c)</b>					
Dies	Sèrie / proveta	Flexió (N)	$\Sigma$ Flexió (N)	$\sigma$ (N)	Rf (Mpa)
7 DIES	CB – R 1:1,5 - 7D - 1	440,10	503,93	93,13	1,18
	CB – R 1:1,5 - 7D - 2	460,90			
	CB – R 1:1,5 - 7D - 3	610,80			
14 DIES	CB – R 1:1,5 - 14D - 1	710,70	632,87	306,85	1,48
	CB – R 1:1,5 - 14D - 2	893,30			
	CB – R 1:1,5 - 14D - 3	294,60			
21 DIES	CB – R 1:1,5 - 21D - 1	826,00	890,43	430,98	2,09
	CB – R 1:1,5 - 21D - 2	1350,00			
	CB – R 1:1,5 - 21D - 3	495,30			
28 DIES	CB – R 1:1,5 - 28D - 1	867,00	1236,33	328,53	2,90
	CB – R 1:1,5 - 28D - 2	1346,00			
	CB – R 1:1,5 - 28D - 3	1496,00			

Taula 9: Resultats a flexió de provetes de ciment blanc a R1:1,5. Font: pròpia.

- En les taules següents, hem afegit a la matriu del ciment, una addició de fibra de 1,67% (v/v). Com hem mencionat anteriorment, en aquest cas també es dona una evolució progressiva dels valors de 7 a 28 dies, essent també el valor a 7 dies entre un 60-65% del de 28 dies. Investigant els resultats de la desviació estàndard, s'analitza que els valors són molt més homogenis, cosa que s'aproximen més a la mitjana i per tant són molt menys dispersos.

<b>FIBRA TRITURADA R 1:1,5 AMB 1,67% (v/v) DE FIBRA</b>					
Dies	Sèrie / proveta	Flexió (N)	$\Sigma$ Flexió (N)	$\sigma$ (N)	Rf (Mpa)
7 DIES	F4 - 7D - 1,67% - 1	888,30	914,40	192,88	2,14
	F4 - 7D - 1,67% - 2	1119,00			
	F4 - 7D - 1,67% - 3	735,90			
14 DIES	F4 - 14D - 1,67% - 1	1045,00	942,63	89,87	2,21
	F4 - 14D - 1,67% - 2	876,70			
	F4 - 14D - 1,67% - 3	906,20			
21 DIES	F4 - 21D - 1,67% - 1	1466,00	1394,00	66,12	3,27
	F4 - 21D - 1,67% - 2	1380,00			
	F4 - 21D - 1,67% - 3	1336,00			
28 DIES	F4 - 28D - 1,67% - 1	1376,00	1442,67	178,59	3,38
	F4 - 28D - 1,67% - 2	1307,00			
	F4 - 28D - 1,67% - 3	1645,00			

Taula 10: Resultats a flexió de provetes amb R 1:1,5 i 1,67% (v/v) fibra. Font: pròpia.

- Anem augmentant progressivament el % de fibra afegida al compost, i en aquest cas es presenta una addició del 3,31% (v/v). A mesura que augmenta la proporció de fibra, també va augmentant de manera progressiva la resistència a flexió de les mostres. Presenta una evolució lineal dels valors obtinguts de les diferents edats de les mostres, i com la resta, es compleixen els requisits de 60-65% del valor de 7 dies.

La desviació es manté gairebé baixa en la majoria dels valors, tot i que, en el valor de 14 dies existeix una dispersió d'aquests valors ja que s'allunya de la mitjana i per tant mostra una distribució de dispersió a causa d'un dels tres valors que fa alterar aquesta dispersió.

Un altre valor a analitzar és l'existència d'un augment de valor molt excessiu entre els 7 i els 14 dies de curat de la proveta. Per norma general, s'hauria de produir un augment més lineal i no tant augmentat en tants pocs dies de curat.

<b>FIBRA TRITURADA R 1:1,5 AMB 3,31% (v/v) DE FIBRA</b>					
<b>Dies</b>	<b>Sèrie / proveta</b>	<b>Flexió (N)</b>	<b><math>\Sigma</math>Flexió (N)</b>	<b><math>\sigma</math> (N)</b>	<b>Rf (Mpa)</b>
<b>7 DIES</b>	<b>F5 - 7D - 3,31% - 1</b>	1017,00	<b>981,30</b>	<b>33,33</b>	<b>2,30</b>
	<b>F5 - 7D - 3,31% - 2</b>	975,90			
	<b>F5 - 7D - 3,31% - 3</b>	951,00			
<b>14 DIES</b>	<b>F5 - 14D - 3,31% - 1</b>	944,30	<b>1372,77</b>	<b>372,71</b>	<b>3,22</b>
	<b>F5 - 14D - 3,31% - 2</b>	1622,00			
	<b>F5 - 14D - 3,31% - 3</b>	1552,00			
<b>21 DIES</b>	<b>F5 - 21D - 3,31% - 1</b>	1334,00	<b>1457,67</b>	<b>138,93</b>	<b>3,42</b>
	<b>F5 - 21D - 3,31% - 2</b>	1431,00			
	<b>F5 - 21D - 3,31% - 3</b>	1608,00			
<b>28 DIES</b>	<b>F5 - 28D - 3,31% - 1</b>	1590,00	<b>1456,33</b>	<b>122,97</b>	<b>3,41</b>
	<b>F5 - 28D - 3,31% - 2</b>	1348,00			
	<b>F5 - 28D - 3,31% - 3</b>	1431,00			

Taula 11: Resultats a flexió de provetes amb R1:1,5 i 3,31% (v/v) fibra. Font: pròpia.

- Les mostres amb un 4,94% (v/v) d'addició de fibra, mostren uns valors progressius entre ells, tot i que igual que ocorria en les mostres amb menys addició, el valor de 7 a 14 dies augmenta molt ràpidament. La desviació estàndard és relativament més baixa que en els valors representats en les mostres del ciment blanc, i per tant es mostra una millor homogeneïtat del compost.

<b>FIBRA TRITURADA R 1:1,5 AMB 4,94% (v/v) DE FIBRA</b>					
Dies	Sèrie / proveta	Flexió (N)	$\Sigma$ Flexió (N)	$\sigma$ (N)	Rf (Mpa)
7 DIES	F3 - 7D - 4,94% - 1	1337,00	1157,33	156,27	2,71
	F3 - 7D - 4,94% - 2	1082,00			
	F3 - 7D - 4,94% - 3	1053,00			
14 DIES	F3 - 14D - 4,94% - 1	1306,00	1468,00	188,57	3,44
	F3 - 14D - 4,94% - 2	1423,00			
	F3 - 14D - 4,94% - 3	1675,00			
21 DIES	F3 - 21D - 4,94% - 1	1613,00	1536,00	66,73	3,60
	F3 - 21D - 4,94% - 2	1500,00			
	F3 - 21D - 4,94% - 3	1495,00			
28 DIES	F3 - 28D - 4,94% - 1	1796,00	1604,67	170,46	3,76
	F3 - 28D - 4,94% - 2	1549,00			
	F3 - 28D - 4,94% - 3	1469,00			

Taula 12: Resultats a flexió de provetes amb R 1:1,5 i 4,94% (v/v) fibra. Font: pròpia.

- Els resultats amb una addició de 6,54% (v/v) són els més representatius i homogenis en quan a desviació estàndard. Es demostra igual que la resta una progressió més o menys lineal de la resistència a flexió i a mesura que augmentem l'addició de fibra, va augmentant el valor a flexió.

<b>FIBRA TRITURADA R 1:1,5 AMB 6,54% (v/v) DE FIBRA</b>					
Dies	Sèrie / proveta	Flexió (N)	$\Sigma$ Flexió (N)	$\sigma$ (N)	Rf (Mpa)
7 DIES	F2 - 7D - 6,54% - 1	1111,00	1228,00	137,87	2,88
	F2 - 7D - 6,54% - 2	1380,00			
	F2 - 7D - 6,54% - 3	1193,00			
14 DIES	F2 - 14D - 6,54% - 1	1469,00	1444,33	31,39	3,39
	F2 - 14D - 6,54% - 2	1409,00			
	F2 - 14D - 6,54% - 3	1455,00			
21 DIES	F2 - 21D - 6,54% - 1	1494,00	1502,33	99,76	3,52
	F2 - 21D - 6,54% - 2	1407,00			
	F2 - 21D - 6,54% - 3	1606,00			
28 DIES	F2 - 28D - 6,54% - 1	1650,00	1619,00	46,12	3,79
	F2 - 28D - 6,54% - 2	1641,00			
	F2 - 28D - 6,54% - 3	1566,00			

Taula 13: Resultats a flexió de provetes amb R 1:1,5 i 6,54% (v/v) fibra. Font: pròpia.

- Els resultats que es mostren en aquesta taula, mostren una evolució de la resistència entre 7 i 28 dies molt baixa i precària. En la majoria dels resultats els valors són poc dispersos i dona a entendre una major validesa del resultat.

<b>FIBRA TRITURADA R 1:1,5 AMB 8,12% (v/v) DE FIBRA</b>					
Dies	Sèrie / proveta	Flexió (N)	$\Sigma$ Flexió (N)	$\sigma$ (N)	Rf (Mpa)
7 DIES	F1 - 7D - 8,12% - 1	1507,00	1471,67	72,75	3,45
	F1 - 7D - 8,12% - 2	1520,00			
	F1 - 7D - 8,12% - 3	1388,00			
14 DIES	F1 - 14D - 8,12% - 1	1878,00	1581,67	272,46	3,71
	F1 - 14D - 8,12% - 2	1525,00			
	F1 - 14D - 8,12% - 3	1342,00			
21 DIES	F1 - 21D - 8,12% - 1	1618,00	1611,33	7,64	3,78
	F1 - 21D - 8,12% - 2	1603,00			
	F1 - 21D - 8,12% - 3	1613,00			
28 DIES	F1 - 28D - 8,12% - 1	1657,00	1655,33	87,51	3,88
	F1 - 28D - 8,12% - 2	1742,00			
	F1 - 28D - 8,12% - 3	1567,00			

Taula 14: Resultats a flexió de provetes amb R 1:1,5 i 8,12% (v/v) fibra. Font: pròpia.

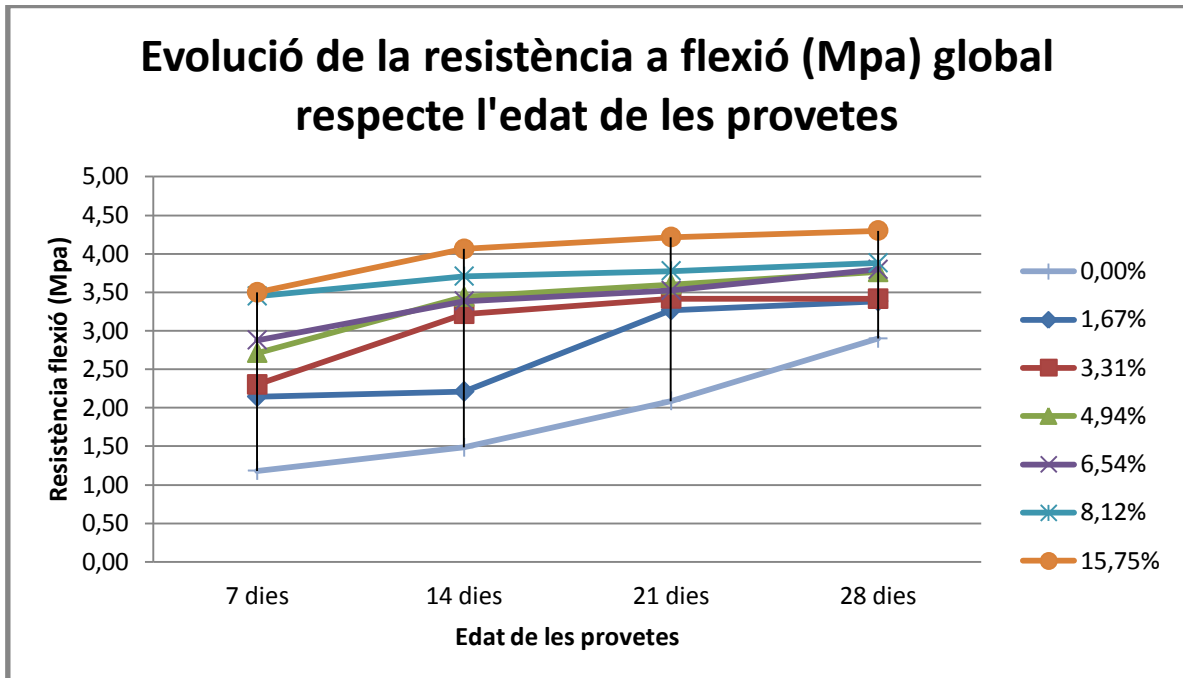
- Els resultats de la màxima addició duta a terme en aquets treball és de 15,75% (v/v) de fibra. S'observa una evolució pràcticament lineal dels resultats i a banda, comparant-lo amb la resta de resultats, es pot analitzar que els valors van augmentant a mesura que s'afegeix més quantitat de fibra a la mescla.

<b>FIBRA TRITURADA R 1:1,5 AMB 15,75% (v/v) DE FIBRA</b>					
Dies	Sèrie / proveta	Flexió (N)	$\Sigma$ Flexió (N)	$\sigma$ (N)	Rf (Mpa)
7 DIES	F6 - 7D - 15,75% - 1	1252,00	1492,00	221,31	3,50
	F6 - 7D - 15,75% - 2	1688,00			
	F6 - 7D - 15,75% - 3	1536,00			
14 DIES	F6 - 14D - 15,75% - 1	1813,00	1732,33	100,32	4,06
	F6 - 14D - 15,75% - 2	1764,00			
	F6 - 14D - 15,75% - 3	1620,00			
21 DIES	F6 - 21D - 15,75% - 1	1893,00	1798,33	86,32	4,21
	F6 - 21D - 15,75% - 2	1724,00			
	F6 - 21D - 15,75% - 3	1778,00			
28 DIES	F6 - 28D - 15,75% - 1	1683,00	1834,33	139,57	4,30
	F6 - 28D - 15,75% - 2	1862,00			
	F6 - 28D - 15,75% - 3	1958,00			

Taula 15: Resultats a flexió de provetes amb R 1:1,5 i 15,75% (v/v) fibra. Font: pròpia.

## 7.6.2. Anàlisi de l'evolució de cada sèrie de fibra en comparació amb el ciment blanc

- Evolució global de totes les provetes de fibra afegida a 7,14, 21 i 28 dies



**Gràfica 3: Evolució de la resistència a flexió en provetes amb % (v/v) de fibra diferents a diferents edats de curació. Font: pròpia**

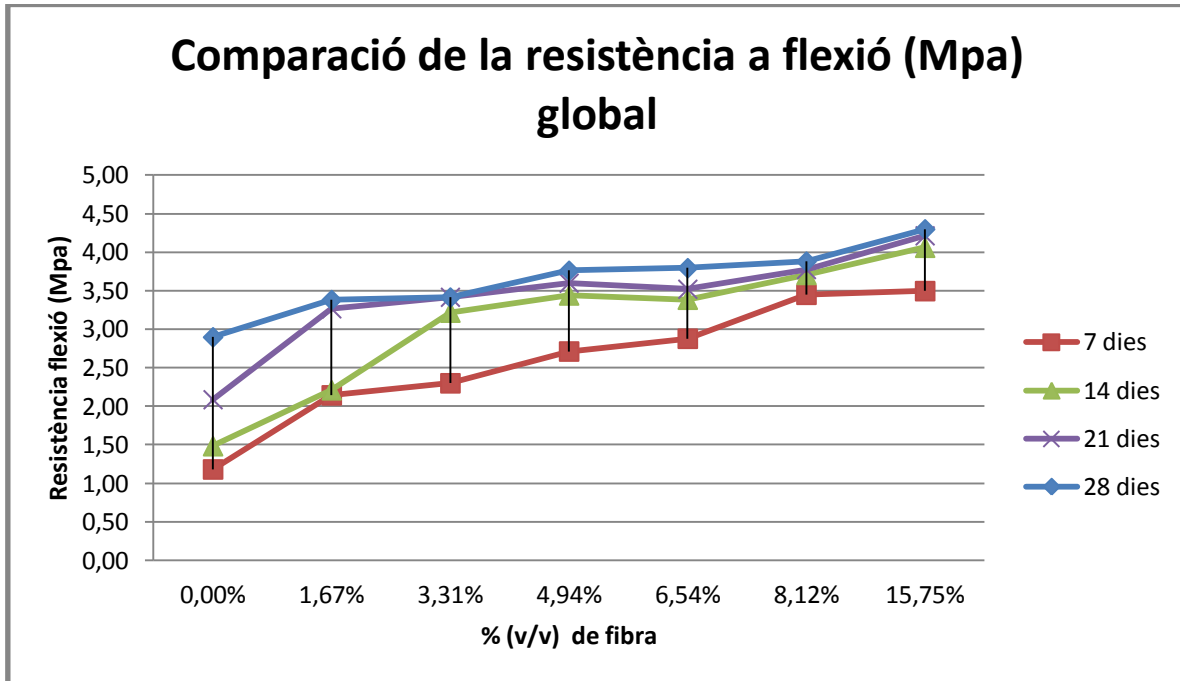
En la present gràfica, es mostra d'una manera clara i ordenada els resultats de la resistència a flexió de les diferents provetes assajades. Es mostra una evolució pràcticament lineal de totes i cadascuna de les sèries i a mesura que augmenta el valor d'addició de fibra, augmenta el valor de resistència a flexió, arribant a millorar el resultat a 28 dies del ciment blanc fins a un 50% aproximadament.

Tant sols amb un 1,67% (v/v) d'addició de fibra, millorem ja un 15% la propietat de resistència a flexió del compost i de mica en mica va evolucionant aquest resultat.

S'observa que, en general, en la majoria de les sèries, el valor de 7 a 14 dies presenta una evolució més ràpida i que dels 14 als 28 dies l'evolució és ja més estable i no tant creixent.

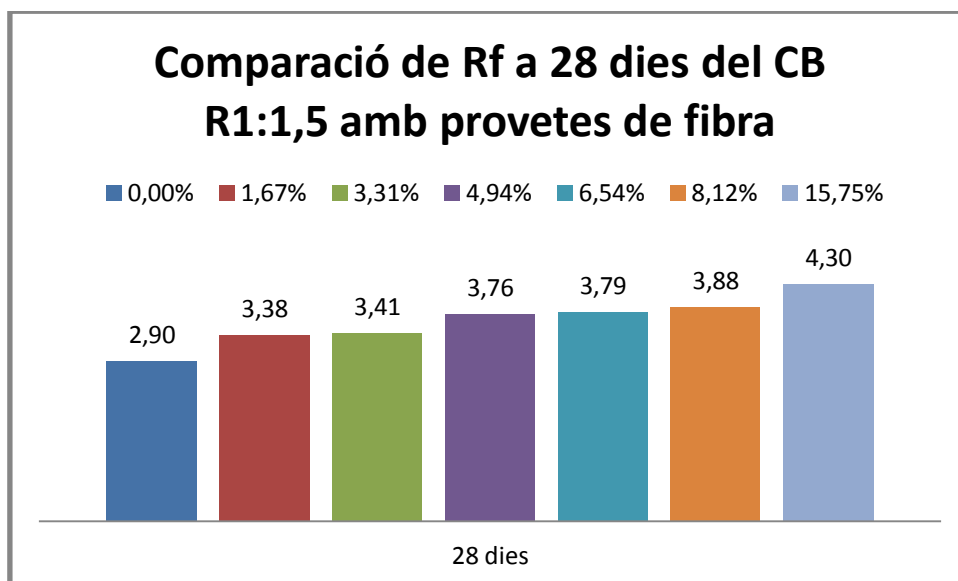
### 7.6.3. Anàlisi i comparació del comportament de la fibra segons l'edat de les provetes i el % (v/v) de fibra afegit

- Evolució global de la resistència a flexió variant el % (v/v) de fibra afegida (7, 14, 21 i 28 dies)



Gràfica 4: Comparació de la resistència a flexió en provetes amb % (v/v) de fibra diferents a diferents edats de curació. Font: pròpia

- Evolució de la resistència a flexió reflexada en mostres curades a 28 dies i amb diferents % (v/v) de fibra afegida al compost

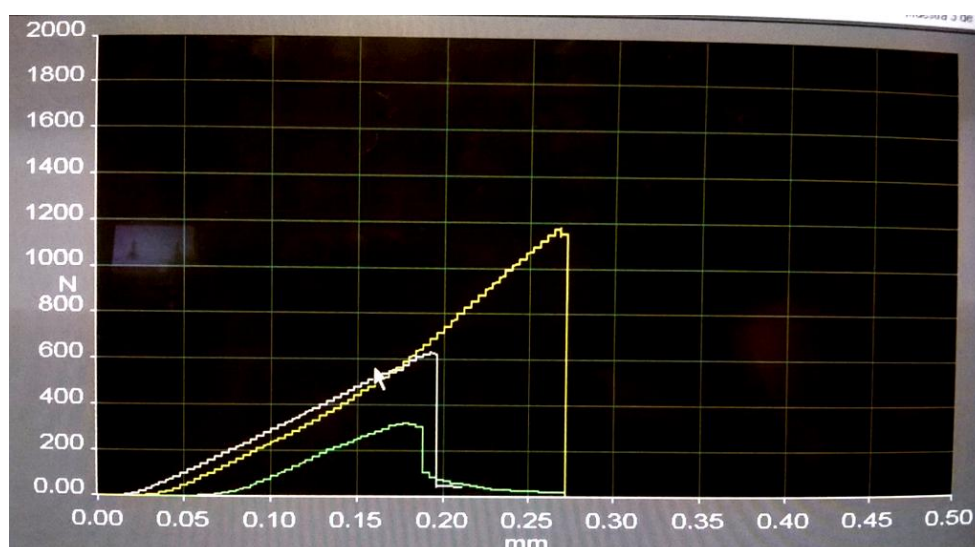


Gràfica 5: Resultats a 28 dies de resistència a flexió en provetes amb % (v/v) de fibra diversos. Font: pròpia.

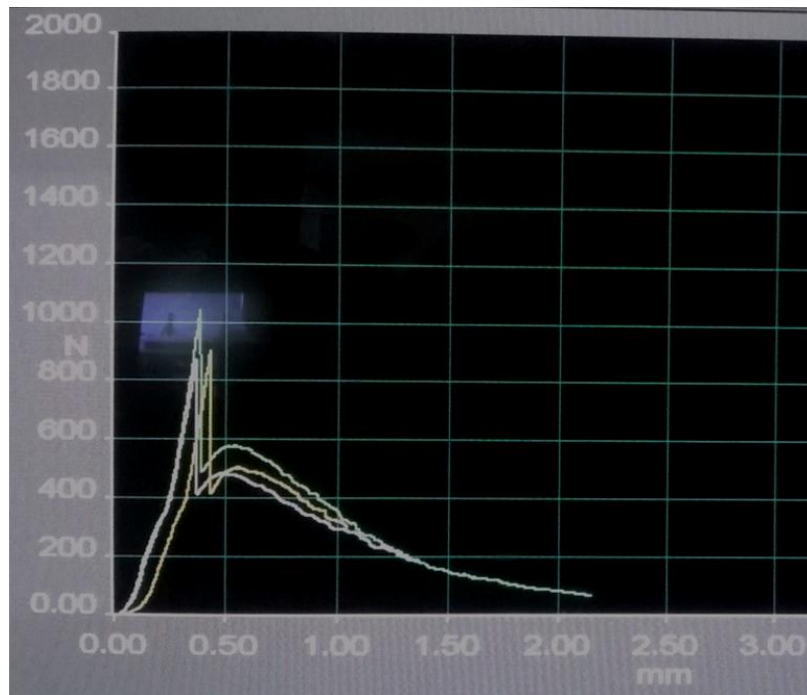
Les gràfiques ens mostren la progressió que es dona a terme quan s'afegeix una certa quantitat de fibra al compost, dotant així de millors característiques de resistència a flexió a mesura que augmentem el contingut de fibra a la mostra. Tant sols afegint un 1,67% (v/v) de contingut de fibra en volum al compost ja millora notablement aquesta resistència, fent que les fibres puguin crear entre elles un reforç ja que s'entrellacen entre sí, cosa que el ciment per si sol no té aquesta capacitat i trenca molt bruscament produint la ruptura directe.

#### 7.6.4. Anàlisi del trencament a flexió

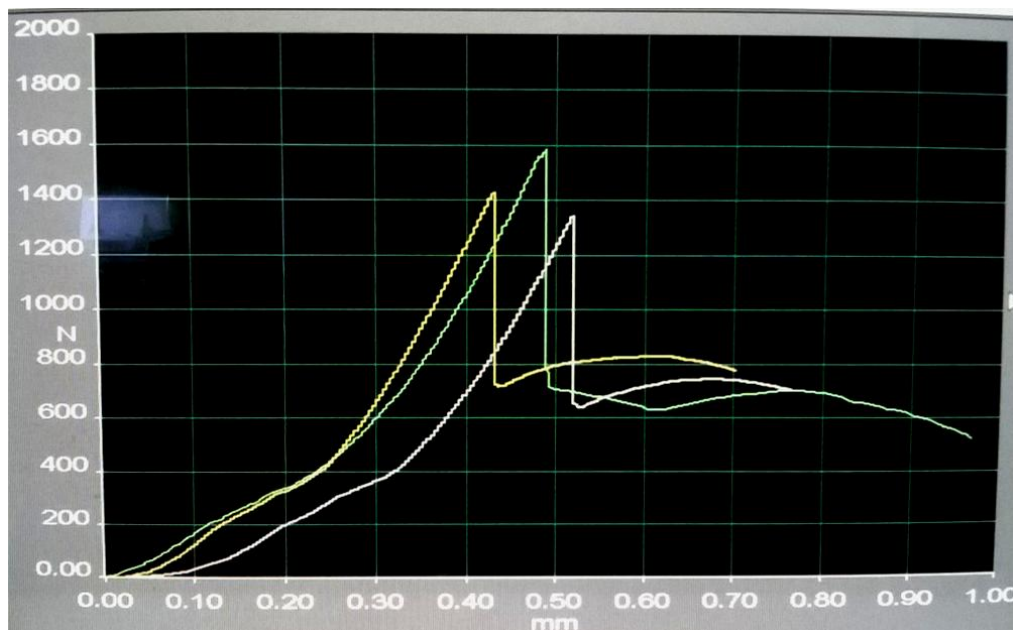
Un dels resultats que a vegades passa desapercebut en aquest tipus de treballs és l'anàlisi del trencament a flexió de cadascuna de les mostres dutes a terme. No obstant, aquest resultat és vertaderament molt important, i en aquest treball en concret encara més és d'especial rellevància. Si analitzem els gràfics que es presentaran a continuació sobre el trencament a flexió de diverses mostres amb continguts de fibra diferents, veurem l'evolució i la importància de la fibra de jute com a material de reforç, ja que li proporciona al compost una deformació i un trencament cada vegada més resistent, evitant la ruptura directa i produint així la millora de les propietats de trencament, dotant al material d'un valor residual que evita el col·lapse directe. Així doncs, es presenta la evolució de trencament des d'una mostra de ciment blanc a relació 1:1,5 sense cap mena d'addició de fibra, passant per diverses mostres amb % (v/v) de fibra diferents i augmentats cada vegada més fins arribar al màxim que s'ha treballat en aquest treball, un 15,75% (v/v) de fibra afegida en volum al compost.



Fotografia 36: Trencament a resistència a flexió CB R 1:1,5. Font: pròpia

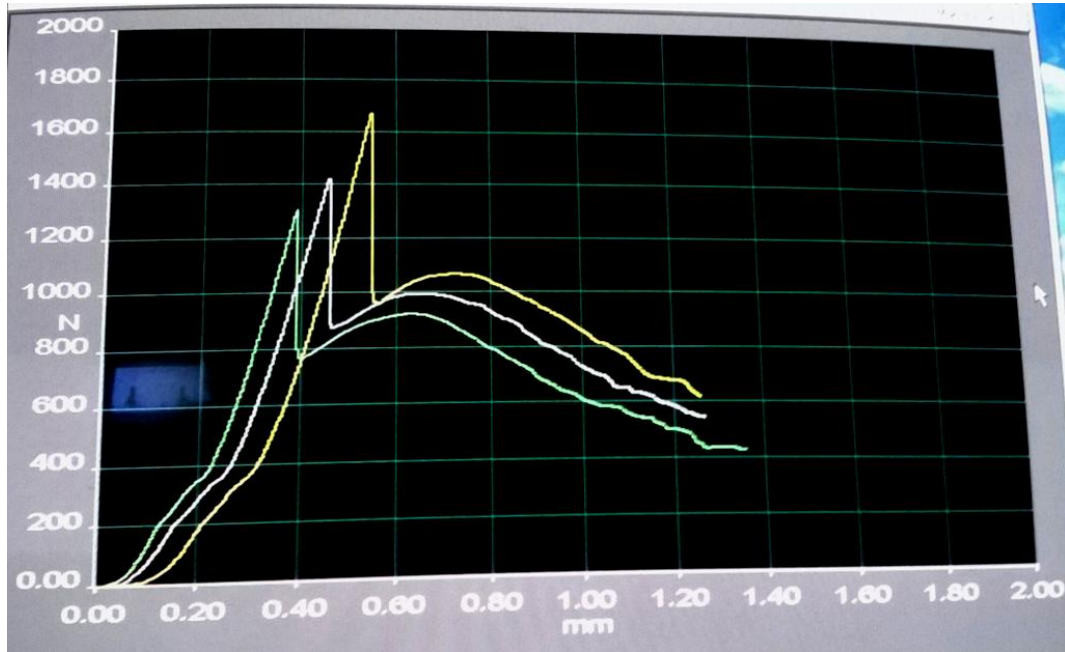


Fotografia 37: Trencament a resistència a flexió mostra R 1:1,5 amb 1,67% (v/v) fibra. Font: pròpia

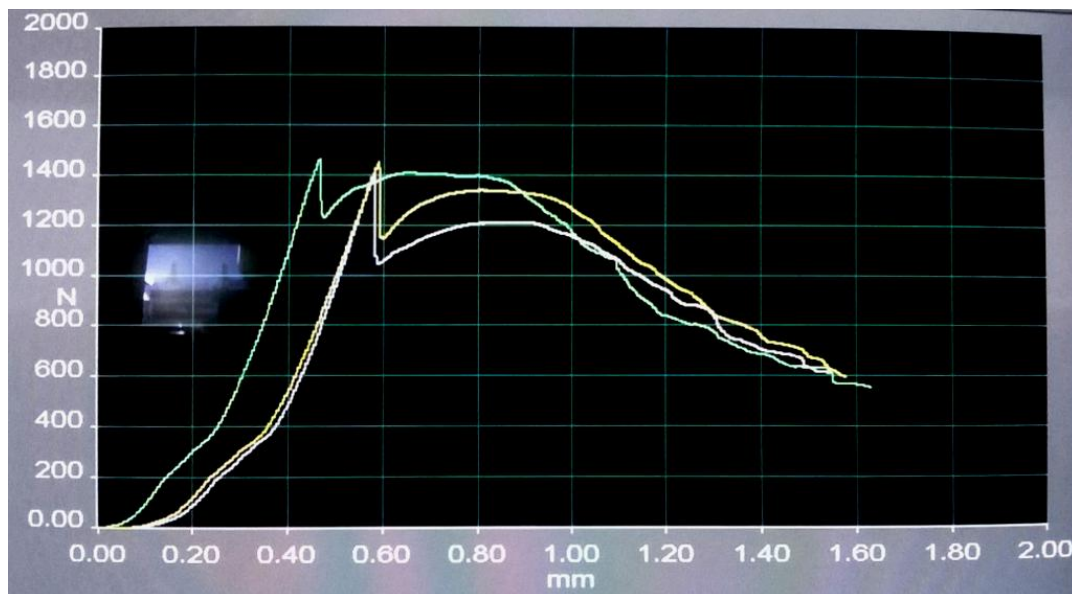


Fotografia 38: Trencament a resistència a flexió mostra R 1:1,5 amb 3,31% (v/v) fibra. Font: pròpia

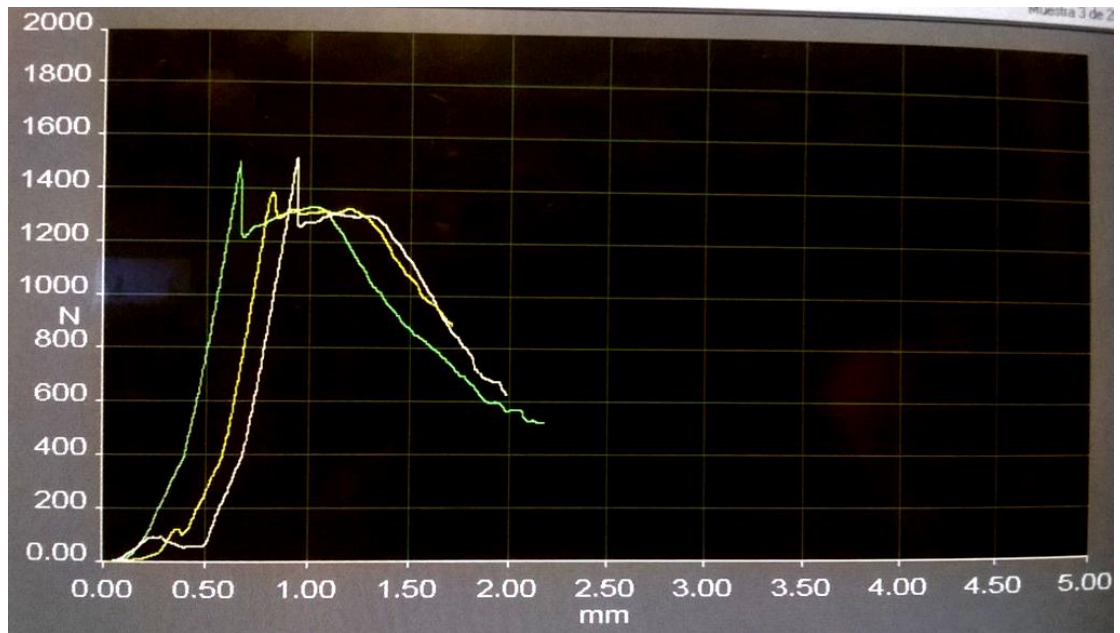




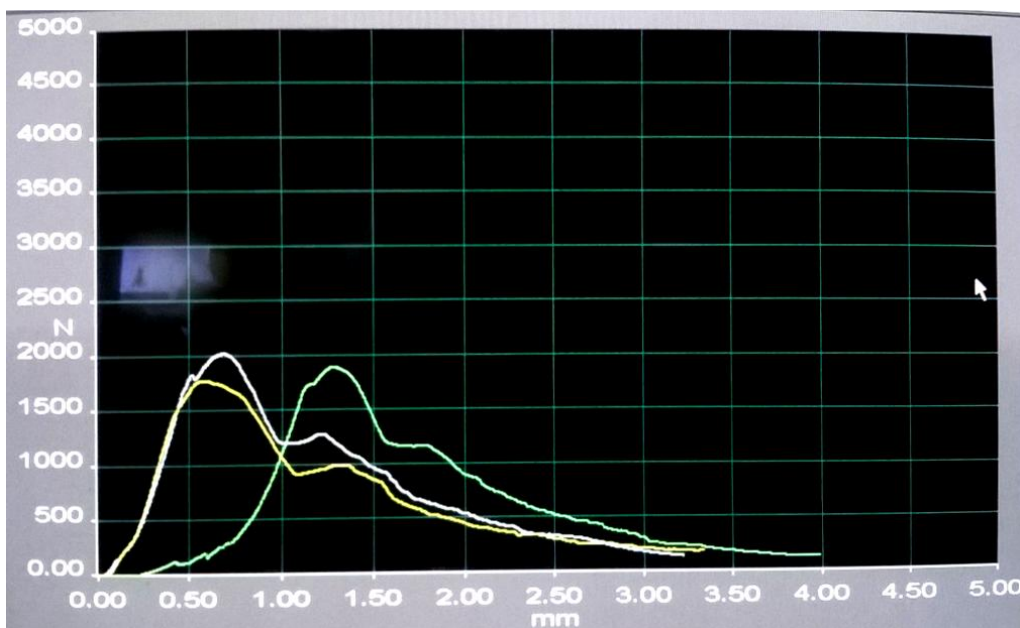
Fotografia 39: Trencament a resistència a flexió mostra R 1:1,5 amb 4,94% (v/v) fibra. Font: pròpia



Fotografia 40: Trencament a resistència a flexió mostra R 1:1,5 amb 6,54% (v/v) fibra. Font: pròpia



Fotografia 41: Trencament a resistència a flexió mostra R 1:1,5 amb 8,12% (v/v) fibra. Font: pròpia



Fotografia 42: Trencament a resistència a flexió mostra R 1:1,5 amb 15,75% (v/v) fibra. Font: pròpia

Si seguim la evolució de les imatges anteriors, s'observa un gran canvi en les gràfiques de trencament a flexió de les diverses provetes.

El ciment blanc R 1:1,5 (a:c) es comporta de manera nefasta a flexió, ja que per si sol no té la propietat de ser resistent a aquest tipus d'assaig i es pot observar clarament com la seva ruptura un cop arribat al seu màxim de càrrega és totalment neta i parteix el material en dos.

De manera que, a mesura que anem afegint contingut de fibra al compost, les propietats van millorant, com també ho fa la seva manera de trencar. A mesura que va evolucionant el contingut de fibra, el material va disminuint la ruptura directa i es crea un valor residual que va augmentant a més contingut de fibra. Aquest valor residual és creat per l'addició de fibres, que creen enllaços entre elles i eviten aquesta ruptura. A mesura que va sorgint la primera esquerda en el material quan s'està assajant, el material es va esquerdant però no es desuneixen les dues parts com en el ciment blanc. A continuació es mostra un seguit de fotografies de mostres assajades a flexió amb contingut de fibra on es pot apreciar aquest valor residual.



**Fotografia 43: Assaig de resistència a flexió de proveta amb fibra afegida. Font: pròpia.**

### **7.6.5. Conclusions parcials**

Un cop analitzats els resultats a flexió, conjuntament amb el seu trencament, s'han arribat a les conclusions següents:

- Tots els resultats de cadascuna de les dosificacions emprades en aquest apartat coincideixen en una evolució pràcticament lineal entre els 7 i els 28 dies. Essent el valor de

7 dies entre un 65% aproximat del valor final que s'obté als 28 dies un cop curada la proveta.

- Pel que fa al valor de la desviació estàndard, s'observa uns valors molt accentuats en la proveta de ciment blanc, el qual o pel seu curat, la seva hidratació, la humitat o altres característiques produeix que els valors no siguin molt representatius entre ells i siguin molt dispersos. No obstant, l'evolució és lineal. En relació al contingut de fibra, s'observa que crea una homogeneïtzació més apta i per tant no existeixen distribucions disperses i són més homogènies.
- La fibra de jute com a material de reforç augmenta el valor de la resistència a flexió respecte a la del ciment blanc, creant així un compost més reforçat a mesura que augmenta el seu contingut en fibra. El motiu és que les fibres triturades interaccionen molt bé a dins del compost, creant entre elles uns enllaços forts i evitant la ruptura directa.
- Les mostres que contenen fibra triturada no col·lapsen, tenen un trencament més suau i lineal i no tant directe com el ciment blanc sense addició.

## 7.7. Resultats a compressió de provetes amb fibra triturada

### 7.7.1. Resultats generals

A continuació, es mostren en diverses taules ordenades cronològicament de menys a més addició de fibra, els resultats obtinguts en l'assaig de resistència a la compressió. Aquests resultats, seran contrastats amb el ciment blanc, per tal d'esbrinar el comportament del compost quan s'hi afegeix un % (v/v) de fibra concret.

Els continguts de fibra que s'han analitzat són els següents: 1,67% (v/v), 3,31% (v/v), 4,94% (v/v), 6,54% (v/v) , 8,12% (v/v) i el màxim, 15,75% (v/v).

A continuació es mostren les taules resum de cadascuna de les sèries fabricades. Cal anomenar que les taules generals amb tots els valors estan contingudes en l'Annex d'aquest treball, i és allà on es mostra els valors obtinguts mitjançant la premsa de 60 tones i, fent referència a la normativa vigent de càlcul de la resistència a compressió, s'han analitzat els valors i s'han descartat els que estaven per sota de  $\pm 10\%$  de la mitjana.

Com s'ha esmentat anteriorment, totes les mostres d'aquestes taules estan fabricades amb la mateixa dosificació aigua:ciment per tal de poder-les comparar entre elles.

<b>Resistència a compressió (Mpa) del ciment blanc R 1:1,5</b>		
<b>EDAT</b>	<b>% FIBRA (v/v)</b>	<b>Rc (Mpa)</b>
7 dies	0,00%	28,40
14 dies	0,00%	27,59
21 dies	0,00%	32,04
28 dies	0,00%	34,82

Taula 16: Resultats de compressió a 7,14, 21 i 28 dies de provetes de ciment blanc R 1:1,5. Font: pròpia.

<b>Resistència a compressió (Mpa) de la sèrie R 1:1,5 i un 1,67% (v/v) fibra</b>		
<b>EDAT</b>	<b>% FIBRA (v/v)</b>	<b>Rc (Mpa)</b>
7 dies	1,67%	27,25
14 dies	1,67%	27,14
21 dies	1,67%	31,74
28 dies	1,67%	35,06

Taula 17: Resultats de compressió a 7, 14, 21 i 28 dies de provetes amb 1,67% (v/v) de fibra a R 1:1,5. Font: pròpia.

<b>Resistència a compressió (Mpa) de la sèrie R 1:1,5 i un 3,31% (v/v) fibra</b>		
<b>EDAT</b>	<b>% FIBRA (v/v)</b>	<b>Rc (Mpa)</b>
7 dies	3,31%	22,71
14 dies	3,31%	29,65
21 dies	3,31%	31,45
28 dies	3,31%	36,66

Taula 18: Resultats de compressió a 7, 14, 21 i 28 dies de provetes amb 3,31% (v/v) de fibra a R 1:1,5. Font: pròpia.

<b>Resistència a compressió (Mpa) de la sèrie R 1:1,5 i un 4,94% (v/v) fibra</b>		
<b>EDAT</b>	<b>% FIBRA (v/v)</b>	<b>Rc (Mpa)</b>
7 dies	4,94%	21,10
14 dies	4,94%	25,56
21 dies	4,94%	28,27
28 dies	4,94%	35,76

Taula 19: Resultats de compressió a 7, 14, 21 i 28 dies de provetes amb 4,94% (v/v) de fibra a R 1:1,5. Font: pròpia.

<b>Resistència a compressió (Mpa) de la sèrie R 1:1,5 i un 6,54% (v/v) fibra</b>		
<b>EDAT</b>	<b>% FIBRA (v/v)</b>	<b>Rc (Mpa)</b>
7 dies	6,54%	21,12
14 dies	6,54%	26,79
21 dies	6,54%	30,56
28 dies	6,54%	31,15

Taula 20: Resultats de compressió a 7, 14, 21 i 28 dies de provetes amb 6,54% (v/v) de fibra a R 1:1,5. Font: pròpia.

<b>Resistència a compressió (Mpa) de la sèrie R 1:1,5 i un 8,12% (v/v) fibra</b>		
<b>EDAT</b>	<b>% FIBRA (v/v)</b>	<b>Rc (Mpa)</b>
7 dies	8,12%	16,71
14 dies	8,12%	21,66
21 dies	8,12%	27,59
28 dies	8,12%	30,15

Taula 21: Resultats de compressió a 7, 14, 21 i 28 dies de provetes amb 8,12% (v/v) de fibra a R 1:1,5. Font: pròpia.

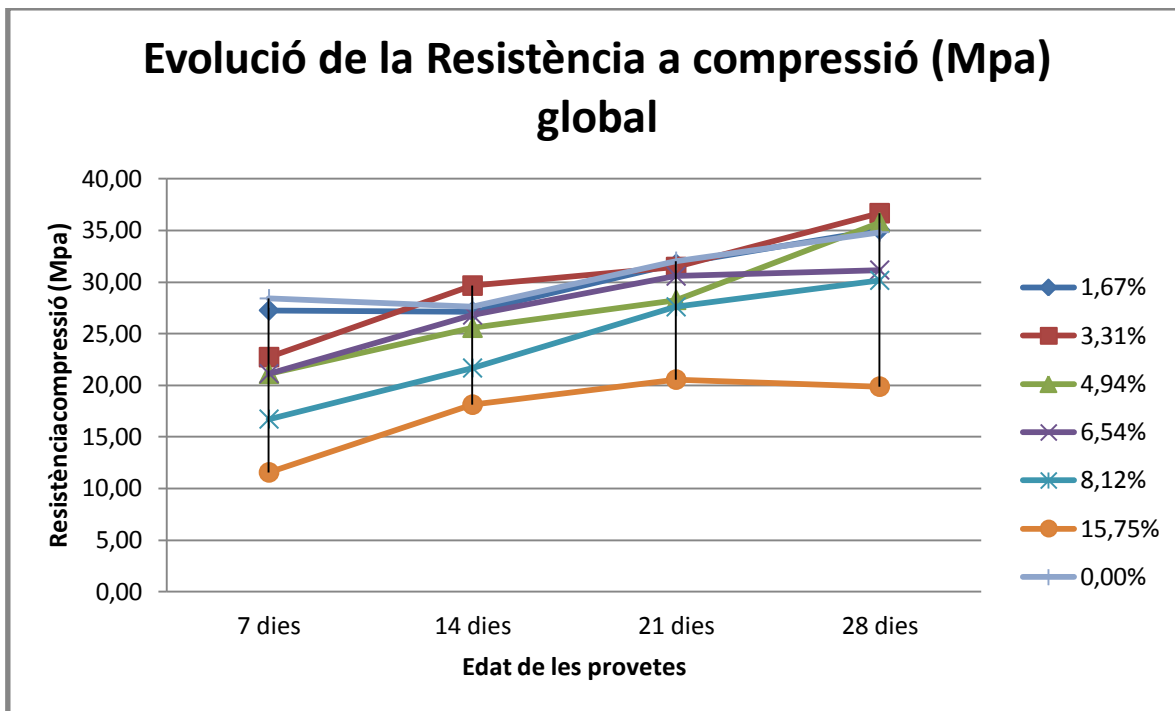
<b>Resistència a compressió (Mpa) de la sèrie R 1:1,5 i un 15,75% (v/v) fibra</b>		
<b>EDAT</b>	<b>% FIBRA (v/v)</b>	<b>Rc (Mpa)</b>
7 dies	15,75%	11,54
14 dies	15,75%	18,11
21 dies	15,75%	20,54
28 dies	15,75%	19,86

Taula 22: Resultats de compressió a 7, 14, 21 i 28 dies de provetes amb 15,75% (v/v) de fibra a R 1:1,5. Font: pròpia.

Els valors obtinguts en cadascuna de les sèries, presenta una evolució progressiva de les propietats a compressió de 7 a 28 dies. A mesura que el material es va endurint va adquirint el valor màxim de compressió, que com ja se sap, aquest valor es considera al 100% als 28 dies de curació. Segons l'anàlisi inicial d'aquestes taules, es pot afirmar que el ciment blanc presenta les millors condicions a compressió que la resta que contenen fibra.

### 7.7.2. Anàlisi de l'evolució de cada sèrie de fibra en comparació amb el ciment blanc

- Evolució global de totes les provetes de fibra afegida a 7,14, 21 i 28 dies

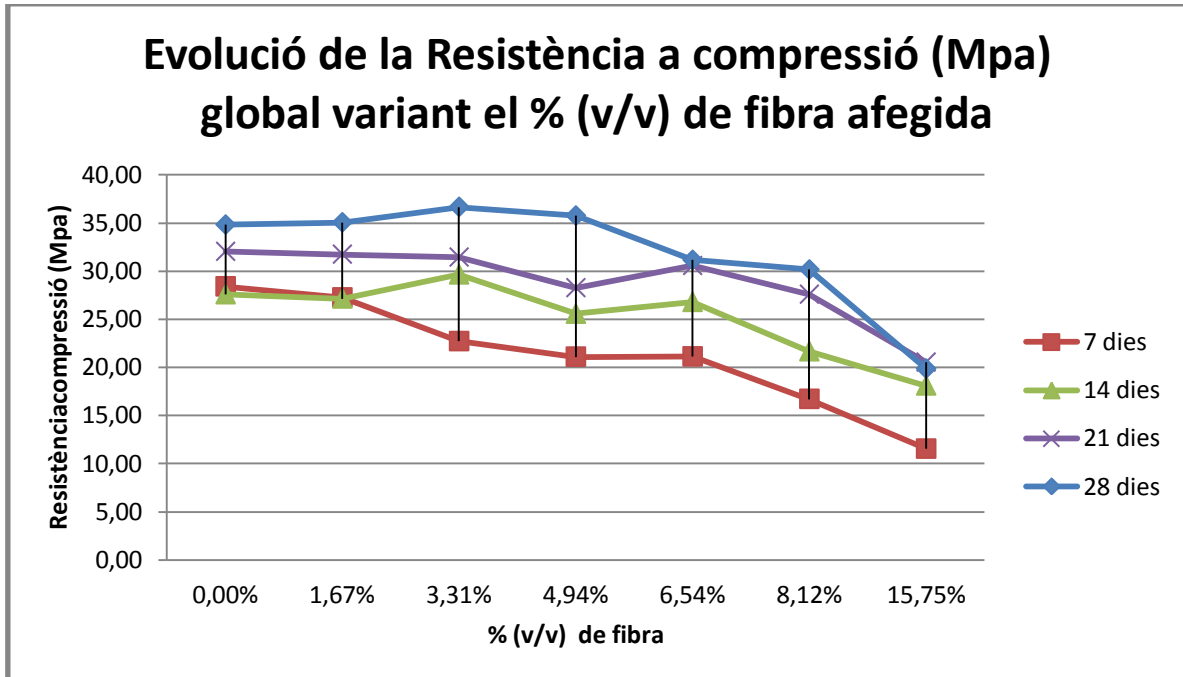


Gràfica 6: Evolució de la resistència a compressió en provetes amb % (v/v) de fibra diferents a diferents edats de curació. Font: pròpia

Tot i que algun dels valors no són especialment lineals, s'observa un petit creixement en les 3 primeres provetes amb fibra afegida i a mesura que augmenta l'addició de fibra, els valors van disminuint progressivament. Es nota una clara diferència d'aquesta davallada a partir del 6,54% (v/v) de fibra afegida al compost. Els valors de 1,67% (v/v), 3,31% (v/v) i 4,94% (v/v) a 28 dies milloren sensiblement el valor del ciment blanc, essent aquest d'un valor de 34,82 Mpa, i la resta de valors que arriben a 35,06 Mpa (1,67% (v/v) fibra), 36,66 Mpa (3,31% (v/v) fibra) i finalment un valor de 35,76 Mpa (4,94% (v/v) fibra). Tot i així, aquestes tres dosificacions incrementen el valor de la resistència a compressió un màxim d'un 5% i per tant, no és una millora massa satisfactòria.

### 7.7.3. Anàlisi i comparació del comportament de la fibra segons l'edat de les provetes i el % (v/v) de fibra afegit

- Evolució global de la resistència a compressió variant el % (v/v) de fibra afegida (7, 14, 21 i 28 dies)

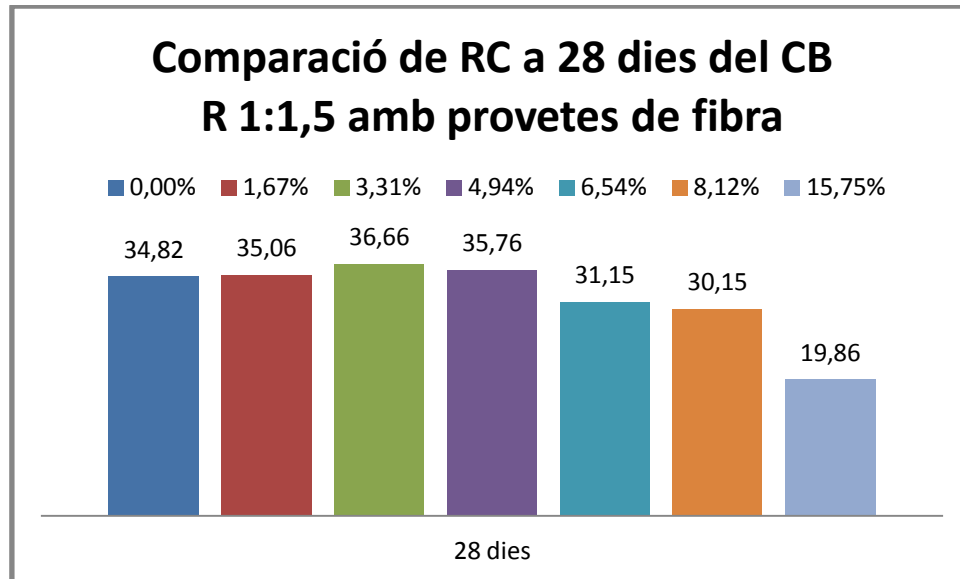


Gràfica 7: Comparació de la resistència a compressió en provetes amb % (v/v) de fibra diferents a diferents edats de curació. Font: pròpia

L'anàlisi de la gràfica, permet deduir el comportament d'aquestes sèries de provetes, creant una corba que augmenta lleugerament en les 3 primeres dosificacions més petites de fibra, i que va decreixent fins a minvar un 60% aproximadament el valor de la resistència a compressió envers el valor del ciment blanc.



- Evolució de la resistència a compressió reflexada en mostres curades a 28 dies i amb diferents % (v/v) de fibra afegida al compost



Gràfica 8: Resultats a 28 dies de resistència a compressió en provetes amb % (v/v) de fibra diversos. Font: pròpia.

Finalment, a mesura que incrementem el grau d'addició de fibra, minorarem la resistència del compost. A continuació però, analitzarem el comportament que posseeix un compost amb fibra a resistència a compressió en el seu trencament.

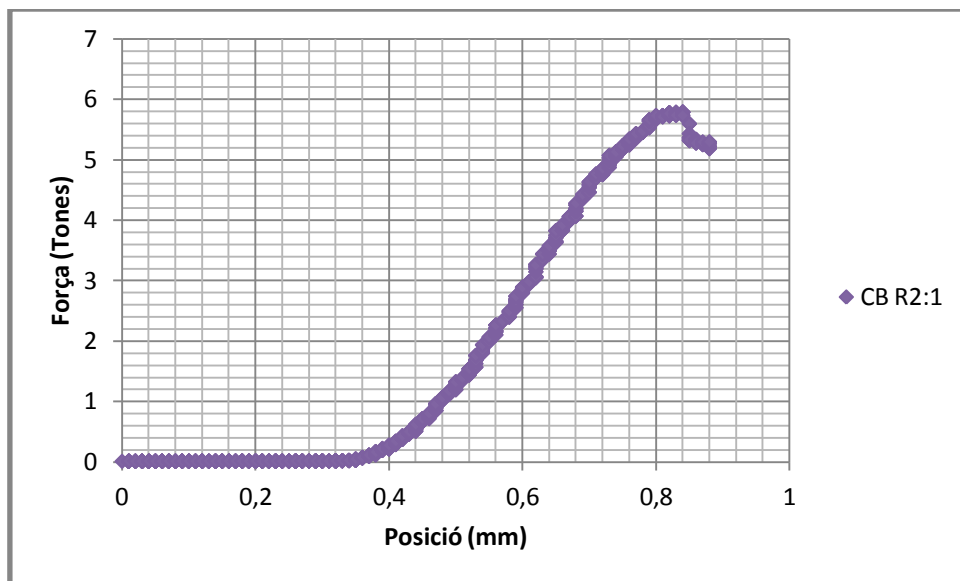
#### 7.7.4. Anàlisi del trencament a compressió

L'anàlisi del trencament a compressió del compost format per fibra ha donat uns resultats satisfactoris tot i que els resultats hagin minorat respecte del ciment blanc.

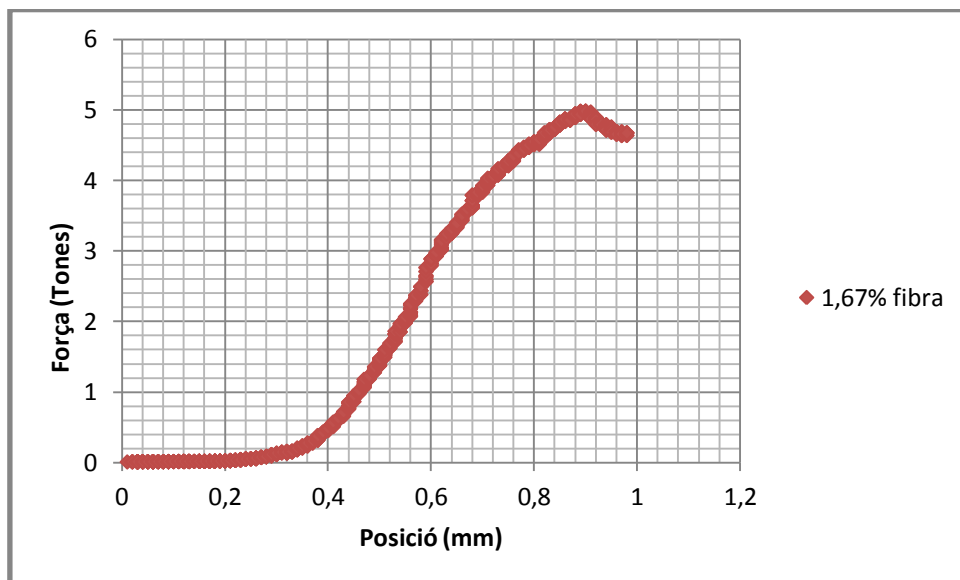
En aquest cas concret, es representa mitjançant les gràfiques extretes durant el trencament de cada proveta el comportament que té quan trenca i els avantatges que pot suposar l'addició de fibra.

Tot i que sembla que es contradigui per no millorar els resultats, el trencament pot ser d'especial interès per a altres vies d'investigació.

Com s'ha fet anteriorment amb el trencament a flexió, es durà a terme l'evolució des del ciment blanc fins al 15,75% (v/v) de fibra afegida, el valor més estudiat en aquest projecte.

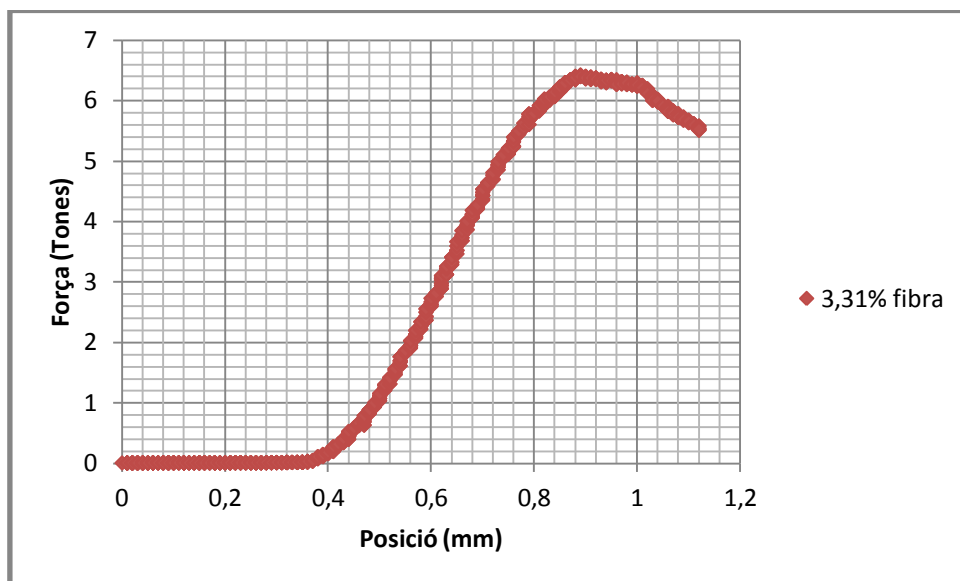


Gràfica 9: Trencament a resistència a compressió de CB R 1:1,5. Font: pròpia

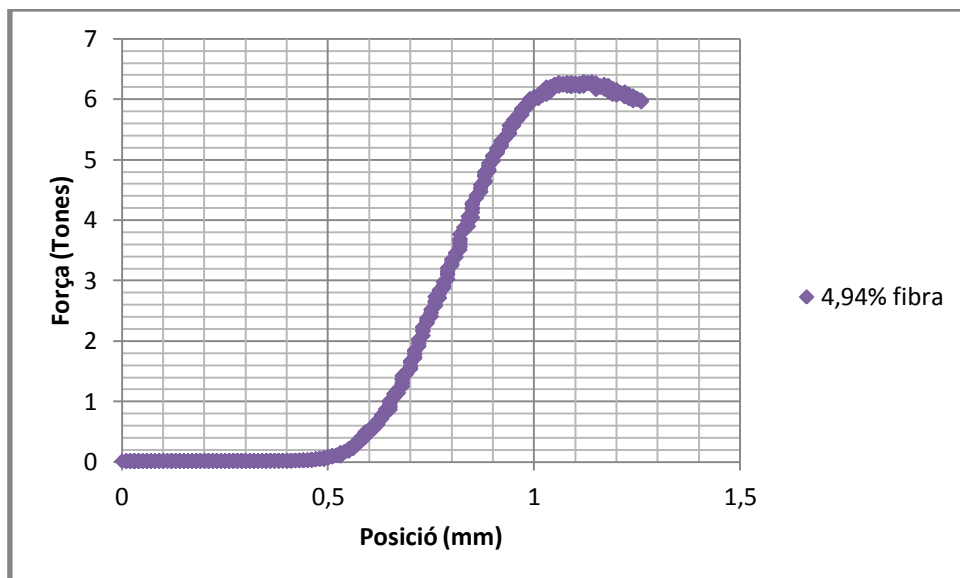


Gràfica 10: Trencament a resistència a compressió de la mostra a R 1:1,5 amb 1,67% (v/v) fibra. Font: pròpia



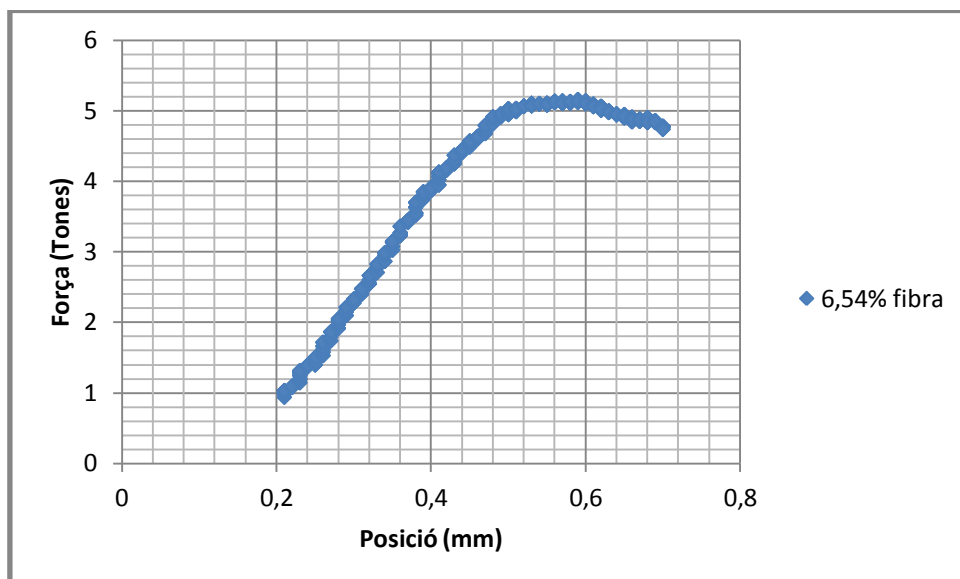


Gràfica 11: Trencament a resistència a compressió de la mostra a R 1:1,5 amb 3,31% (v/v) fibra. Font: pròpia

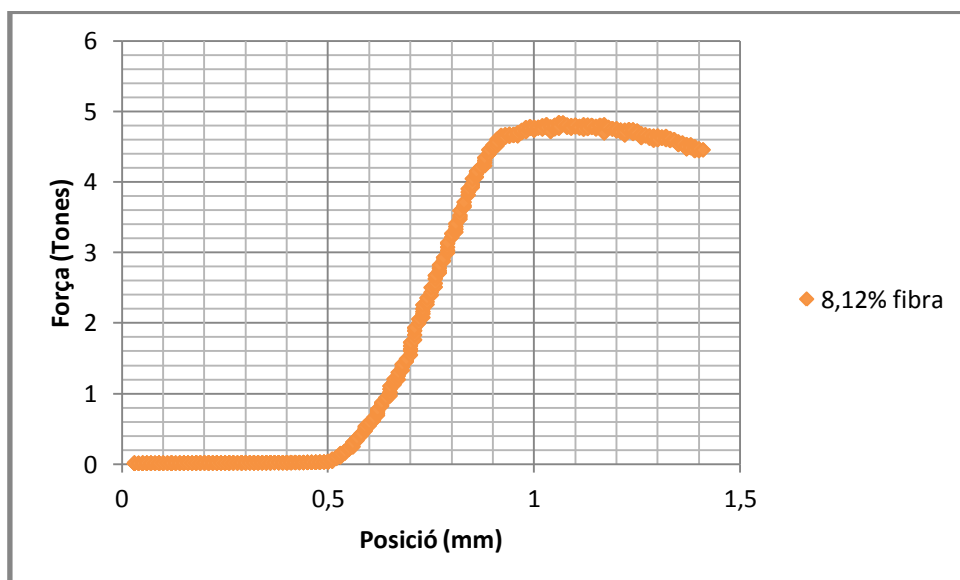


Gràfica 12: Trencament a resistència a compressió de la mostra a R 1:1,5 amb 4,94% (v/v) fibra. Font: pròpia



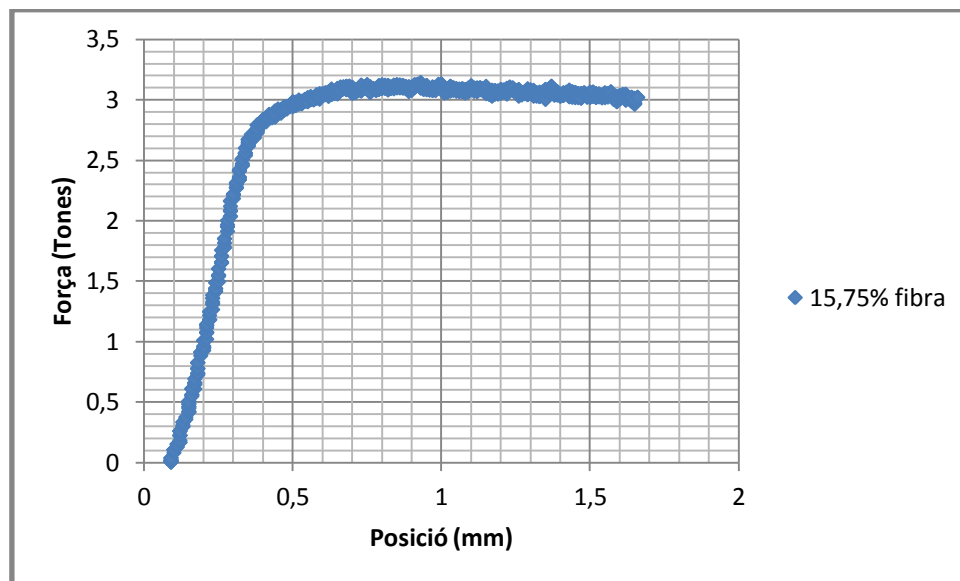


Gràfica 13: Trecament a resistència a compressió de la mostra a R 1:1,5 amb 6,54% (v/v) fibra. Font: pròpia



Gràfica 14: Trecament a resistència a compressió de la mostra a R 1:1,5 amb 8,12% (v/v) fibra. Font: pròpia





Gràfica 15: Trencament a resistència a compressió de la mostra a R 1:1,5 amb 15,75% (v/v) fibra. Font: pròpia

Tot i que els resultats a compressió ens demostren una minoria dels valors respecte del ciment blanc, el comportament que té el seu trencament és totalment contradictori i satisfactori. El ciment blanc es comporta de manera que, arribat al seu punt màxim de càrrega la qual pot suportar, es va esquerdant i baixa la força aplicada en picat. En canvi, a mesura que anem augmentat la fibra, es crea un trencament diferent, fent que el material sigui més deformable i tingui més resistència a la deformació, creant així un valor residual que va augmentant, relacionat amb l'addició de fibra i que permet al material ser més deformable aguantant una força constant durant més temps. Aquest fet és satisfactori ja que evita el col·lapse total del material permetent-li una deformació major i més duradora gràcies a l'enllaç entre les fibres.

#### 7.7.5. Conclusions parcials de resistència a compressió

Les conclusions que es poden estimar en quant a resistència a compressió són les següents:

- El ciment blanc respon millor a les propietats de resistència a compressió, sent empitjorat quan se li afegeix fibra com a reforç.

- El comportament al trencament és sens dubte molt millor amb més quantitat de fibra afegida a la mescla, produint una notable millora del compost i del seu valor residual. La dosificació amb un 15,75% (v/v) de fibra és la més adequada en aquest aspecte.
- La resistència baixa notablement degut a que les fibres estan distribuïdes de manera homogènia dins del compost però no treballen d'una manera concreta com és el cas de les malles, que es s'analitzaran més endavant.

## 8. OPCIO 2: PROVETES REALITZADES AMB MALLA DE JUTE

### 8.1. Introducció

L'altra via d'investigació d'aquest treball, és l'estudi de la capacitat de reforç de malles de jute en el compost. La idea inicial del treball ja tenia l'objectiu de realitzar aquest tipus concret de provetes però amb un tipus de manta de més gramatge i que no va resultar viable per falta d'impregnació de la manta.

Així doncs, es va decantar per la utilització de diferents malles per treure'n resultats i unes conclusions.

S'utilitzaran dues dosificacions diferents de relació aigua:ciment, una corresponent a una relació 1:1,5 més líquida i l'altra més espessa de relació 1:3 (a:c) per tal d'observar si afecta la dosificació en l'alteració de resultats o no.

Per tant, s'analitzarà el comportament de malla de jute a l'interior de provetes normalitzades amb mescla de ciment i aigua, analitzant si és possible aquest reforç i millora de les propietats mecàniques o no.

### 8.2. Materials utilitzats

El material de reforç utilitzat en aquesta vessant d'investigació és la malla de jute. Inicialment, es van dur a terme un total de 5 provetes diferents, totes 5 amb malles de diferents gramatges per avaluar-ne les propietats.



Fotografia 44: Malla de jute de gramatge 135 g/m<sup>2</sup>. Font: pròpia



Fotografia 45: Malla de jute de gramatge 82 g/m2. Font: pròpia



Fotografia 46: Malla de jute de gramatge 305 g/m2. Font: pròpia



Fotografia 47: Malla de jute de gramatge 250 g/m2. Font: pròpia





Fotografia 48: Malla de jute de gramatge 305 g/m2. Font: pròpia

En cada proveta hi havia la utilització de dues malles, una treballant com a negatiu i l'altra com a positiu, situades a 1 cm de la part inferior de la base i a 1 cm de la part superior del motlle. Aquesta posició de la malla és la que s'utilitzarà en totes les provetes realitzades amb aquest tipus de material. La col·locació de dues malles envers una sola al mig és per evitar col·locar la malla en la posició de la fibra neutre.

Inicialment no es va pensar en la idea que la malla un cop a l'interior de la proveta mostraria un desplaçament a causa de la mescla tant líquida, creant així punts conflictius que afectarien al resultat de les propietats.

A continuació es mostren el seguit de fotografies de les diferents malles i el desplaçament que han sofert a l'interior de la proveta:



Fotografia 49: Proveta amb malla de jute de gramatge 82 g/m2. Font: pròpia



Fotografia 50: Proveta amb malla de jute de gramatge 135 g/m<sup>2</sup>. Font: pròpia



Fotografia 51: Proveta amb malla de jute de gramatge 305 g/m<sup>2</sup>. Font: pròpia



Fotografia 52: Proveta amb malla de jute de gramatge 250 g/m<sup>2</sup>. Font: pròpia

Les dues malles que han presentat unes millors propietats han estat les següents:

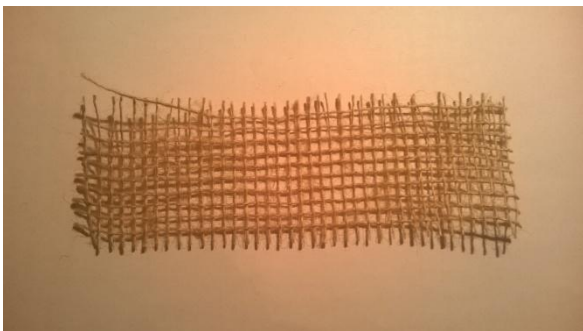
- Malla amb intereix gran (gramatge de 82 g/m<sup>2</sup>)
- Malla amb intereix petit (gramatge de 135 g/m<sup>2</sup>)

Aquestes dues malles seran les utilitzades durant el transcurs de fabricació de provetes.

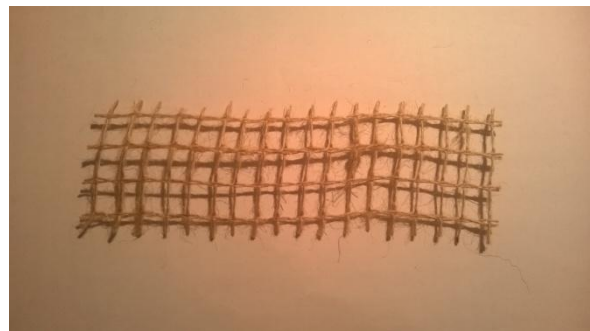
Com més petit és l'intereix de la malla, la mescla de pasta de ciment no penetra en els forats i s'observa com existeix la incompatibilitat dels dos materials.

### 8.3. Procés de fabricació de les provetes amb malla

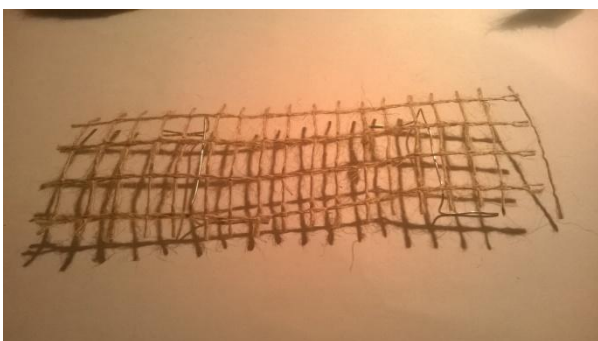
El procediment de fabricació de les provetes amb malla requereix d'una fabricació més elaborada, tenint en compte que s'han de fabricar els separadors per a mantenint la malla en la mateixa posició dins del motlle, i que a més s'han de retallar totes les mostres amb una mesura de 1600 x 400 mm per a poder-la introduir a l'interior de cada motlle.



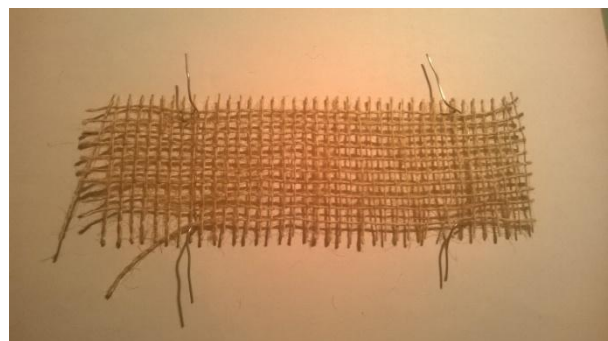
Fotografia 53: Exemple amb malla de jute de gramatge 135 g/m<sup>2</sup>. Font: pròpia



Fotografia 54: Exemple malla de jute de gramatge 82 g/m<sup>2</sup>. Font: pròpia



Fotografia 55: Col·locació de separadors inferior a la malla de jute de gramatge 135 g/m<sup>2</sup>. Font: pròpia



Fotografia 56: Col·locació de separadors superiors a la malla de jute de gramatge 82 g/m<sup>2</sup>. Font: pròpia

A continuació enumerarem els passos a seguir per la fabricació d'aquestes provetes amb malla:

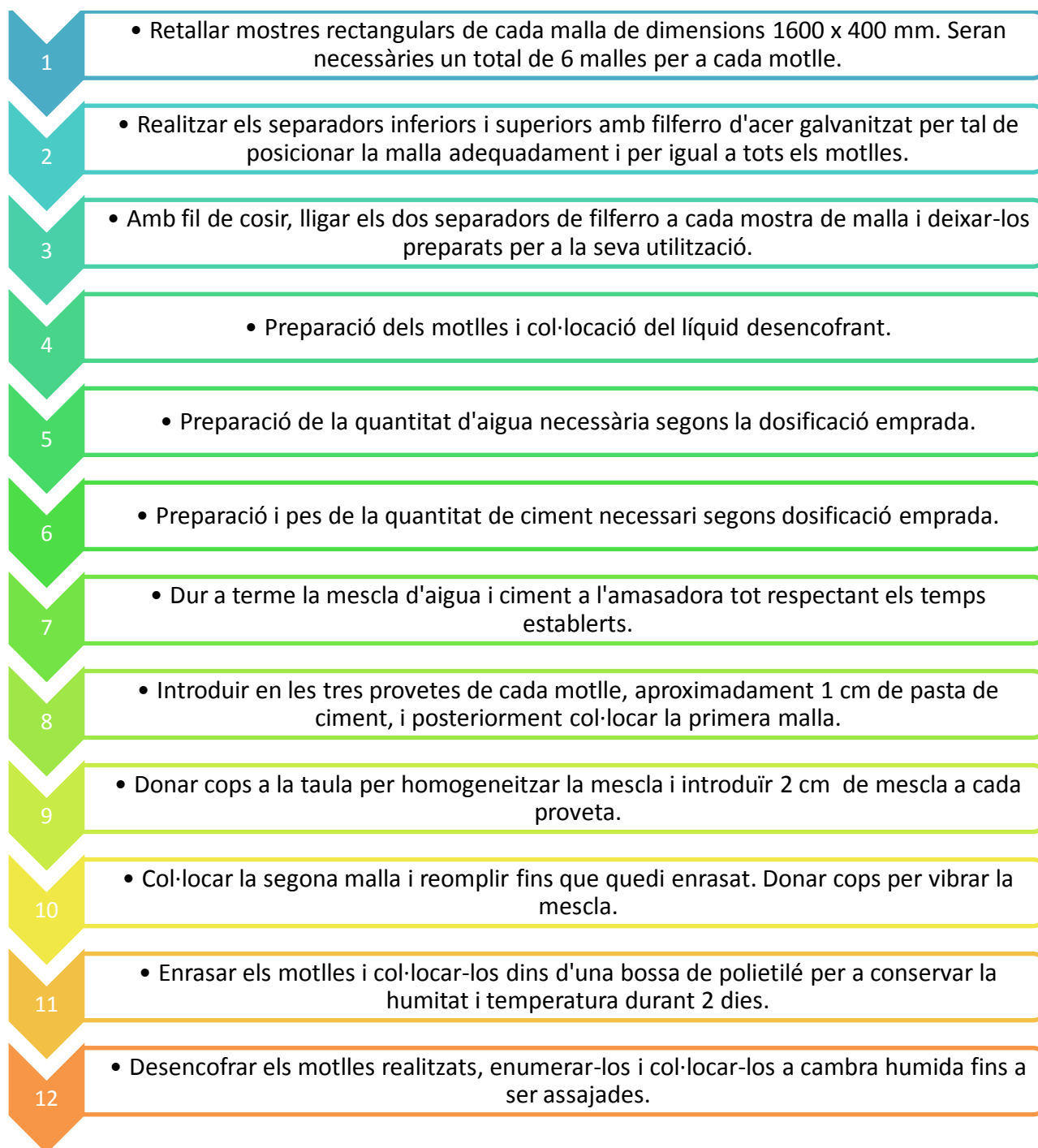


Diagrama 12: Procediment operatiu per a la realització de provetes amb fibra triturada. Font: pròpia

No obstant, aquí encara no acaba el procediment operatiu per a assajar les provetes. Abans de poder-les assajar caldrà dur a terme el refractat d'una de les cares de la proveta. El motiu per el qual s'utilitza aquesta tècnica és perquè es necessita una superfície llisa i sense irregularitats a

l'hora d'assajar les provetes, i si rotéssim la proveta el sentit de la malla no seria el mateix i no treballaria bé.

El procediment a seguir és el següent:

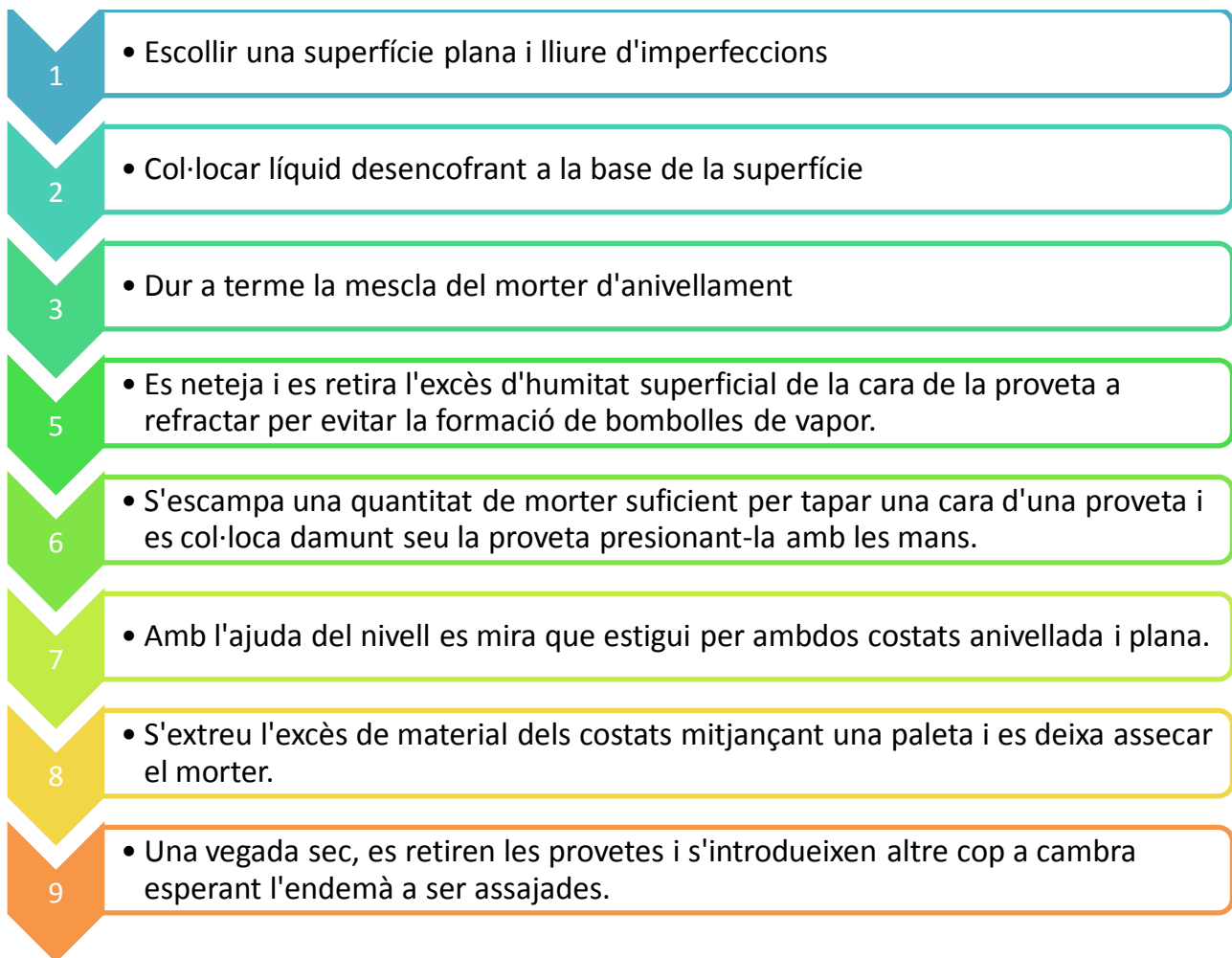
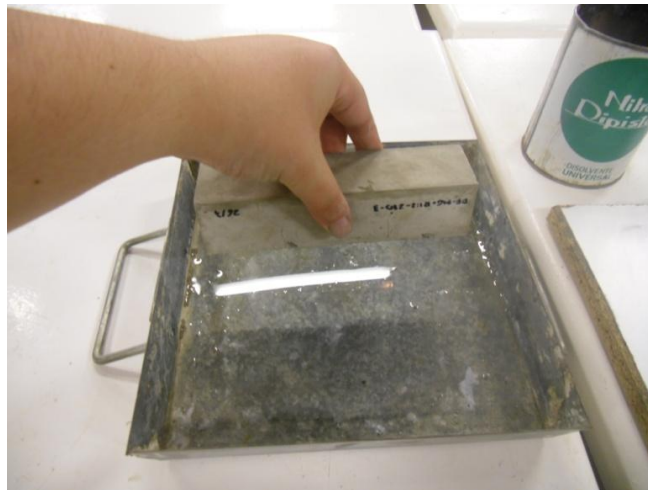


Diagrama 13: Procediment operatiu per a la realització del refractat de provetes. Font: pròpia

A continuació es mostren un seguit de fotografies ordenades del procés de refractat:



Fotografia 57: Morter emprat en el refractat. Font: pròpia



Fotografia 58: Mullat de la proveta durant el refractat. Font: pròpia



Fotografia 59: Exemple amb malla de jute de gramatge 135 g/m<sup>2</sup>. Font: pròpia



Fotografia 60: Anivellament de les cares durant el refractat. Font: pròpia



Fotografia 61: Anivellament de les cares durant el refractat 2. Font: pròpia



Fotografia 62: Resultat final del refractat en provetes en malla. Font: pròpia

## 8.4. Dosificació

Les dosificacions en aquesta opció de provetes és pràcticament escassa, ja que la fibra es dona no és triturada sinó en dos tipus de malles diferents. Una malla presenta un gramatge de 135 g/m<sup>2</sup> i l'altra amb un intereix més gran, de gramatge 82 g/m<sup>2</sup>. Aquestes malles s'empraran en els dos tipus de dosificacions de ciment diferents per així analitzar-ne les propietats i dur-ne a terme una comparativa de resultats.

DOSIFICACIONS						
Nº DOSIFICACIÓ	Relació a:c	Tipus d'addicions	Valor d'addició	Aigua (gr)	Ciment (gr)	Fibra (gr)
CB R 1:1,5	R 1:1,5	CAP	--	600	900	--
CB R 1:3	R 1:3	CAP	--	600	1800	--

Taula 23: Dosificacions de provetes en malla. Font: pròpia

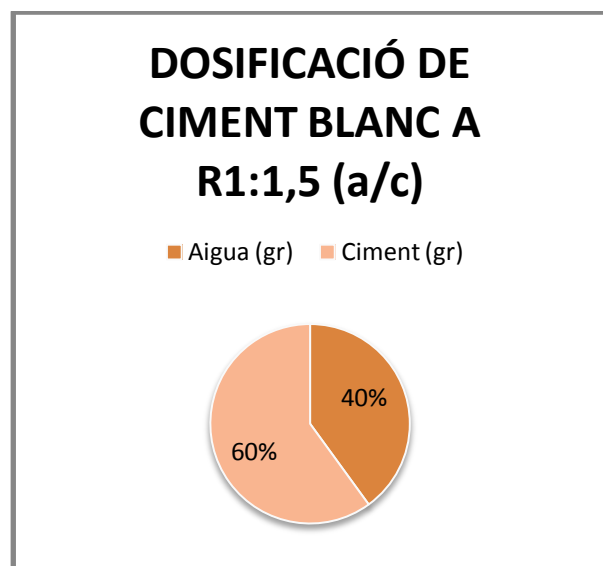


Diagrama 14: Dosificacions de ciment blanc a R 1:1,5. Font: pròpia

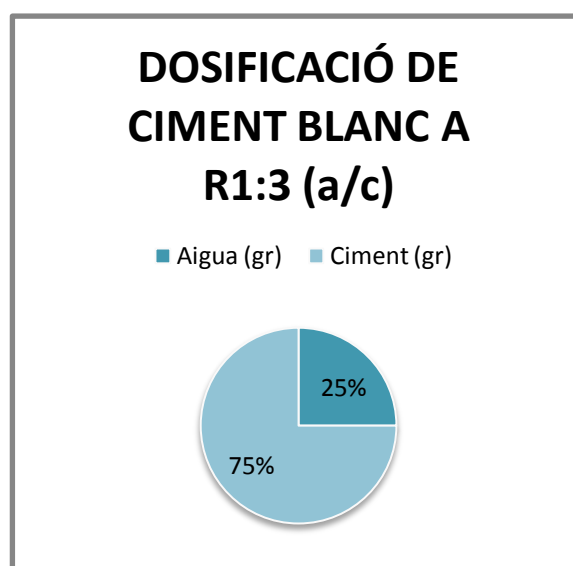


Diagrama 15: Dosificacions de ciment blanc R 1:3. Font: pròpia



## 8.5. Assaig de consistència

L'assaig de consistència ens mostra el valor d'escorriment per a cada tipus de dosificació diferent, donant així una designació a cada sèrie analitzada.

ASSAIG DE CONSISTÈNCIA				
SÈRIE	Valor 1 (mm)	Valor 2 (mm)	Escorriment (mm)	Designació
<i>CIMENT BLANC R 1:1,5 (w/w)</i>	--	--	--	Flüida
<i>CIMENT BLANC R 1:3 (w/w)</i>	17,08	16,02	16,55	Plàstica

Taula 24: Resultats de consistència. Font: pròpia

S'analitza una variació important de la consistència de les dues dosificacions. La primera, més líquida, com és d'esperar, presenta una consistència fluida. En canvi, la segona dosificació, presenta una dosificació més plàstica a causa del major contingut en ciment.

No s'ha adjuntat cap gràfica al respecte perquè en aquesta opció de provetes amb malles tant sols existeixen aquestes dues dosificacions emprades.

## 8.6. Resultats a flexió de provetes amb malla

### 8.6.1. Resultats generals dosificació 1 (Relació aigua:ciment 1:1,5)

En el cas dels resultats amb malla es va optar per a la realització de provetes amb dues dosificacions diferents, una amb una relació aigua/ciment més líquida i l'altra amb una dosificació més espessa per així analitzar el comportament de les malles en les dues dosificacions i veure si es comportaven de la mateixa manera.

A continuació, s'expressen els resultats obtinguts a flexió amb la dosificació 1:1,5. Com s'ha estudiat anteriorment amb la fibra triturada, estudiarem la resistència a flexió final, la mitjana dels 3 valors de cada sèrie i la desviació estàndard dels valors.

- Les dades del ciment blanc han estat analitzades anteriorment ja que es tracta de la mateixa dosificació utilitzada en fibra triturada.

<b>CIMENT BLANC R 1:1,5 (aigua:ciment)</b>					
Dies	Sèrie / proveta	Flexió (N)	$\Sigma$ Flexió (N)	$\sigma$ (N)	Rf (Mpa)
7 DIES	CB – R 1:1,5 - 7D - 1	440,10	503,93	93,13	1,18
	CB – R 1:1,5 - 7D - 2	460,90			
	CB – R 1:1,5 - 7D - 3	610,80			
14 DIES	CB – R 1:1,5 - 14D - 1	710,70	632,87	306,85	1,48
	CB – R 1:1,5 - 14D - 2	893,30			
	CB – R 1:1,5 - 14D - 3	294,60			
21 DIES	CB – R 1:1,5 - 21D - 1	826,00	890,43	430,98	2,09
	CB – R 1:1,5 - 21D - 2	1350,00			
	CB – R 1:1,5 - 21D - 3	495,30			
28 DIES	CB – R 1:1,5 - 28D - 1	867,00	1236,33	328,53	2,90
	CB – R 1:1,5 - 28D - 2	1346,00			
	CB – R 1:1,5 - 28D - 3	1496,00			

Taula 25: Resultats a flexió de provetes de ciment blanc a R 1:1,5. Font: pròpia.

- Per norma general, aquest tipus de malla presenta uns valors amb una desviació estàndard molt baixa, per tant una distribució homogènia. El valor de 21 dies s'escapa de la progressió lineal que hauria de presentar la taula. Això pot ser degut a la posició de la malla, que tot i estar construïda amb separadors per intentar que no es mogui de lloc un cop realitzada la proveta, aquesta malla pot arribar a desplaçar-se a l'interior de la mescla i posicionar-se diferent de la resta.

<b>MALLA PETITA RELACIÓ 1:1,5 (aigua:ciment)</b>					
Dies	Sèrie / proveta	Flexió (N)	$\Sigma$ Flexió (N)	$\sigma$ (N)	Rf (Mpa)
7 DIES	PF - MP - R 1:1,5 - 7D -1	713,00	741,77	71,15	1,74
	PF - MP - R 1:1,5 - 7D -2	689,50			
	PF - MP - R 1:1,5 - 7D -3	822,80			
14 DIES	PF - MP - R 1:1,5 - 14D -1	1004,00	977,20	37,30	2,29
	PF - MP - R 1:1,5 - 14D -2	993,00			
	PF - MP - R 1:1,5 - 14D -3	934,60			
21 DIES	PF - MP - R 1:1,5 - 21D -1	1503,00	1523,67	34,93	3,57
	PF - MP - R 1:1,5 - 21D -2	1564,00			
	PF - MP - R 1:1,5 - 21D -3	1504,00			
28 DIES	PF - MP - R 1:1,5 - 28D -1	1654,00	1613,00	70,15	3,78
	PF - MP - R 1:1,5 - 28D -2	1532,00			
	PF - MP - R 1:1,5 - 28D -3	1653,00			

Taula 26: Resultats a flexió de provetes amb R 1:1,5 i malla petita (135 g/m<sup>2</sup>). Font: pròpia.

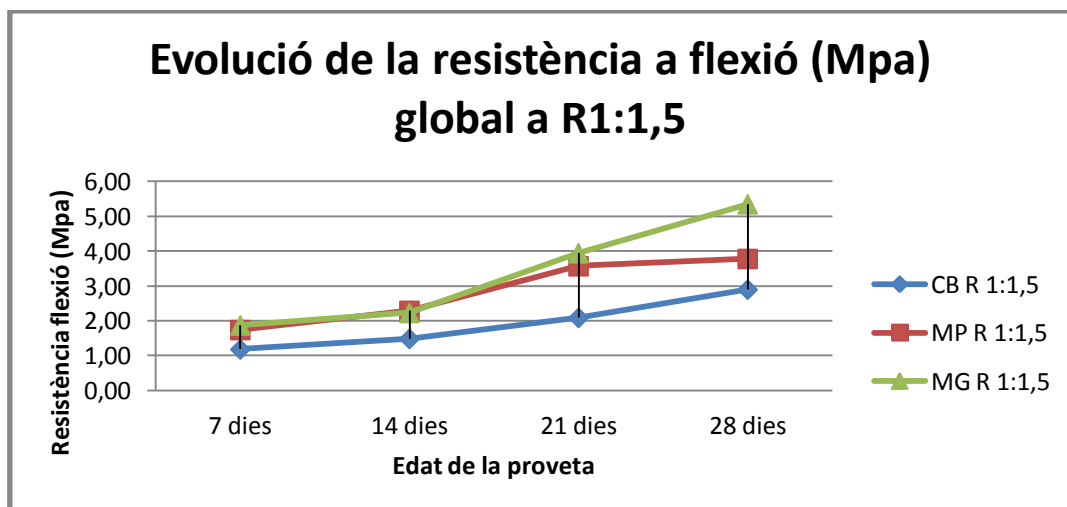
- La sèrie amb malla gran presenta una evolució molt significativa entre els resultats a 7 dies i el resultat de 28 dies, provocant una accentuació de la línia en la gràfica. La desviació estàndard en algunes ocasions és elevada, fet provocat per la posició de la malla.

<b>MALLA GRAN RELACIÓ 1:1,5 (aigua:ciment)</b>					
Dies	Sèrie / proveta	Flexió (N)	$\Sigma$ Flexió (N)	$\sigma$ (N)	Rf (Mpa)
7 DIES	PF - MG - R 1:1,5 - 7D -1	721,60	798,30	77,56	1,87
	PF - MG - R 1:1,5 - 7D -2	876,70			
	PF - MG - R 1:1,5 - 7D -3	796,60			
14 DIES	PF - MG - R 1:1,5 - 14D -1	1003,50	950,57	49,66	2,23
	PF - MG - R 1:1,5 - 14D -2	905,00			
	PF - MG - R 1:1,5 - 14D -3	943,20			
21 DIES	PF - MG - R 1:1,5 - 21D -1	2042,00	1683,67	310,54	3,95
	PF - MG - R 1:1,5 - 21D -2	1516,00			
	PF - MG - R 1:1,5 - 21D -3	1493,00			
28 DIES	PF - MG - R 1:1,5 - 28D -1	1940,00	2283,33	425,23	5,35
	PF - MG - R 1:1,5 - 28D -2	2151,00			
	PF - MG - R 1:1,5 - 28D -3	2759,00			

Taula 27: Resultats a flexió de provetes amb R 1:1,5 i malla gran (82 g/m2). Font: pròpia.

### 8.6.1.1 Anàlisis global de l'evolució de la resistència a flexió (Relació aigua:ciment 1:1,5)

- Evolució global de totes les provetes amb malla a 7,14, 21 i 28 dies



Gràfica 16: Evolució de la resistència a flexió en provetes R 1:1,5 i diferents tipus de malla. Font: pròpia

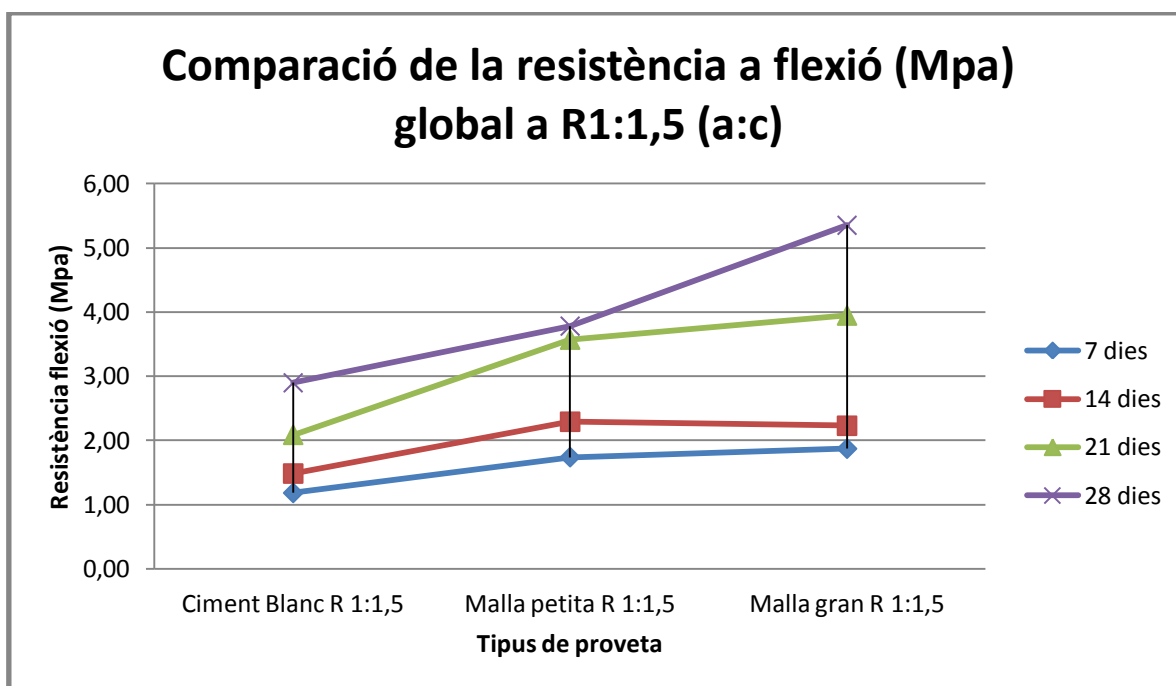
S'observa i s'analitza un creixement més o menys lineal de la resistència a flexió envers els diferents tipus de sèries.

La malla gran, en aquest cas d'un gramatge de 82 g/m<sup>2</sup>, és la que presenta millors resultats a flexió. Aquest resultat és degut a l'espai buit d'interèix de la malla, el qual és més gran que el de la malla petita de gramatge 135 g/m<sup>2</sup> i pot penetrar millor la mescla de ciment i aigua, i per tant crea una adherència entre els dos materials més adient i que funciona millor.

No obstant, cal fer esmena que els dos tipus de malla milloren les propietats a flexió del ciment blanc en mínim un 30% i un 85% respectivament.

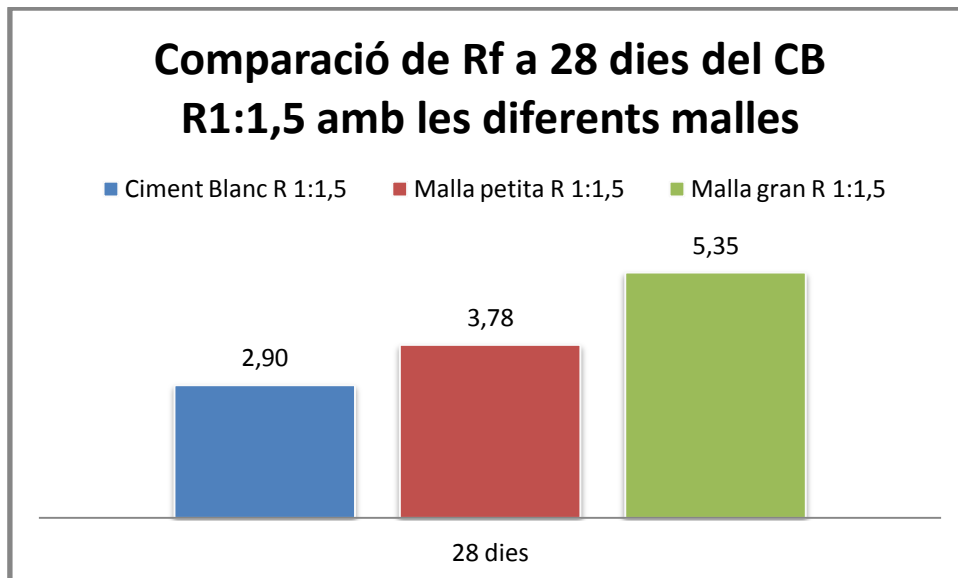
### 8.6.1.2. Anàlisis i comparació del comportament de la mall segons l'edat de les provetes i el tipus de malla utilitzada (Relació aigua:ciment 1:1,5)

- Evolució global de la resistència a flexió segons el tipus de malla (7, 14, 21 i 28 dies)



Gràfica 17: Comparació de la resistència a flexió en provetes amb diferents tipus de malla a diferents edats de curació. Font: pròpia

- **Evolució de la resistència a flexió reflexada en mostres curades a 28 dies i amb diferents tipus de malles**



Gràfica 18: Resultats a 28 dies de resistència a flexió en provetes amb diversos tipus de malla. Font: pròpia.

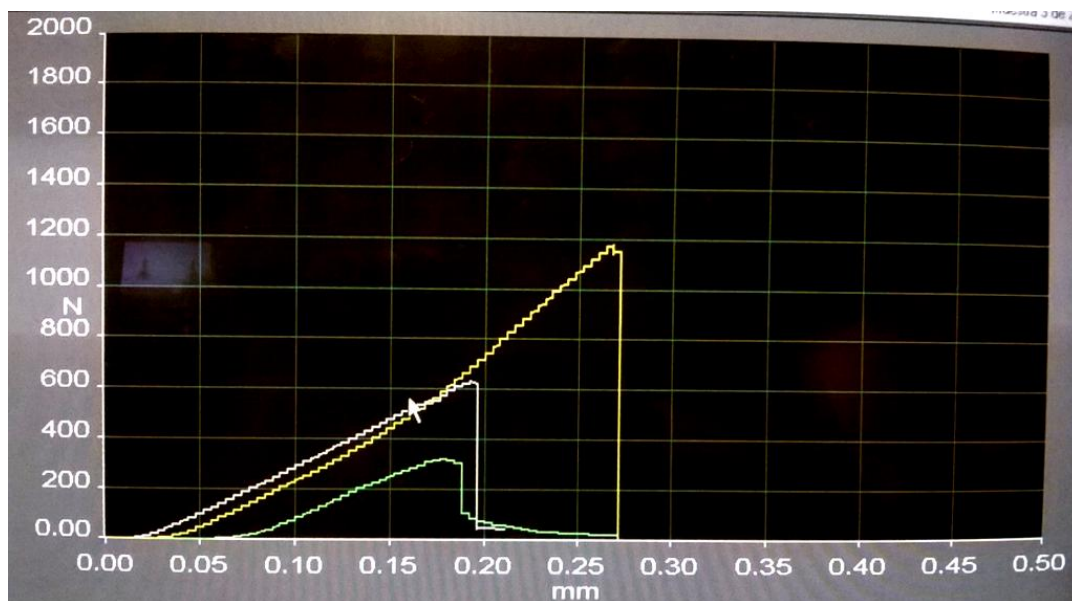
Es presenten uns resultats alentadors i una millora de les propietats a flexió, tal i com s'ha fet esmena anteriorment. En l'evolució a diferents dies d'edat de les mostres realitzades, la malla de gramatge més petita i intereix més gran és la que presenta un millor rendiment final. Es pot observar doncs, que com més petit és el intereix de la malla la mescla no penetra tant bé en el compost i per tant els materials no treballen uniformement units, sinó que treballa com si es tractes de capes intermèdies diferents.

### 8.6.1.3. Anàlisis del trencament a flexió (Relació aigua/ciment 1:1,5)

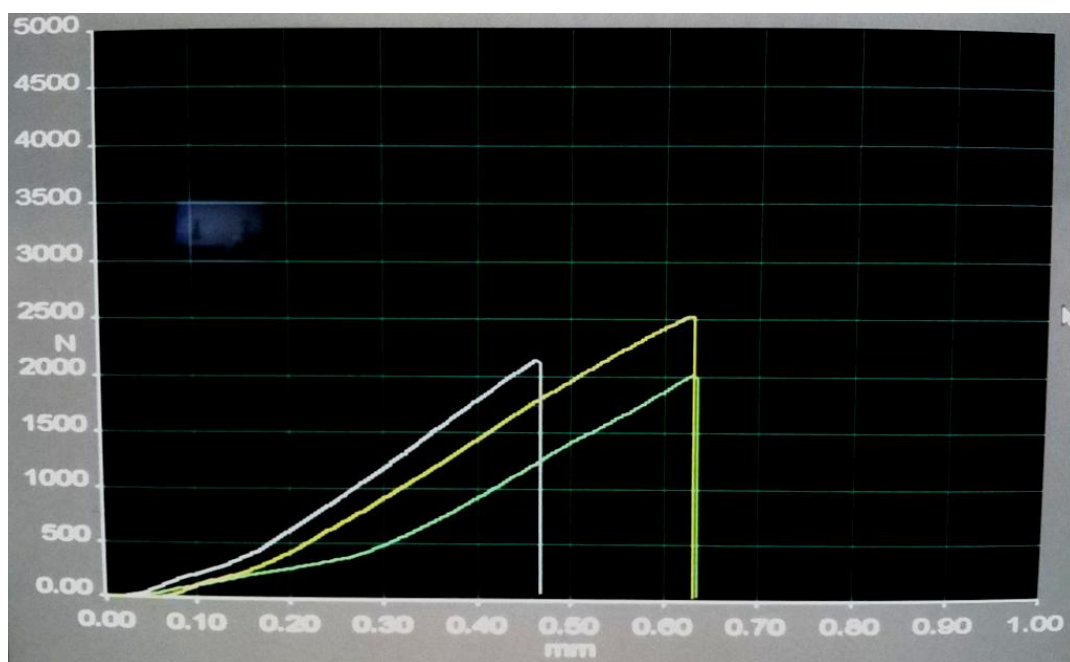
A diferència de la vessant de mostres amb fibra triturada, el trencament d'aquest tipus de mostres sol ser diferent i molt més accentuat com passa en les mostres de ciment blanc. És molt recomanable i adient analitzar el trencament d'aquest tipus de mostres, ja que és sorprenent el resultat final que pot donar.

S'analitzarà la gràfica de ciment blanc com a base per a fer la comparació, i la seguiran les altres dues gràfiques, una corresponent al resultat de flexió utilitzant la malla petita de gramatge 135 /m<sup>2</sup> i l'altra, corresponent a la malla gran de gramatge 82 g/m<sup>2</sup>.

En aquesta vessant com es pot analitzar no existeix cap tipus d'addició de fibra triturada, sinó que el que es vol aconseguir es que la malla de jute faci la funció també de reforç del ciment.

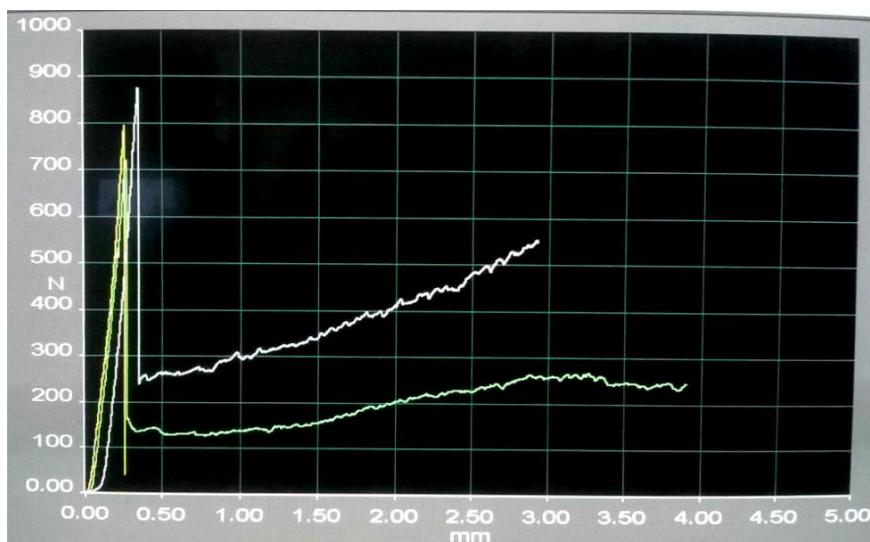


Fotografia 63: Trencament a resistència a flexió CB R 1:1,5. Font: pròpia



Fotografia 64: Trencament a resistència a flexió mostra R 1:1,5 amb malla petita (135 g/m<sup>2</sup>). Font: pròpia





**Fotografia 65: Trencament a resistència a flexió mostra R 1:1,5 amb malla gran (82 g/m<sup>2</sup>). Font: pròpia**

En els tres casos el trencament a flexió es pràcticament semblant, sent una ruptura molt seca i que parteix el material en dos parts a l'instant en que cau en picat la força.

Aquest trencament tant brusc en els tres casos es deu al comportament que presenta el ciment, el qual per si sol no té cap mena de resistència a la flexió, sinó que necessita un complement/additiu que l'ajudi a millorar aquest comportament. Es du a terme també en les mostres de malla pel motiu que la malla tant sols ocupa una petita part del compost i la resta és ciment pur sense cap mena d'addició.

No obstant, una vegada produït aquest trencament del ciment, és quan li toca el torn d'actuació de la malla, la qual gràcies als enllaços entre ella i la bona resistència a tracció que presenta el jute, fa que es creï un valor residual el qual fa augmentar altre cop la força aplicada progressivament, fins el punt en que torna a baixar i es manté constant sense trencament.

A la il·lustració que s'empra a continuació es pot veure com després del trencament de la part del ciment, la mostra no es parteix en dos ja que l'acció que fa la malla en aquests moments produeix el valor residual.



**Fotografia 66: Assaig de resistència a flexió de proveta amb fibra afegida. Font: pròpia.**

### 8.6.2. Resultats generals dosificació 2 (Relació aigua:ciment 1:3)

El tipus de dosificació utilitzada en aquest apartat és d'una relació aigua/ciment de 1:3, sent una mescla menys líquida que l'anterior.

- Les dades del ciment blanc amb dosificació R1:3 presenta una evolució de la resistència a flexió envers la dosificació de R1:1,5. Aquesta porta un contingut de ciment més elevat, fet que produeix una major resistència del conjunt.

La desviació estàndard del conjunt de dades és pràcticament molt homogènia en tots i cadascun dels valors, fent així una distribució més acurada de les dades.

<b>CIMENT BLANC R1:3 (aigua:ciment)</b>					
<b>Dies</b>	<b>Sèrie / proveta</b>	<b>Flexió (N)</b>	<b><math>\Sigma</math>Flexió (N)</b>	<b><math>\sigma</math> (N)</b>	<b>Rf (Mpa)</b>
<b>7 DIES</b>	<b>CB - R1:3 - 7D - 1</b>	1317,00	<b>1325,00</b>	<b>13,00</b>	<b>3,11</b>
	<b>CB - R1:3 - 7D - 2</b>	1340,00			
	<b>CB - R1:3 - 7D - 3</b>	1318,00			
<b>14 DIES</b>	<b>CB - R1:3 - 14D - 1</b>	1437,00	<b>1409,67</b>	<b>30,35</b>	<b>3,30</b>
	<b>CB - R1:3 - 14D - 2</b>	1377,00			
	<b>CB - R1:3 - 14D - 3</b>	1415,00			
<b>21 DIES</b>	<b>CB - R1:3 - 21D - 1</b>	1589,00	<b>1626,67</b>	<b>33,26</b>	<b>3,81</b>
	<b>CB - R1:3 - 21D - 2</b>	1652,00			
	<b>CB - R1:3 - 21D - 3</b>	1639,00			
<b>28 DIES</b>	<b>CB - R1:3 - 28D - 1</b>	2660,00	<b>2466,00</b>	<b>203,03</b>	<b>5,78</b>
	<b>CB - R1:3 - 28D - 2</b>	2483,00			
	<b>CB - R1:3 - 28D - 3</b>	2255,00			

Taula 28: Resultats a flexió de provetes de ciment blanc a R1:3. Font: pròpia.

- Aquest tipus de malla presenta uns valors progressius i molt menors que la mostra de ciment blanc analitzada anteriorment.



<b>MALLA PETITA RELACIÓ 1:3 (aigua:ciment)</b>					
Dies	Sèrie / proveta	Flexió (N)	$\Sigma$ Flexió (N)	$\sigma$ (N)	Rf (Mpa)
7 DIES	PF - MP - R1:3 - 7D -1	993,50	1000,17	10,28	2,34
	PF - MP - R1:3 - 7D -2	995,00			
	PF - MP - R1:3 - 7D -3	1012,00			
14 DIES	PF - MP - R1:3 - 14D -1	1326,00	1321,33	66,12	3,10
	PF - MP - R1:3 - 14D -2	1385,00			
	PF - MP - R1:3 - 14D -3	1253,00			
21 DIES	PF - MP - R1:3 - 21D -1	1693,00	1558,33	124,65	3,65
	PF - MP - R1:3 - 21D -2	1447,00			
	PF - MP - R1:3 - 21D -3	1535,00			
28 DIES	PF - MP - R1:3 - 28D -1	1783,00	1641,00	151,80	3,85
	PF - MP - R1:3 - 28D -2	1659,00			
	PF - MP - R1:3 - 28D -3	1481,00			

Taula 29: Resultats a flexió de provetes amb R1:3 i malla petita (135 g/m2). Font: pròpia.

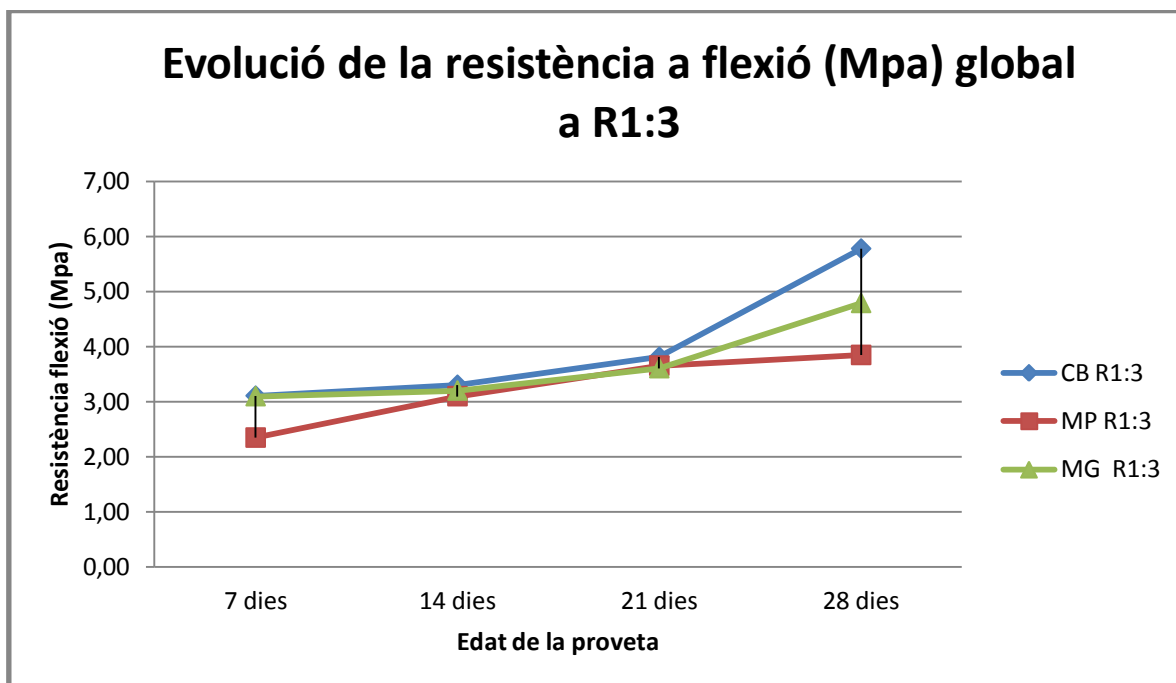
- Tot i presentar una desviació estàndard bastant remarcada en cadascun dels valors, s'observa un augment de valors respecte la malla petita anterior i una minoració del valor respecte als del ciment blanc.

<b>MALLA GRAN RELACIÓ 1:3 (aigua:ciment)</b>					
Dies	Sèrie / proveta	Flexió (N)	$\Sigma$ Flexió (N)	$\sigma$ (N)	Rf (Mpa)
7 DIES	PF - MG - R1:3 - 7D -1	996,50	1321,50	320,83	3,10
	PF - MG - R1:3 - 7D -2	1638,00			
	PF - MG - R1:3 - 7D -3	1330,00			
14 DIES	PF - MG - R1:3 - 14D -1	1486,00	1365,33	176,31	3,20
	PF - MG - R1:3 - 14D -2	1163,00			
	PF - MG - R1:3 - 14D -3	1447,00			
21 DIES	PF - MG - R1:3 - 21D -1	1681,00	1538,67	128,84	3,61
	PF - MG - R1:3 - 21D -2	1430,00			
	PF - MG - R1:3 - 21D -3	1505,00			
28 DIES	PF - MG - R1:3 - 28D -1	2302,00	2044,67	274,35	4,79
	PF - MG - R1:3 - 28D -2	1756,00			
	PF - MG - R1:3 - 28D -3	2076,00			

Taula 30: Resultats a flexió de provetes amb R1:3 i malla gran (82 g/m2). Font: pròpia.

### 8.6.2.1. Anàlisi global de l'evolució de la resistència a flexió (Relació aigua/ciment 1:3)

- Evolució global de totes les provetes amb malla a 7,14, 21 i 28 dies



Gràfica 19: Evolució de la resistència a flexió en provetes R1:3 i diferents tipus de malla. Font: pròpia

S'observa i s'analitza un creixement més accidentat de 21 a 28 dies, no obstant la gràfica augmenta de valors progressivament.

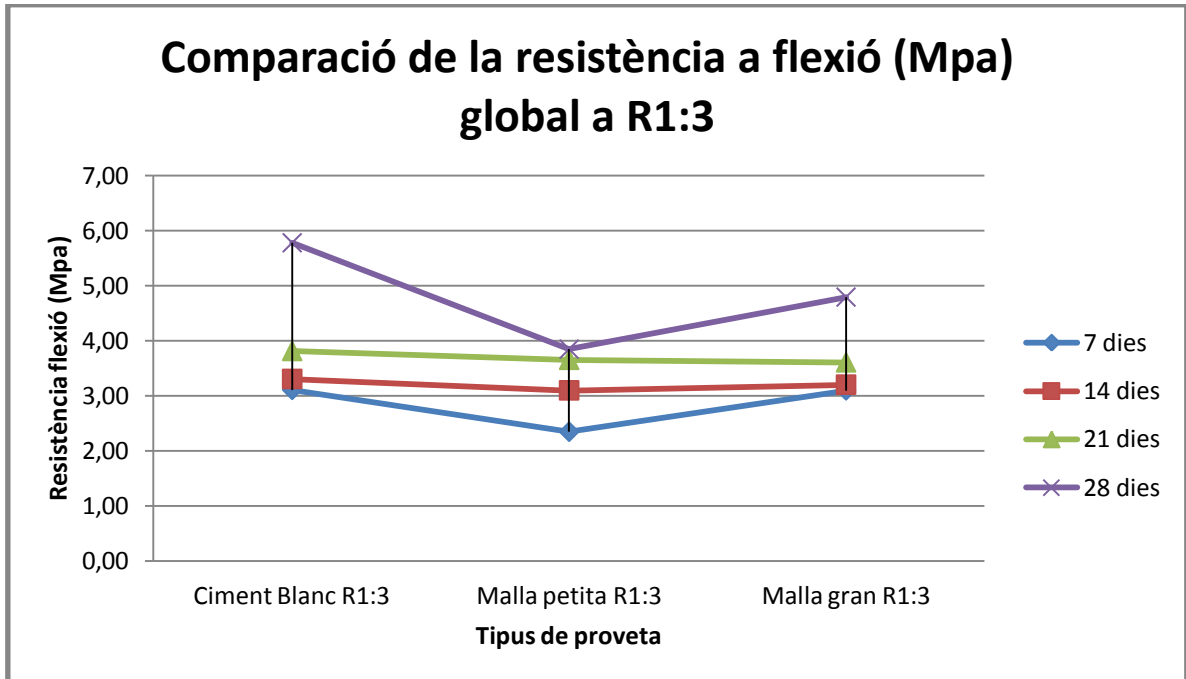
És d'aquesta manera, on analitzant la gràfica s'observa que cap de les dues malles utilitzades en aquestes mostres arriba a superar el valor de resistència a flexió del ciment blanc.

Tot i minorar els valors a flexió, la malla gran, de gramatge 82 g/m<sup>2</sup> presenta uns valors més elevats que l'altre tipus. Això és gràcies a que la malla gran presenta un intereix major i per tant hi penetra més la mescla en el seu interior, presentarà millor adherència.

Finalment, els dos tipus de malla minoren el valor del ciment blanc en un mínim d'un 17%.

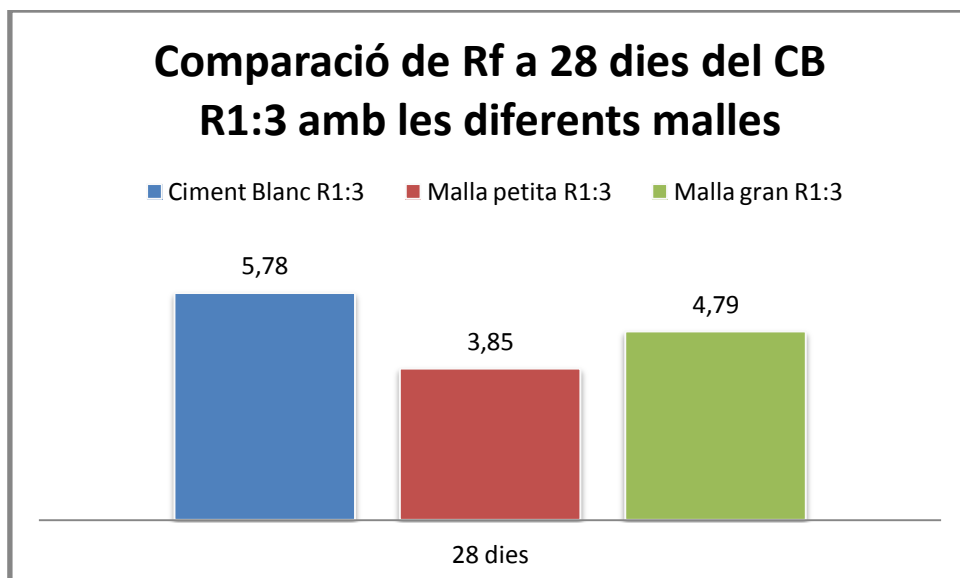
**8.6.2.2. Anàlisi i comparació del comportament de la fibra segons l'edat de les provetes i el tipus de malla utilitzada (Relació aigua/ciment 1:3)**

- Evolució global de la resistència a flexió segons el tipus de malla (7, 14, 21 i 28 dies)



Gràfica 20: Comparació de la resistència a flexió en provetes amb diferents tipus de malla a diferents edats de curació. Font: pròpia

- Evolució de la resistència a flexió reflexada en mostres curades a 28 dies i amb diferents tipus de malles



Gràfica 21: Resultats a 28 dies de resistència a flexió en provetes amb diversos tipus de malla. Font: pròpia.

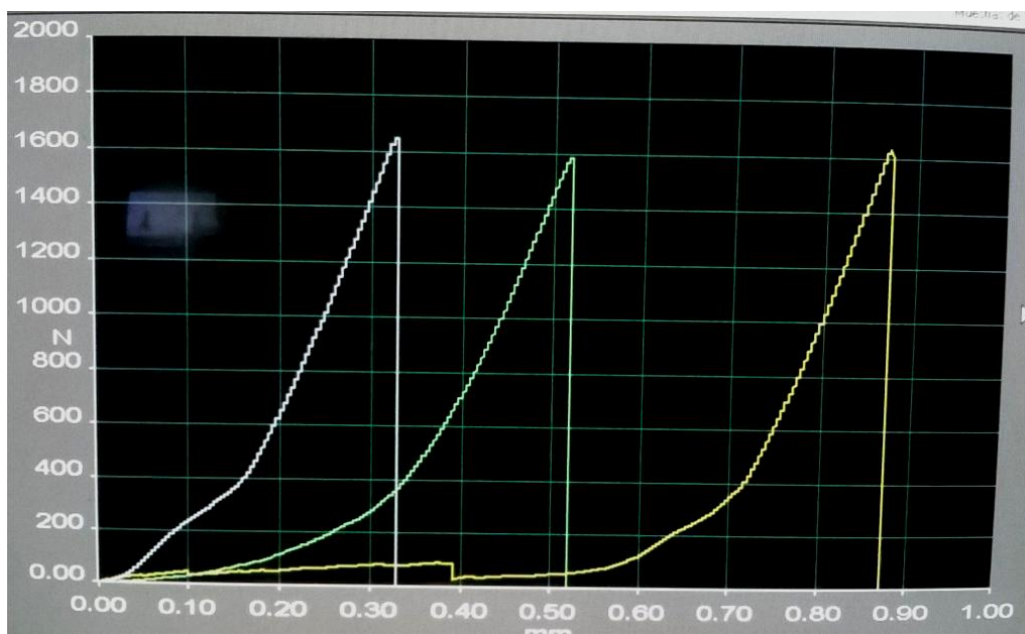
Els resultats provinents de les gràfiques ens mostren uns resultats pèssims a flexió de les dues mostres en que s'utilitza la malla. El fet que passi aquest resultat és degut a l'adherència entre els dos materials. La mescla és tant espessa que no es produeix una adherència entre les dues capes de ciment i la malla.

Es pot analitzar que la malla més gran té un major resultat a flexió que la petita gràcies al tamany del seu intereix que és major.

### 8.6.2.3. Anàlisis del trencament a flexió (Relació aigua/ciment 1:3)

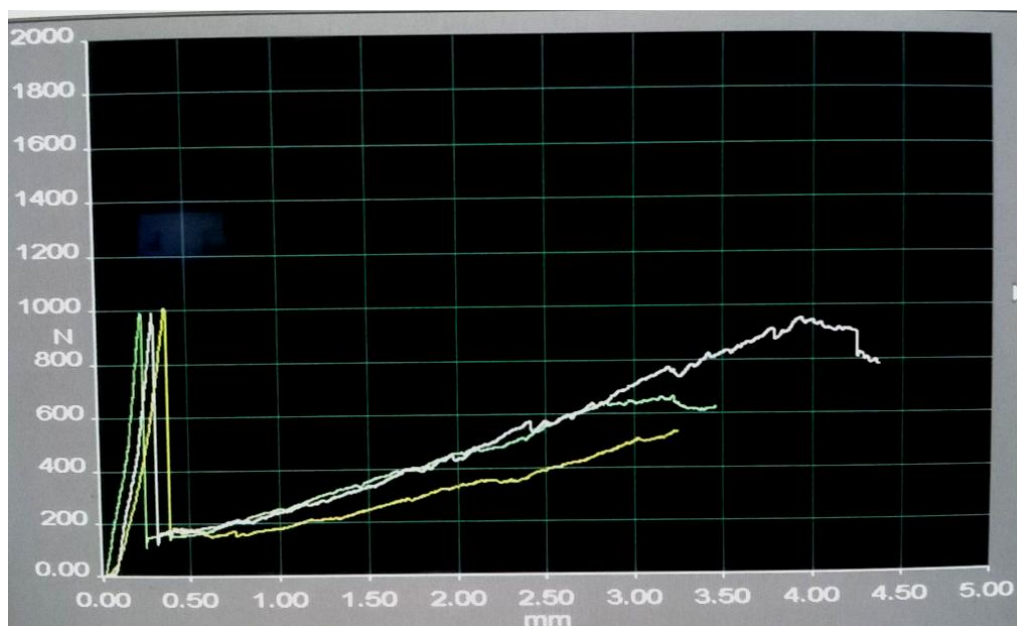
Les mostres d'aquest tipus de dosificació presenten un trencament de ruptura de la mostra molt més accentuat que l'anterior dosificació de 1:1,5. El motiu per el qual ocorre aquest fet és perquè agafa molta més resistència a flexió pel seu alt contingut de ciment en la mescla del compost.

Com a semblança de l'anterior tenim el valor residual que produirà l'acció de la fibra com a reforç del compost, la qual no deixarà que es trenqui la mostra en dos i anirà aguantant a mesura que l'esquerda produïda en el trencament es vagi agreujant.

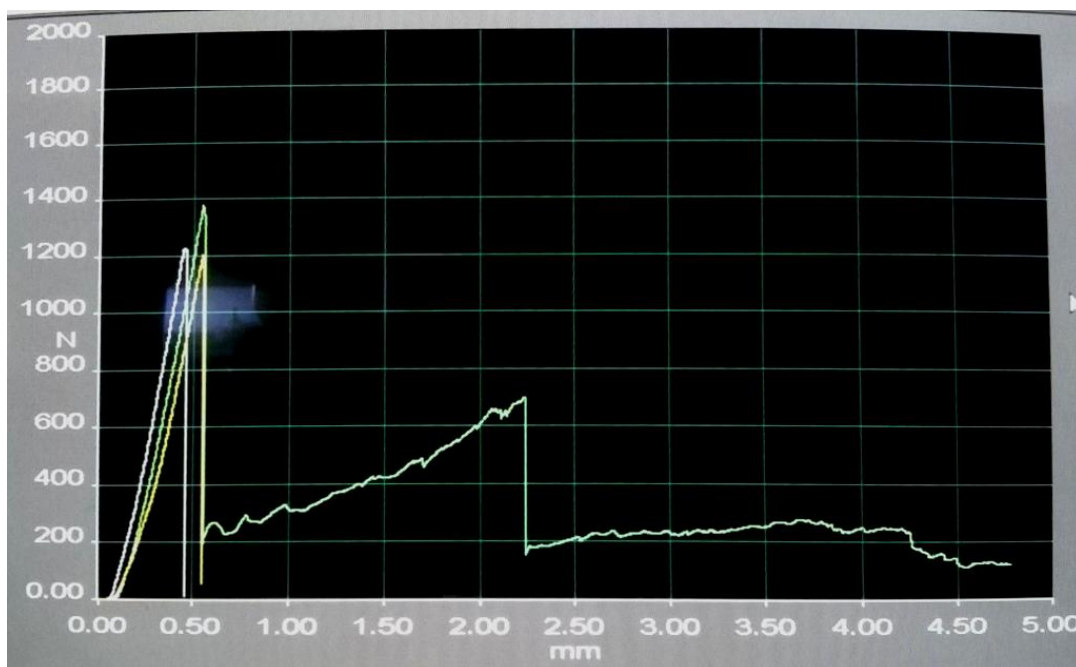


Fotografia 67: Trencament a resistència a flexió CB R1:3. Font: pròpia





Fotografia 68: Trencament a resistència a flexió mostra R1:3 amb malla petita. Font: pròpia



Fotografia 69: Trencament a resistència a flexió mostra R1:3 amb malla gran. Font: pròpia

El ciment blanc R1:3 es comporta molt millor que la dosificació de 1:1,5. Es pot arribar a observar un augment significatiu de la força aplicada un cop ha trencat la part del ciment, i es llavors quan actua la fibra com a reforç.

Cal fer esmena que en les gràfiques amb contingut de malla no es poden observar el valor residual de totes 3 mostres. Aquest fet és degut a que a vegades el trencament del ciment és tant brusc que la màquina que duu a terme aquest assaig de flexió dóna la mostra per assajada i no es pot observar l'acció de la fibra.



Fotografia 70: Assaig de resistència a flexió de proveta amb malla gran (82 g/m<sup>2</sup>). Font: pròpia.

### 8.6.3. Conclusions parcials de la resistència a flexió

Un cop analitzats els resultats a flexió de les dues dosificacions, s'han arribat a les conclusions següents:

- Els resultats obtinguts de totes les diferents sèries mostren una evolució més o menys lineal dels valors.
- La dosificació de 1:1,5 (a:c) presenta uns valors a flexió millorats en les mostres que contenen malla al seu interior. No obstant, la malla que presenta més bones característiques és la gran, gràcies al major espai que hi ha en el seu intereix.
- La dosificació de 1:3 (a:c) presenta uns valors a flexió minorats respecte el ciment blanc en les mostres que contenen malla. La malla que presenta millors característiques és també la malla gran.
- La dosificació de 1:3 (a:c) obté valors més elevats a flexió que la dosificació 1:1,5 (a:c) per el simple fet de portar més quantitat de ciment en el compost.
- Tot i que les mostren presenten un trencament de ruptura molt brusc, també existeix el valor residual de reforç de la fibra un cop s'ha esquerdat el ciment.
- Es mostra una millor adherència del compost final (malla + ciment) en la dosificació 1:1,5 per tal de ser més líquida i així penetra millor a la fibra, fent que treballin més units. No obstant no és una via totalment viable si no s'aconsegueix que el compost treballi junt i no per separat com ha fet en aquest treball.

## 8.7. Resultats a compressió de provetes amb fibra triturada

### 8.7.1. Resultats generals amb dosificació 1:1,5 (aigua:ciment)

Primerament, es mostraran els resultats generals de cadascuna de les mostres assajades a compressió per tal de dur a terme un anàlisi més generalitzat i anar aprofundint a mesura que avancen els resultats.

És doncs, en l'apartat d'Annexes on s'han col·locat tots els resultats específics en taules de les mostres assajades.

Totes les mostres d'aquestes taules estan fabricades amb la mateixa dosificació aigua:ciment per tal de poder-les comparar entre elles. Cal mencionar que els buits remarcats amb color verd fan referència a la desestimació del lot assajat perquè no era representatiu ni d'acord amb el que s'estableix en la normativa de resistència a compressió.

<b>Evolució de la Rc (Mpa) del ciment blanc a R 1:1,5</b>		
<i>EDAT</i>	<i>T. PROVETA</i>	<i>Rc (Mpa)</i>
7 dies	CB R 1:1,5	28,40
14 dies	CB R 1:1,5	27,59
21 dies	CB R 1:1,5	32,04
28 dies	CB R 1:1,5	34,82

Taula 31: Resultats de compressió a 7,14, 21 i 28 dies de provetes de ciment blanc R 1:1,5. Font: pròpia.

<b>Evolució de la Rc (Mpa) MALLA PETITA R 1:1,5</b>		
<i>EDAT</i>	<i>T. MALLA</i>	<i>Rc (Mpa)</i>
7 dies	MP R 1:1,5	16,01
14 dies	MP R 1:1,5	
21 dies	MP R 1:1,5	15,62
28 dies	MP R 1:1,5	19,77

Taula 32: Resultats de compressió a 7, 14, 21 i 28 dies de provetes amb malla petita (135 g/m<sup>2</sup>) a R 1:1,5. Font: pròpia.



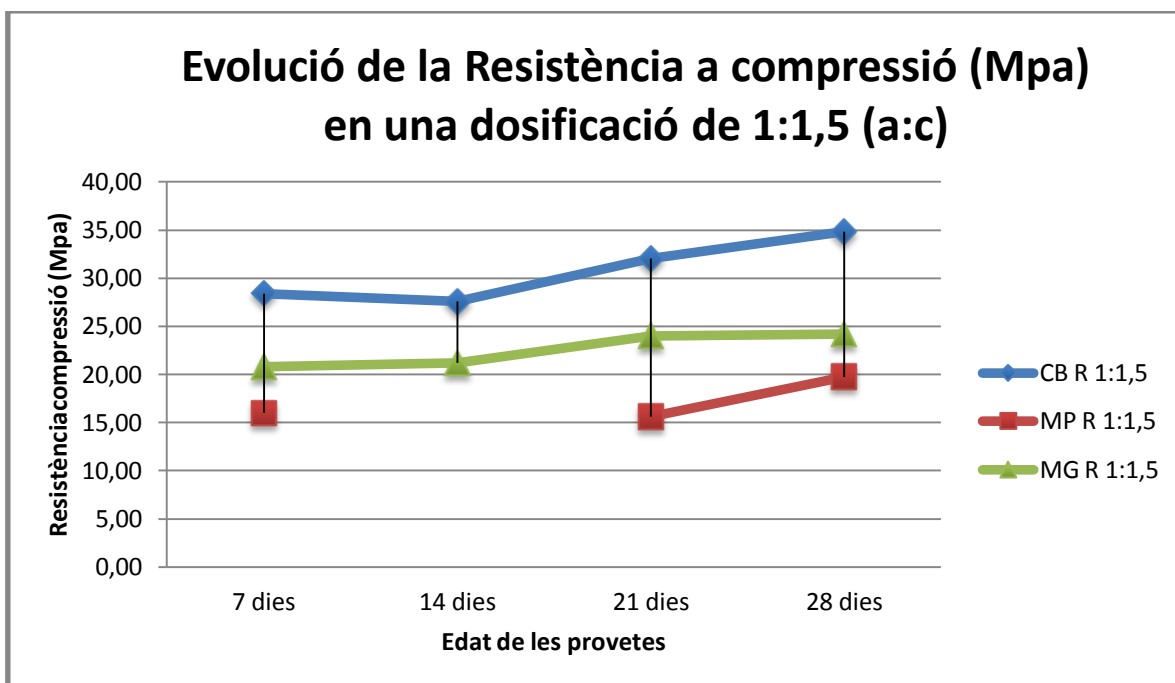
Evolució de la Rc (Mpa) MALLA GRAN R 1:1,5		
EDAT	T. MALLA	Rc (Mpa)
7 dies	MG R 1:1,5	20,80
14 dies	MG R 1:1,5	21,19
21 dies	MG R 1:1,5	24,00
28 dies	MG R 1:1,5	24,18

Taula 33: Resultats de compressió a 7, 14, 21 i 28 dies de provetes amb malla gran (82 g/m<sup>2</sup>) a R 1:1,5. Font: pròpia.

Els resultats que s’han obtingut d’aquests assajos es presenten generalment de manera que a mesura que avança l’edat/curat de les mostres, es va incrementant el valor de la resistència. Segons l’anàlisi inicial d’aquestes taules, es pot afirmar que el ciment blanc presenta les millors condicions a compressió que la resta que contenen malla.

### 8.7.1.1. Anàlisi de l’evolució de cada sèrie de malla en comparació amb el ciment blanc (dosificació 1:1,5 (aigua:ciment))

- Evolució global de totes les provetes de malla a 7,14, 21 i 28 dies

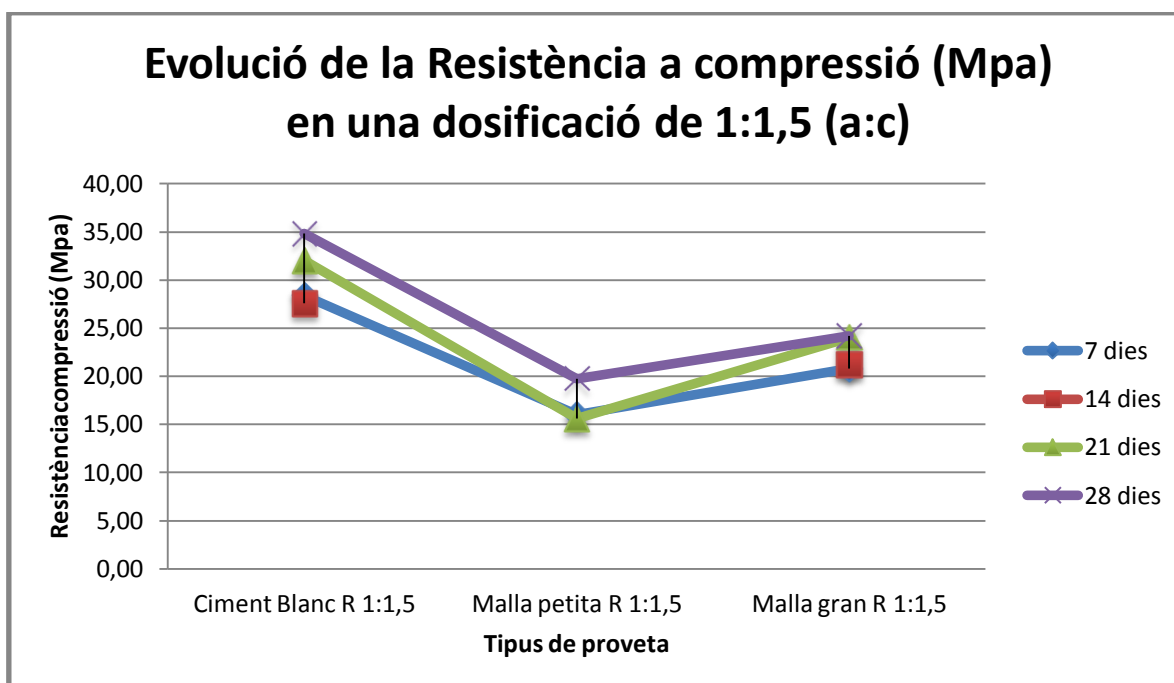


Gràfica 22: Evolució de la resistència a compressió en provetes amb malla a diferents edats de curació. Font: pròpia

L'anàlisi de la gràfica, ens mostra una clara evidència que la utilització de la malla en el compost tal i com s'ha ubicat en aquest projecte, redueix notablement el valor de la resistència a compressió del compost i que, tot i aquesta reducció del valor, és també la malla gran (82 g/m<sup>2</sup>) la que presenta uns valors més alts en comparació amb l'altre tipus. El valor de resistència a 14 dies de la malla petita (135 g/m<sup>2</sup>) no era vàlid i per tant no era representatiu en la gràfica.

### 8.7.1.2. Anàlisi i comparació del comportament de la malla segons l'edat de les provetes i el tipus de malla (dosificació 1:1,5 (a:c))

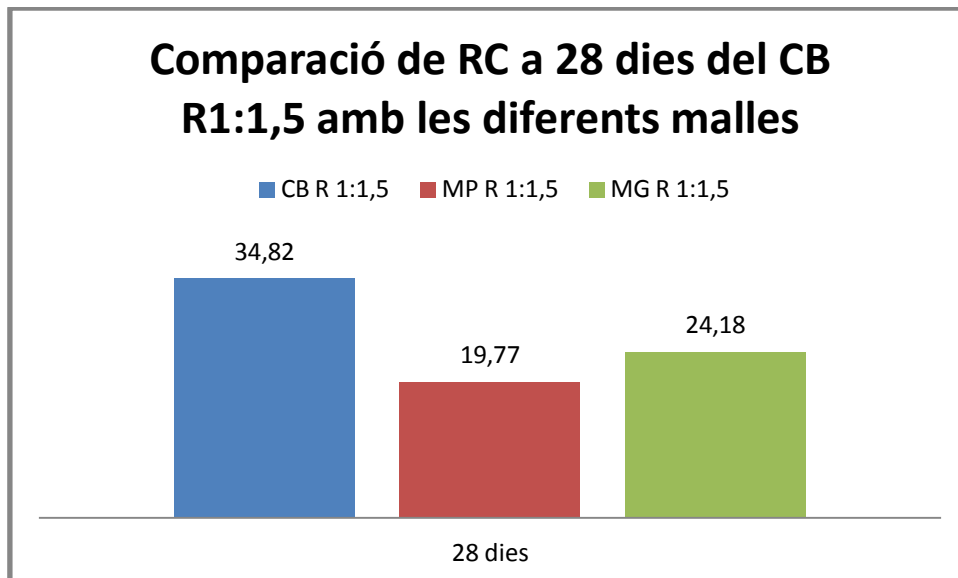
- Evolució global de la resistència a compressió variant el tipus de malla (7, 14, 21 i 28 dies)



Gràfica 23: Comparació de la resistència a compressió en provetes amb malla diferent a diferents edats de curació. Font: pròpia

El comportament dels valors a compressió indiquen que la malla no ha interaccionat bé amb el material, sinó que treballen separatament, reduint així el valor de la resistència de fins un màxim aproximat del 57%. La gràfica ens mostra la davallada dels valors.

- Evolució de la resistència a compressió reflexada en mostres curades a 28 dies i amb diferents malles afegides al compost



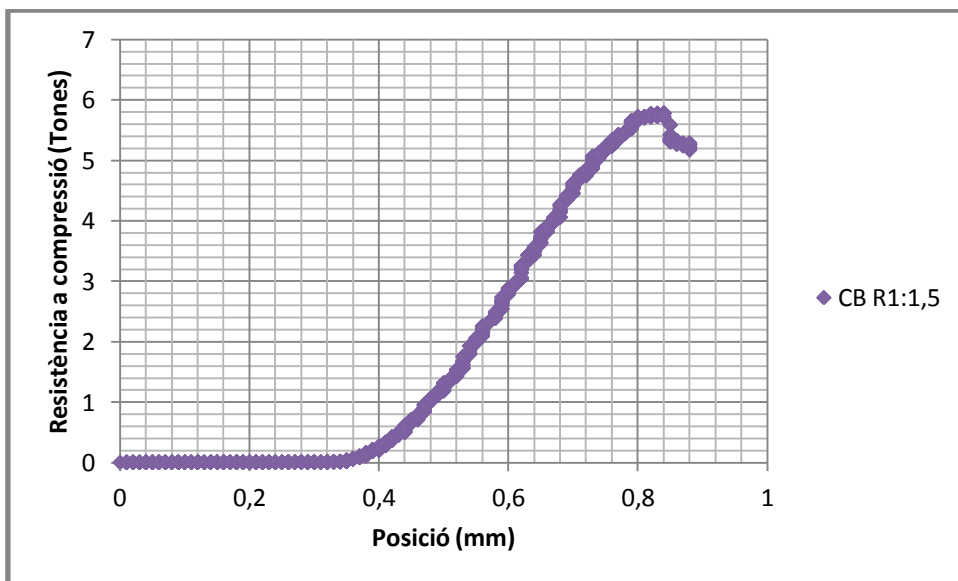
Gràfica 24: Resultats a 28 dies de resistència a compressió en provetes amb malla diversos. Font: pròpia.

Així doncs, la utilització de malla tal i com s'ha incorporat en aquest treball ens ha donat valors negatius i per tant no seria viable en aquest aspecte.

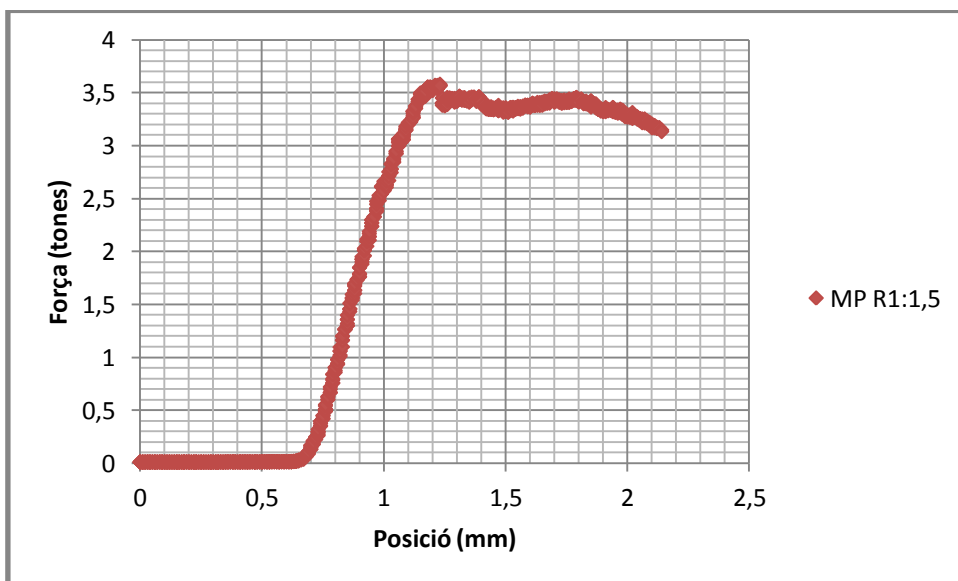
### 8.7.1.3. Anàlisi del trencament a compressió (dosificació 1:1,5 (a:c))

Respecte a l'anàlisi del trencament a compressió amb la dosificació de 1:1,5 (a:c), ens mostra un petit canvi de comportament al trencament del ciment blanc respecte al les mostres reforçades amb malla. Això es degut a que la malla ajuda al compost a no separar-se i a comprimir-se, produint així un valor residual molt més petit que el de la fibra triturada, però amb una baixada de càrrega més lineal. En aquest cas, la malla petita (135 g/m<sup>2</sup>), al presentar un intereix més petit i estar més reforçada de fibra, presenta una gràfica més estable que en malla gran (82 g/m<sup>2</sup>).

A continuació, es pot analitzar aquest trencament visualment a partir de les gràfiques adjuntades de cada tipus de mostra diferent.

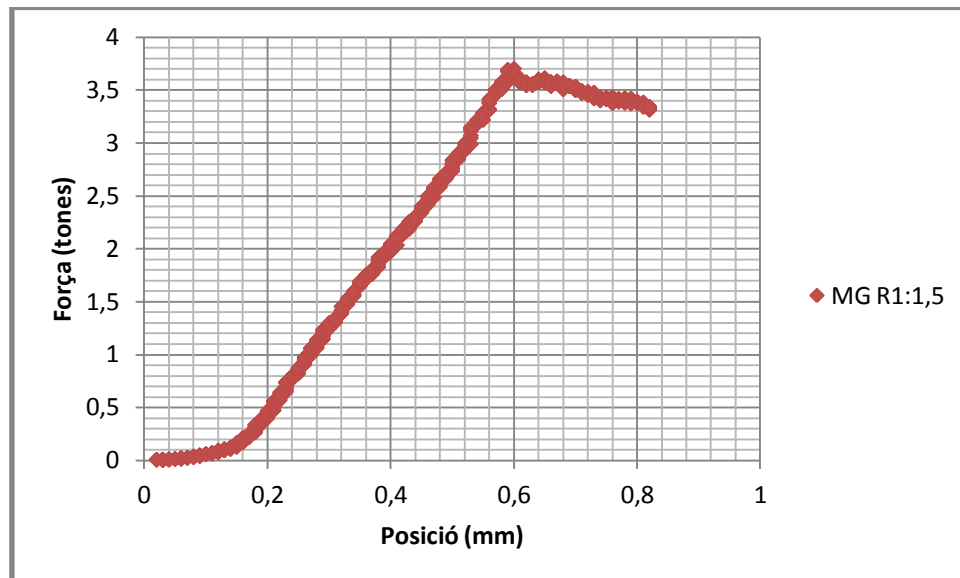


Gràfica 25: Trencament a resistència a compressió de CB R 1:1,5. Font: pròpia



Gràfica 26: Trencament a resistència a compressió de la mostra a R 1:1,5 amb malla petita (135 g/m2). Font: pròpia





Gràfica 27: Trencament a resistència a compressió de la mostra a R 1:1,5 amb malla gran (82 g/m2). Font: pròpia

### 8.7.2. Resultats generals amb dosificació 1:3 (aigua/ciment)

Analitzarem els valors obtinguts a resistència a compressió amb una dosificació molt més densa, amb una relació aigua/ciment de 1:3.

Per norma general, la resistència del ciment blanc hauria d'augmentar respecte a la dosificació de 1:1,5. El motiu d'aquest augment és deu al contingut més elevat de ciment, el qual confereix una molt bona resistència a compressió.

Totes les mostres d'aquestes taules estan fabricades amb la mateixa dosificació aigua:ciment per tal de poder-les comparar entre elles. Cal mencionar que els buits remarcats amb color verd fan referència a la desestimació del lot assajat perquè no era representatiu ni d'acord amb el que s'estableix en la normativa de resistència a compressió.

Es pot comprovar que alguns dels valors no segueixen un creixement lineal, això és degut a la posició final de la malla dins del compost i pot variar el resultat final, alterant molt els valors d'una sèrie.

<b>Evolució de la Rc (Mpa) del ciment blanc a R1:3</b>		
<b>EDAT</b>	<b>T. PROVETA</b>	<b>Rc (Mpa)</b>
7 dies	CB R1:3	84,56
14 dies	CB R1:3	93,35
21 dies	CB R1:3	93,30
28 dies	CB R1:3	101,35

Taula 34: Resultats de compressió a 7,14, 21 i 28 dies de provetes de ciment blanc R 1:3. Font: pròpia.

<b>Evolució de la Rc (Mpa) MALLA PETITA R 1:3</b>		
<b>EDAT</b>	<b>T. MALLA</b>	<b>Rc (Mpa)</b>
7 dies	MP R1:3	43,28
14 dies	MP R1:3	40,80
21 dies	MP R1:3	54,60
28 dies	MP R1:3	47,85

Taula 35: Resultats de compressió a 7, 14, 21 i 28 dies de provetes amb malla petita (135 g/m<sup>2</sup>) a R 1:3. Font: pròpia.

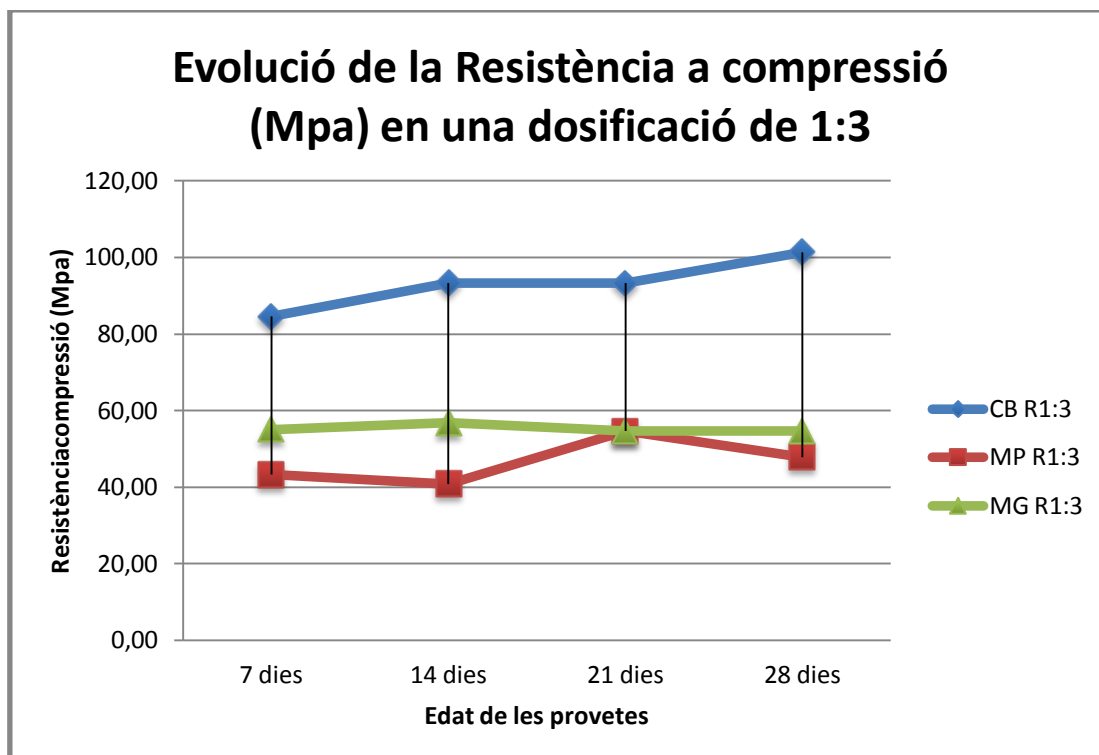
<b>Evolució de la Rc (Mpa) MALLA GRAN R 1:3</b>		
<b>EDAT</b>	<b>T. MALLA</b>	<b>Rc (Mpa)</b>
7 dies	MG R1:3	55,09
14 dies	MG R1:3	56,82
21 dies	MG R1:3	54,60
28 dies	MG R1:3	54,66

Taula 36: Resultats de compressió a 7, 14, 21 i 28 dies de provetes amb malla gran (82 g/m<sup>2</sup>) a R 1:3. Font: pròpia.

Inicialment, es presenten uns valors de ciment blanc molt elevats a resistència a compressió i uns resultats respecte les mostres de malla molt inferiors.

### 8.7.2.1. Anàlisi de l'evolució de cada sèrie de malla en comparació amb el ciment blanc (dosificació 1:3 (aigua:ciment))

- Evolució global de totes les provetes de malla a 7,14, 21 i 28 dies

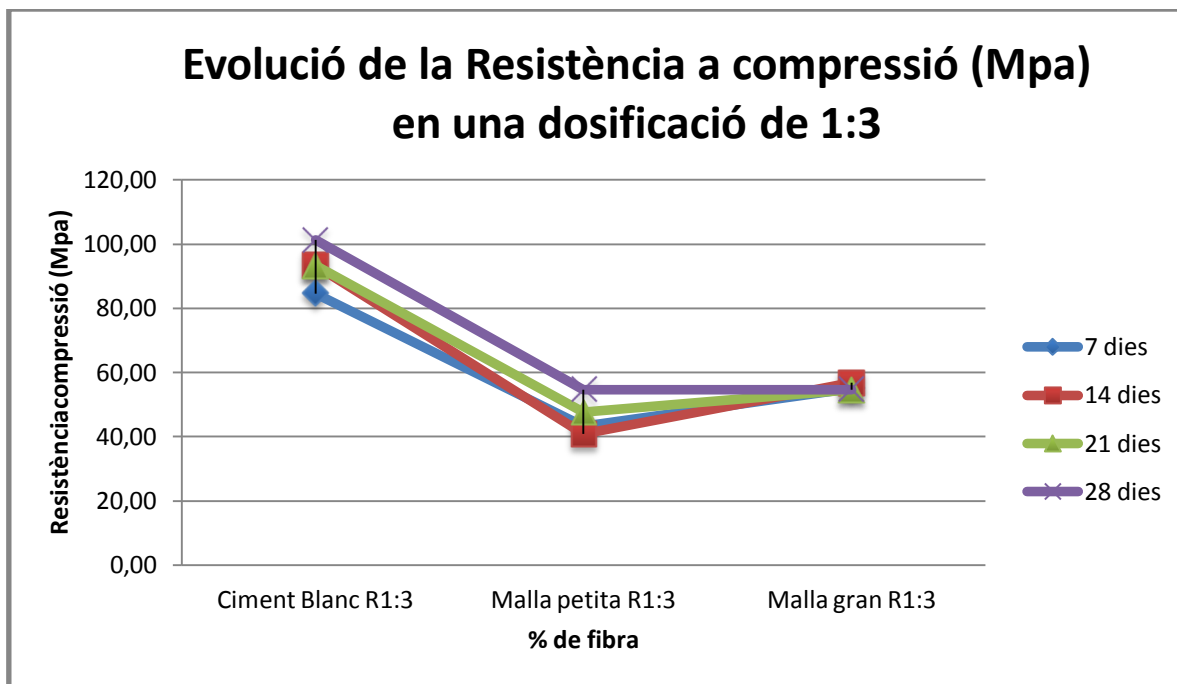


Gràfica 28: Evolució de la resistència a compressió en provetes amb malla a diferents edats de curació. Font: pròpia

L'evolució del valor de resistència envers els dies de curat de les mostres presenta una estètica lineal i progressiva a mesura que arriba als 28 dies. No obstant, els valors que han sorgit dels assajos de les mostres en malla no són els desitjats, sinó que a més a més són negatius ja que no milloren ni reforcen el comportament de la resistència a compressió de la mostra de ciment blanc.

### 8.7.2.2. Anàlisi i comparació del comportament de la malla segons l'edat de les provetes i el tipus de malla (dosificació 1:3 (a:c))

- Evolució global de la resistència a compressió variant el tipus de malla (7, 14, 21 i 28 dies)

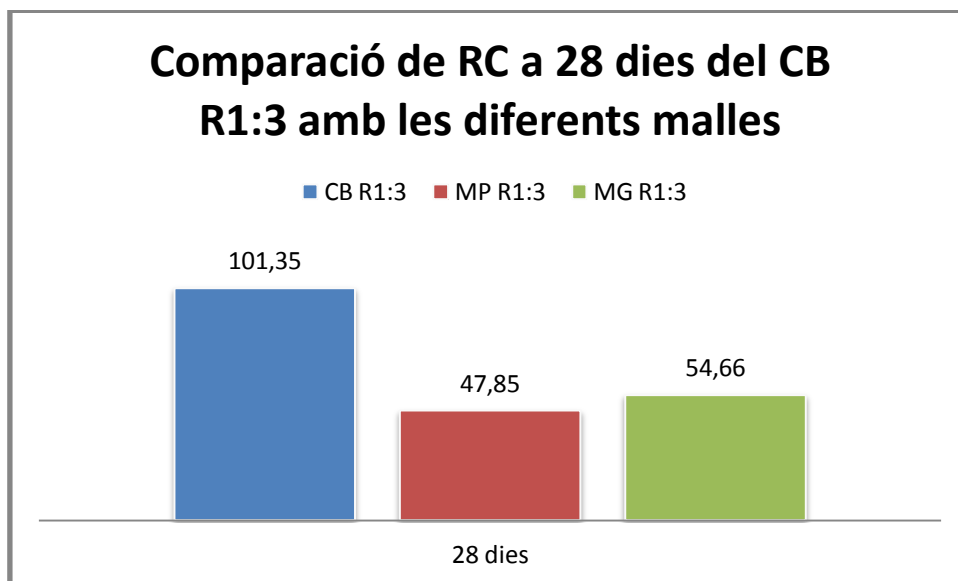


Gràfica 29: Comparació de la resistència a compressió en provetes amb malla diferent a diferents edats de curació. Font: pròpia

L'anàlisi de la gràfica, permet deduir el comportament d'aquestes sèries de provetes, deduint una falta d'adherència i connexió entre els materials que contenen fibra en malla. La dosificació és tant espessa que no penetra ben bé per el intereix de les malles i això provoca que treballin per separat i per disminueix la resistència a compressió.



- Evolució de la resistència a compressió reflexada en mostres curades a 28 dies i amb diferents malles afegides al compost



Gràfica 30: Resultats a 28 dies de resistència a compressió en provetes amb malla diversos. Font: pròpia.

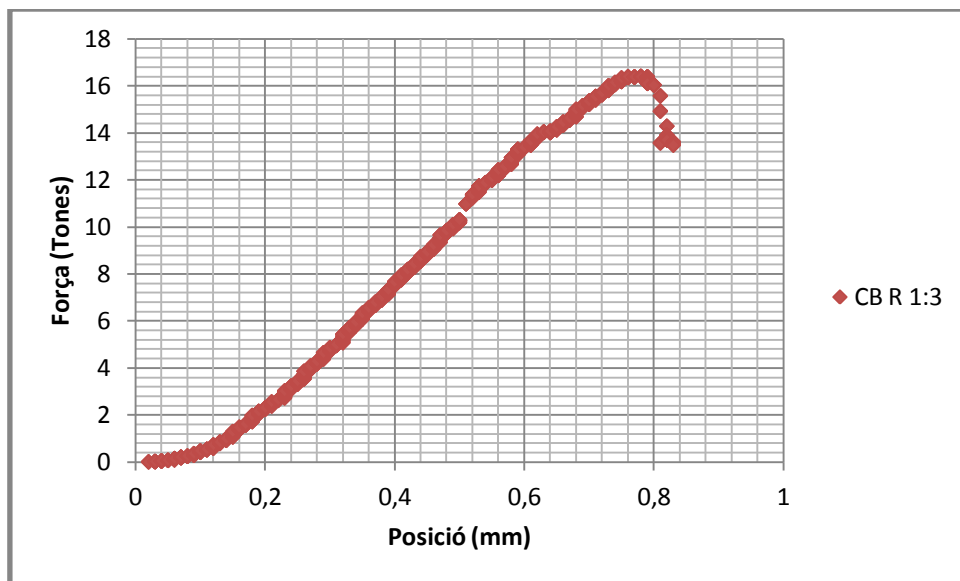
Finalment, a mesura que incrementem el intereix de la malla va augmentant la resistència a compressió. No obstant, el màxim que arriba aquesta resistència és gairebé un 50% menys que el valor del ciment blanc.

### 8.7.2.3. Anàlisi del trencament a compressió (dosificació 1:3 (a:c))

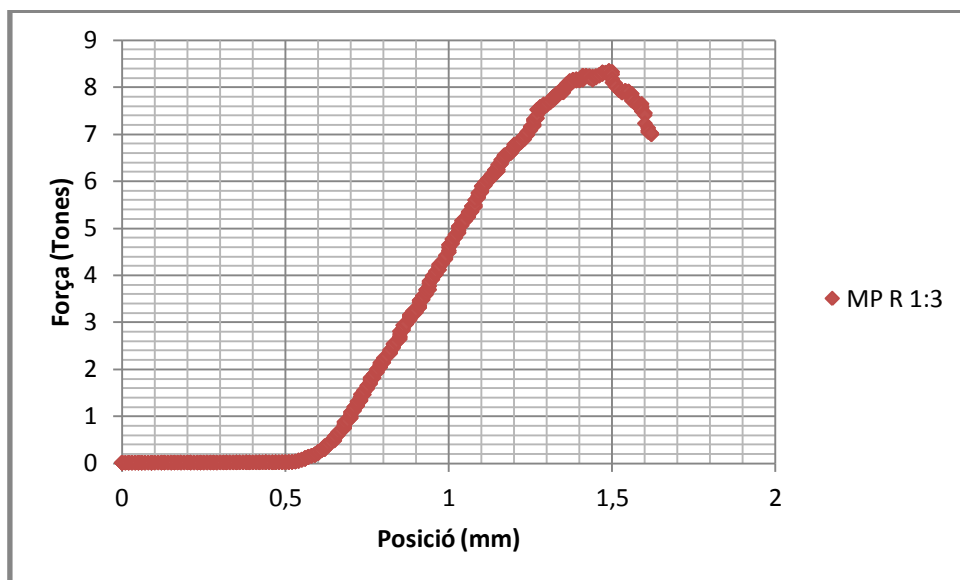
L'anàlisi del comportament de les gràfiques que es mostren a continuació, mostren una semblança entre les 3 sèries de mostres diferents.

En aquest cas concret, cap de les mostres presenta un valor residual respecte del blanc, i totes tres tenen un comportament de trencament pràcticament igual.

Per tant, una dosificació molt espessa del material és incompatible amb la malla, ja que els dos materials no lliguen entre si i produeix que no treballin conjuntament sinó cadascun per separat i això provoca una disminució notablement alta respecte a la mostra de ciment blanc.

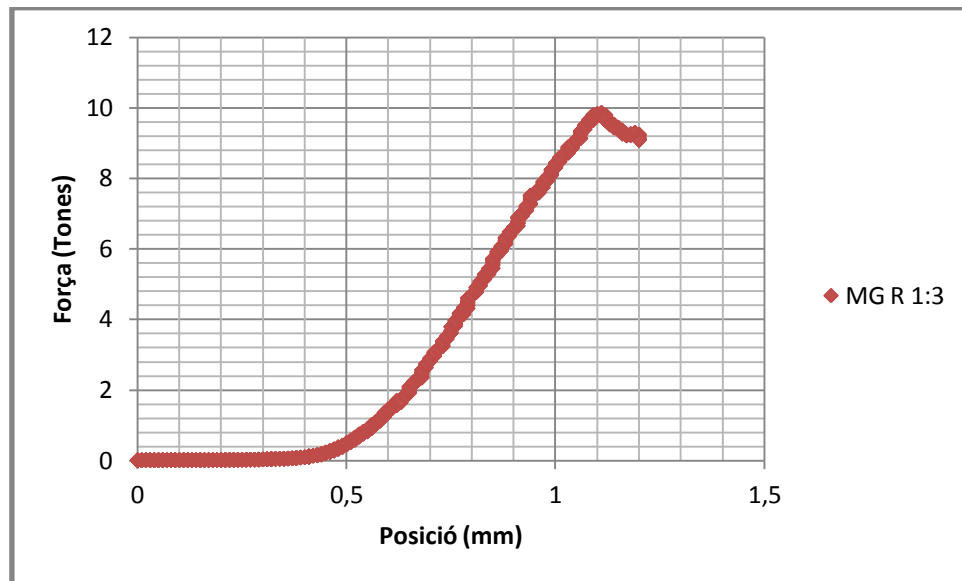


Gràfica 31: Trencament a resistència a compressió de CB R1:3. Font: pròpia



Gràfica 32: Trencament a resistència a compressió de la mostra a R1:3 amb malla petita (135 g/m2). Font: pròpia





Gràfica 33: Trencament a resistència a compressió de la mostra a R1:3 amb malla gran (82 g/m<sup>2</sup>). Font: pròpia

### 8.7.3. Conclusions parcials de resistència a compressió

Un cop analitzats els resultats a compressió de les dues dosificacions, s'han arribat a les conclusions següents:

- La utilització de la malla, ja sigui de gramatge més gran o més petit, ha presentat uns resultats a compressió pèssims en les dues dosificacions. En els dos casos, ha disminuït un 50% aproximadament del valor obtingut del ciment blanc.
- La malla gran, la qual presenta un gramatge de 82 g/m<sup>2</sup> i un intereix més gran, presenta millors condicions a compressió que la malla de gramatge 135 g/m<sup>2</sup>, la qual té un intereix més petit. Això és degut a la penetració de la mescla dins l'interior de la malla, produint així una adherència millor.
- S'analitza que la utilització de malla no és viable, almenys no amb la col·locació que hem dut a terme de la malla a l'interior de la proveta.
- Seria productiu, buscar un material o altres punts d'unió dels dos materials, creant així una adherència entre ells i donant al material la capacitat de treballar conjuntament com un de sol per a millorar les propietats a compressió.
- A dosificació més líquida, més penetració de la mescla a l'interior de la malla, i per tant crea un valor residual de trencament més significatiu que una dosificació més espessa, on el material no penetra i per tant, el ciment on no hi ha fibra trenca i s'esparraca.

## 9. CONCLUSIONS GENERALS

Inicialment, l'objectiu principal del treball era l'estudi del jute com a material de reforç de morters i/o formigons. No obstant, es va optar finalment per a la realització d'un treball més concret i específic, tenint com a objectiu principal el comportament de la fibra de jute com a reforç del ciment.

Tot i que l'objectiu era realitzar el treball mitjançant la utilització de fibra amb manta (fibra no teixida), aquesta per el seu excessiu gramatge no va resultar possible a causa de la no impregnació amb el ciment.

Així doncs, es va procedir a utilitzar fibra en malla (fibra teixida) i també es va optar per la vessant de fibra triturada i veure'n els resultats obtinguts.

Un cop realitzats els assajos corresponents de les propietats mecàniques, traiem les següents conclusions:

- La fibra de jute triturada com a material de reforç augmenta la resistència a flexió del compost però disminueix la resistència a compressió a mesura que augmenta el contingut d'addició de fibra. Tot i així, a més addició de fibra, el comportament al trencament a compressió garanteix una major deformació del material i evita el col·lapse directe.
- S'ha comprovat que la vessant de fibra utilitzant malla en el compost no ha presentat cap millora de propietats a flexió ni compressió, tot el contrari, ha disminuït aquests valors. Tot i esperar uns bons resultats, al final ha resultat que els dos materials no són compatibles ja que no treballen conjuntament per falta d'adherència i interacció entre els dos materials.
- En l'assaig de densitat realitzat amb el picnòmetre, s'observa una disminució de la densitat relacionada amb el contingut de fibra afegit. A més quantitat de fibra, la densitat disminueix. Tot i així són diferències de valors molt petits.
- La fibra de jute és un material molt higroscòpic, fet que produeix que a major quantitat de fibra afegida a la mescla, utilitzant la mateixa dosificació d'aigua:ciment, la consistència de la mescla passa de fluïda a plàstica.

Finalment, mencionar que la utilització de fibra de jute triturada és la millor opció en aquest camp a hores d'ara, fent més temptadora i útil la recerca i assajos d'altres propietats.

## 10. NOVES VIES D'INVESTIGACIÓ

Arribats en aquest punt, en el qual s'han obtingut unes conclusions respecte els objectius dels quals partíem, s'ha de mencionar que tant sols és l'inici d'una recerca que pot arribar a ser molt productiva, arribant a crear materials amb aplicacions en el sector de la construcció que presentin unes bones propietats respecte el seu ús.

La opció que més bons resultats ha presentat en relació a la millora de propietats és la de fibra triturada. Aquesta, tot i que ja s'han investigat altres propietats de les fibres que reforcen els ciments en diversos estudis, aquesta és la millor vessant per a aprofundir i, si és possible, a en un futur no molt llunyar, arribar a crear un material amb aplicacions en aquest sector. Seria productiu estudiar el comportament de reforç de la fibra en morters, per comparar els resultats amb aquest estudi del ciment, com també, estudiar altres propietats. Una propietat que podria resultar interessant és la de conductivitat tèrmica de la proveta. El jute es coneix per tenir propietats aïllants, i seria molt probable que aquesta propietat es donés en el compost, augmentant-la a mesura que s'augmenta la quantitat de fibra.

Pel que fa a la vessant estudiada en malla, ja s'ha pogut observar que no donava bons resultats. No obstant, seria interessant no desestimar del tot aquesta investigació i buscar alternatives de millora del procés i de la quantitat de malles introduïdes en el compost. Per garantir una major manejabilitat a l'hora de fabricació de les provetes, seria necessari un motlle amb dimensions més grans per tal de facilitar el procés i poder optar en la realització de diferents mètodes.

Cal remarcar que aquests estudis de diverses propietats dels materials són molt interessants però són molt lents de dur a terme a causa de la curació de la proveta, la qual no arriba fins a la màxima capacitat de resistència fins als 28 dies.

No obstant, es podria optar per utilitzar una correlació entre elles i estudiar-ne a edats més pròximes, com per exemple a 7 i 14 dies.

## 11. BIBLIOGRAFIA

### 11.1. Normativa aplicable

1. Asociación Española de Normalización y certificación. (2009). Métodos de ensayo de cementos. Parte 3: Determinación del tiempo de fraguado y de la estabilidad de volumen: UNE-EN 196-3:2005+A1. Madrid: Aenor.
2. Asociación Española de Normalización y Certificación. (2008). *Métodos de ensayo de cementos: Métodos de toma y preparación de muestras de cemento UNE-EN 196-7*. Madrid: Aenor.
3. Asociación Española de Normalización y Certificación. (2007). *Métodos de ensayo de morteros para albañilería: Determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero endurecido: UNE-EN 1015-11: 2000 / A1*. Madrid: Aenor.
4. Asociación Española de Normalización y Certificación. (2007). *Métodos de ensayo de morteros para albañilería: Determinación de la consistencia del mortero fresco (por mesa de sacudidas): UNE-EN 1015-3: 2000 / A1*. Madrid: Aenor.
5. Asociación Española de Normalización y Certificación. (2007). *Métodos de ensayo de morteros para albañilería: Toma de muestra total de morteros y preparación de los morteros*.
6. Asociación Española de Normalización y Certificación. (2005). *Métodos de ensayo de cementos: Determinación de resistencias mecánicas: UNE-EN 196-1*. Madrid: Aenor.
7. Asociación Española de Normalización y Certificación. (2004). Hormigones con fibras. Refrentado de probetas con mortero de azufre. UNE-EN 83506. Madrid: Aenor.
8. Asociación Española de Normalización y Certificación. (2000). *Métodos de ensayo de morteros para albañilería: Determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero endurecido: UNE-EN 1015-11*. Madrid: Aenor.
9. Asociación Española de Normalización y Certificación. (2000). *Métodos de ensayo de morteros para albañilería: Determinación de la consistencia del mortero fresco (por mesa de sacudidas): UNE-EN 1015-32*. Madrid: Aenor.
10. Asociación Española de Normalización y Certificación. (2000). *Métodos de ensayo de morteros para albañilería: Determinación de la densidad aparente en seco del mortero endurecido: UNE-EN 1015-10:2000/A1*. Madrid: Aenor.

11. Asociación Española de Normalización y Certificación. (1999). *Métodos de ensayo de morteros para albañilería: Toma de muestra total de morteros y preparación de los morteros para ensayo: UNE-EN 1015-2*. Madrid: Aenor.

## 11.2. Articles

1. Mansur, M. I Aziz, M. (1982). A study of jute fibre reinforced cement composites. The international Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, Volume 4, Number 2, Pages (78-82).
2. Ranganathan, S.R. (1994). Development and potential of jute geotextiles. Geotextiles and Geomembranes, Volume 13, Issues 6-7, Pages 421-433.
3. Xiangming Zhou, Seyed Hamidreza Ghaffar, Wei Dong, Olayinka Oladiran, Mizi Fan. (2013). Fracture and impact properties of short discrete jute fibre-reinforced cementitious composites. Materials & Design, 49, pages 35-47.
4. Chakraborty S., Kundu S. P., Roy A., Basak R. K., Adhikari B., Majumder S.B. (2013). Improvement of the mechanical properties of jute fibre reinforced cement mortar: A statistical approach. Construction and building materials, 38, pp 776-784.
5. Brandt A. M. (2008). Fibre reinforced cement-based (FRC) composites after over 40 years of development in building and civil engineering. Composite Structures, 86, (1.3), pp 3-9.
6. Li X., Wang X., Wang L. (2006). Properties of hemp reinforced concrete composites. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, volume 37, Issue 3, pp 497-505.
7. Chakraborty S., Kundu S. P., Roy A., Adhikari B., Majumder S.B. (2013). Effect of Jute as Fiber Reinforcement Controlling the Hydration Characteristics of Cement Matrix. Materials Science Centre, Indian Institute of Technology., 52 (3), pp 1252-1260.



### 11.3. Documents i llibres

1. Johnston C. D. (2010). Fiber – reinforced cements and concretes. The university of Calgary (Canada). Taylor & Francis e-Library.
2. Brandt A. M. (1995). Cement –based composites. Materials, mechanical properties and performance. Taylor & Francis e-library. Second edition.
3. Bentur A. & Mindess S. (1990). Fibre reinforced cementitious composites. Taylor & francis.
4. Lección 4. Tipos de Cementos  
Recuperat de [www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion4.Tipos.CEMENTOS.pdf](http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion4.Tipos.CEMENTOS.pdf)
5. Novedades en tejidos y telas no tejidas. (2009)  
Recuperat de  
[http://www.leitat.org/descargas/tardes\\_innovacion/jornada090709/novedades\\_tejidos\\_telas.pdf](http://www.leitat.org/descargas/tardes_innovacion/jornada090709/novedades_tejidos_telas.pdf)

### 11.4. Webgrafia

1. EcuRed (2009).  
Recuperat de <http://www.ecured.cu/Yute>
2. Construmática Servicios de Información (2009). *Construmatica*.  
Recuperat de <http://www.construmatica.com/construpedia/>
3. Red textil (2012).  
Recuperat de <http://www.redtextilargentina.com.ar/index.php/fibras/f-diseno/fibras-vegetales>
4. Cemex (2016).  
Recuperat de <http://www.cemex.com/ES/ProductosServicios/TiposCemento.aspx>
5. Deyute (2014)  
Recuperat de <http://www.deyute.com/es/home/>

## 12. ANNEXES

## 11.1. Resultats de densitat

## CÀLCUL DE DENSITATS

## CIMENT BLANC R 1:1,5

<b>PP</b>	<i>Pes del picnòmetre buit (gr.)</i>
<b>PP+M</b>	<i>Pes del picnòmetre + mostra (gr.)</i>
<b>PP+M+H2O</b>	<i>Pes del picnòmetre + mostra + H2O (gr.)</i>
<b>PP+H2O</b>	<i>Pes del picnòmetre + H2O (gr.)</i>

## MOSTRA 1

<b>PP1</b>	52,771 gr	<b>M =</b>	125,017 - 52,771 = 72,246 gr
<b>PP1+M</b>	125,017 gr		
<b>PP1+M+H2O</b>	230,64 gr	<b>MTH2O =</b>	194,297 - 52,771 = 141,53 gr
<b>PP1+H2O</b>	194,297 gr		

$$\mathbf{H2O = 230,64 - 125,017 = 105,62 \text{ gr}}$$

$$\mathbf{Densitat = M / Vm}$$

$$\mathbf{VM = 141,526 - 105,623 = 35,903 \text{ cc}}$$

$$\mathbf{Densitat = 72,246 / 35,903 = 2,01 \text{ gr/cc}}$$

<b>CÀLCUL DE DENSITATS</b>
----------------------------

<b>FIBRA TRITURADA 2%(w/w)</b>
--------------------------------

**PP**                    *Pes del picnòmetre buit (gr.)*  
**PP+M**                *Pes del picnòmetre + mostra(gr.)*  
**PP+M+H2O**        *Pes del picnòmetre + mostra + H2O (gr.)*  
**PP+H2O**            *Pes del picnòmetre + H2O (gr.)*

<b>MOSTRA 1</b>
-----------------

<b>PP1</b>	52,761 gr	<b>M =</b>	114,601 - 52,761 = 61,84 gr
<b>PP1+M</b>	114,601 gr		
<b>PP1+M+H2O</b>	225,074 gr	<b>MTH2O =</b>	194,273 - 52,761 = 141,51 gr
<b>PP1+H2O</b>	194,273 gr		

<b>H2O =</b> 225,074 - 114,601 = 110,47 gr
--

<b>Densitat =</b> <b>M / Vm</b>
---------------------------------

<b>VM =</b> 141,512 - 110,473 = 31,039 cc
---

<b>Densitat = 61,84 / 31,039 = 1,99 gr/cc</b>
---

<b>MOSTRA 2</b>
-----------------

<b>PP1</b>	58,142 gr	<b>M =</b>	109,918 - 58,142 = 51,776 gr
<b>PP1+M</b>	109,918 gr		
<b>PP1+M+H2O</b>	229,578 gr	<b>MTH2O =</b>	203,873 - 58,142 = 145,73 gr
<b>PP1+H2O</b>	203,873 gr		

<b>H2O =</b> 229,578 - 109,918 = 119,66 gr
--

<b>Densitat =</b> <b>M / Vm</b>
---------------------------------

<b>VM =</b> 145,731 - 119,66 = 26,071 cc
--

<b>Densitat = 51,776 / 26,071 = 1,99 gr/cc</b>
--

<b>MOSTRA 1</b>	<b>MOSTRA 2</b>
-----------------	-----------------

<b>MITJANA</b>	1,99
----------------	------

**CÀLCUL DE DENSITATS**

**FIBRA TRITURADA 3% (w/w)**

**PP** Pes del picnòmetre buit (gr.)  
**PP+M** Pes del picnòmetre + mostra (gr.)  
**PP+M+H2O** Pes del picnòmetre + mostra + H2O (gr.)  
**PP+H2O** Pes del picnòmetre + H2O (gr.)

**MOSTRA 1**

<b>PP1</b>	52,761 gr	<b>M =</b>	111,506 - 52,761 = 58,745 gr
<b>PP1+M</b>	111,506 gr		
<b>PP1+M+H2O</b>	224,019 gr	<b>MTH2O =</b>	194,273 - 52,761 = 141,512 gr
<b>PP1+H2O</b>	194,273 gr		

**H2O =** 224,019 - 111,506 = 112,513 gr

**Densitat = M / Vm**

**VM =** 141,512 - 112,513 = 28,999 cc

**Densitat = 58,745 / 28,999 = 2,03 gr/cc**

**MOSTRA 2**

<b>PP1</b>	58,142 gr	<b>M =</b>	108,974 - 58,142 = 50,832 gr
<b>PP1+M</b>	108,974 gr		
<b>PP1+M+H2O</b>	229,553 gr	<b>MTH2O =</b>	203,873 - 58,142 = 145,731 gr
<b>PP1+H2O</b>	203,873 gr		

**H2O =** 229,553 - 108,974 = 120,579 gr

**Densitat = M / Vm**

**VM =** 145,731 - 120,579 = 25,152 cc

**Densitat = 50,832 / 25,152 = 2,02 gr/cc**

<b>MOSTRA 1</b>	<b>MOSTRA 2</b>
-----------------	-----------------

<b>MITJANA</b>	2,02
----------------	------

**CÀLCUL DE DENSITATS****FIBRA TRITURADA 4% (w/w)**

<b>PP</b>	<i>Pes del picnòmetre buit (gr.)</i>
<b>PP+M</b>	<i>Pes del picnòmetre + mostra (gr.)</i>
<b>PP+M+H2O</b>	<i>Pes del picnòmetre + mostra + H2O (gr.)</i>
<b>PP+H2O</b>	<i>Pes del picnòmetre + H2O (gr.)</i>

**MOSTRA 1**

<b>PP1</b>	52,761 gr	<b>M =</b>	104,633 - 52,761 =	51,872 gr
<b>PP1+M</b>	104,633 gr			
<b>PP1+M+H2O</b>	219,427 gr	<b>MTH2O =</b>	194,273 - 52,761 =	141,512 gr
<b>PP1+H2O</b>	194,273 gr			

$$\mathbf{H2O = 219,427 - 104,633 = 114,794 \text{ gr}}$$

$$\mathbf{Densitat = M / Vm}$$

$$\mathbf{VM = 141,512 - 114,794 = 26,718 \text{ cc}}$$

$$\mathbf{Densitat = 51,872 / 26,718 = 1,94 \text{ gr/cc}}$$

**MOSTRA 2**

<b>PP1</b>	58,142 gr	<b>M =</b>	103,806 - 58,142 =	45,664 gr
<b>PP1+M</b>	103,806 gr			
<b>PP1+M+H2O</b>	226,364 gr	<b>MTH2O =</b>	203,873 - 58,142 =	145,731 gr
<b>PP1+H2O</b>	203,873 gr			

$$\mathbf{H2O = 226,364 - 103,806 = 122,558 \text{ gr}}$$

$$\mathbf{Densitat = M / Vm}$$

$$\mathbf{VM = 145,731 - 122,558 = 23,173 \text{ cc}}$$

$$\mathbf{Densitat = 45,664 / 23,173 = 1,97 \text{ gr/cc}}$$

<b>MOSTRA 1</b>	<b>MOSTRA 2</b>
-----------------	-----------------

<b>MITJANA</b>	1,96
----------------	------

**CÀLCUL DE DENSITATS**

**FIBRA TRITURADA 5% (w/w)**

**PP** Pes del picnòmetre buit (gr.)  
**PP+M** Pes del picnòmetre + mostra (gr.)  
**PP+M+H2O** Pes del picnòmetre + mostra + H2O (gr.)  
**PP+H2O** Pes del picnòmetre + H2O (gr.)

**MOSTRA 1**

<b>PP1</b>	52,761 gr	<b>M =</b>	107,111 - 52,761 =	54,35 gr
<b>PP1+M</b>	107,111 gr			
<b>PP1+M+H2O</b>	220,828 gr	<b>MTH2O =</b>	194,273 - 52,761 =	141,51 gr
<b>PP1+H2O</b>	194,273 gr			

**H2O =** 220,828 - 107,111 = 113,72 gr

**Densitat = M / Vm**

**VM =** 141,512 - 113,717 = 27,795 cc

**Densitat = 54,35 / 27,795 = 1,96 gr/cc**

**MOSTRA 2**

<b>PP1</b>	58,142 gr	<b>M =</b>	109,539 - 58,142 =	51,397 gr
<b>PP1+M</b>	109,539 gr			
<b>PP1+M+H2O</b>	228,828 gr	<b>MTH2O =</b>	203,873 - 58,142 =	145,73 gr
<b>PP1+H2O</b>	203,873 gr			

**H2O =** 228,828 - 109,539 = 119,29 gr

**Densitat = M / Vm**

**VM =** 145,731 - 119,289 = 26,442 cc

**Densitat = 51,397 / 26,442 = 1,94 gr/cc**

**MOSTRA 1**

**MOSTRA 2**

**MITJANA**

1,95

<b>CÀLCUL DE DENSITATS</b>
----------------------------

<b>FIBRA TRITURADA 10%(w/w)</b>
---------------------------------

**PP**                    *Pes del picnòmetre buit (gr.)*  
**PP+M**                *Pes del picnòmetre + mostra (gr.)*  
**PP+M+H2O**        *Pes del picnòmetre + mostra +  
H2O (gr.)*  
**PP+H2O**            *Pes del picnòmetre + H2O (gr.)*

<b>MOSTRA 1</b>
-----------------

<b>PP1</b> 52,766 gr	<b>M =</b> 96,288 - 52,766 = 43,522 gr
<b>PP1+M</b> 96,288 gr	
<b>PP1+M+H2O</b> 214,736 gr	<b>MTH2O =</b> 194,273 - 52,766 = 141,507 gr
<b>PP1+H2O</b> 194,273 gr	

<b>H2O =</b> 214,736 - 96,288 = 118,448 gr
--

<b>Densitat =</b> <b>M / Vm</b>
---------------------------------

<b>VM =</b> 141,507 - 118,448 = 23,059 cc
---

<b>Densitat =</b> <b>43,522 / 23,059 = 1,89 gr/cc</b>
---

<b>MOSTRA 2</b>
-----------------

<b>PP1</b> 52,766 gr	<b>M =</b> 104,29 - 52,766 = 51,524 gr
<b>PP1+M</b> 104,290 gr	
<b>PP1+M+H2O</b> 218,528 gr	<b>MTH2O =</b> 194,273 - 52,766 = 141,507 gr
<b>PP1+H2O</b> 194,273 gr	

<b>H2O =</b> 218,528 - 104,29 = 114,238 gr
--

<b>Densitat =</b> <b>M / Vm</b>
---------------------------------

<b>VM =</b> 141,507 - 114,238 = 27,269 cc
---

<b>Densitat =</b> <b>51,524 / 27,269 = 1,89 gr/cc</b>
---

<b>MOSTRA 1</b>	<b>MOSTRA 2</b>
-----------------	-----------------

<b>MITJANA</b>	1,89
----------------	------

## 11.2. Resultats a compressió

### 11.2.1. Resultats a compressió de fibra triturada

CIMENT BLANC RELACIÓ 1:1,5									
EDAT	Sèrie / proveta	Compressió (Tones)		$\Sigma$ Compressió (T)	10%	-10%	COMPRESSIÓ	$\Sigma$ Compressió (kN)	Rc (Mpa)
7 DIES	CB - R 1:1,5 - 7D - 1	4,170	4,805	4,63	5,10	4,17	4,63	45,44	28,40
	CB - R 1:1,5 - 7D - 2	4,598	4,779						
	CB - R 1:1,5 - 7D - 3	4,808	4,635						
14 DIES	CB - R 1:1,5 - 14D - 1	4,378	4,115	4,50	4,95	4,05	4,50	44,14	27,59
	CB - R 1:1,5 - 14D - 2	4,867	4,911						
	CB - R 1:1,5 - 14D - 3	4,534	4,191						
21 DIES	CB - R 1:1,5 - 21D - 1	4,713	4,909	5,23	5,75	4,70	5,23	51,26	32,04
	CB - R 1:1,5 - 21D - 2	5,407	5,305						
	CB - R 1:1,5 - 21D - 3	5,748	5,268						
28 DIES	CB - R 1:1,5 - 28D - 1	5,583	5,995	5,43	5,97	4,89	5,68	55,71	34,82
	CB - R 1:1,5 - 28D - 2	4,173	5,817						
	CB - R 1:1,5 - 28D - 3	5,215	5,786						

Taula 37: Resultats generals a compressió de ciment blanc R 1:1,5. Font: pròpia



<b>FIBRA TRITURADA R 1:1,5 AMB 1,67% DE FIBRA</b>									
<b>EDAT</b>	<b>Sèrie / proveta</b>	<b>Compressió (Tones)</b>		<b>∑Compressió (T)</b>	<b>10%</b>	<b>-10%</b>	<b>COMPRESSIÓ</b>	<b>∑Compressió (kN)</b>	<b>Rc (Mpa)</b>
<b>7 DIES</b>	<b>F4 - 7D - 1,67% - 1</b>	3,247	4,816	<b>4,24</b>	4,67	3,82	<b>4,44</b>	<b>43,60</b>	<b>27,25</b>
	<b>F4 - 7D - 1,67% - 2</b>	4,169	4,499						
	<b>F4 - 7D - 1,67% - 3</b>	4,918	3,820						
<b>14 DIES</b>	<b>F4 - 14D - 1,67% - 1</b>	3,995	4,164	<b>4,49</b>	4,94	4,04	<b>4,43</b>	<b>43,43</b>	<b>27,14</b>
	<b>F4 - 14D - 1,67% - 2</b>	4,158	4,787						
	<b>F4 - 14D - 1,67% - 3</b>	4,932	4,885						
<b>21 DIES</b>	<b>F4 - 21D - 1,67% - 1</b>	5,025	5,433	<b>5,18</b>	5,70	4,66	<b>5,18</b>	<b>50,79</b>	<b>31,74</b>
	<b>F4 - 21D - 1,67% - 2</b>	5,228	4,973						
	<b>F4 - 21D - 1,67% - 3</b>	5,209	5,197						
<b>28 DIES</b>	<b>F4 - 28D - 1,67% - 1</b>	5,435	5,413	<b>5,73</b>	6,30	5,16	<b>5,72</b>	<b>56,09</b>	<b>35,06</b>
	<b>F4 - 28D - 1,67% - 2</b>	6,111	5,505						
	<b>F4 - 28D - 1,67% - 3</b>	5,781	6,124						

Taula 38: Resultats generals a compressió de fibra triturada 1,67% (v/v) R 1:1,5. Font: pròpia

<b>FIBRA TRITURADA R 1:1,5 AMB 3,31% DE FIBRA</b>									
<b>EDAT</b>	<b>Sèrie / proveta</b>	<b>Compressió (Tones)</b>		<b>∑Compressió (T)</b>	<b>10%</b>	<b>-10%</b>	<b>COMPRESSIÓ</b>	<b>∑Compressió (kN)</b>	<b>Rc (Mpa)</b>
<b>7 DIES</b>	<b>F5 - 7D - 3,31% - 1</b>	3,692	3,726	<b>3,70</b>	4,07	3,33	<b>3,70</b>	<b>36,34</b>	<b>22,71</b>
	<b>F5 - 7D - 3,31% - 2</b>	3,741	3,787						
	<b>F5 - 7D - 3,31% - 3</b>	3,626	3,655						
<b>14 DIES</b>	<b>F5 - 14D - 3,31% - 1</b>	4,339	4,946	<b>4,84</b>	5,32	4,35	<b>4,84</b>	<b>47,43</b>	<b>29,65</b>
	<b>F5 - 14D - 3,31% - 2</b>	4,704	4,889						
	<b>F5 - 14D - 3,31% - 3</b>	5,043	5,090						
<b>21 DIES</b>	<b>F5 - 21D - 3,31% - 1</b>	4,060	5,415	<b>4,95</b>	5,45	4,46	<b>5,13</b>	<b>50,31</b>	<b>31,45</b>
	<b>F5 - 21D - 3,31% - 2</b>	5,411	5,422						
	<b>F5 - 21D - 3,31% - 3</b>	4,933	4,463						
<b>28 DIES</b>	<b>F5 - 28D - 3,31% - 1</b>	6,360	4,873	<b>5,80</b>	6,37	5,22	<b>5,98</b>	<b>58,66</b>	<b>36,66</b>
	<b>F5 - 28D - 3,31% - 2</b>	6,176	6,198						
	<b>F5 - 28D - 3,31% - 3</b>	5,827	5,336						

Taula 39: Resultats generals a compressió de fibra triturada 3,31% (v/v) R 1:1,5. Font: pròpia

<b>FIBRA TRITURADA R 1:1,5 AMB 4,94% DE FIBRA</b>									
<b>EDAT</b>	<b>Sèrie / proveta</b>	<b>Compressió (Tones)</b>		<b>∑Compressió (T)</b>	<b>10%</b>	<b>-10%</b>	<b>COMPRESSIÓ</b>	<b>∑Compressió (kN)</b>	<b>Rc (Mpa)</b>
<b>7 DIES</b>	<b>F3 - 7D - 4,94% - 1</b>	2,811	3,280	<b>3,34</b>	3,67	3,00	<b>3,44</b>	<b>33,76</b>	<b>21,10</b>
	<b>F3 - 7D - 4,94% - 2</b>	3,572	3,763						
	<b>F3 - 7D - 4,94% - 3</b>	3,519	3,071						
<b>14 DIES</b>	<b>F3 - 14D - 4,94% - 1</b>	4,484	4,010	<b>4,17</b>	4,59	3,75	<b>4,17</b>	<b>40,90</b>	<b>25,56</b>
	<b>F3 - 14D - 4,94% - 2</b>	3,964	3,809						
	<b>F3 - 14D - 4,94% - 3</b>	4,570	4,180						
<b>21 DIES</b>	<b>F3 - 21D - 4,94% - 1</b>	4,673	4,477	<b>4,61</b>	5,07	4,15	<b>4,61</b>	<b>45,22</b>	<b>28,27</b>
	<b>F3 - 21D - 4,94% - 2</b>	4,849	4,801						
	<b>F3 - 21D - 4,94% - 3</b>	4,279	4,581						
<b>28 DIES</b>	<b>F3 - 28D - 4,94% - 1</b>	6,280	5,085	<b>5,71</b>	6,28	5,14	<b>5,83</b>	<b>57,21</b>	<b>35,76</b>
	<b>F3 - 28D - 4,94% - 2</b>	5,378	5,358						
	<b>F3 - 28D - 4,94% - 3</b>	6,277	5,867						

Taula 40: Resultats generals a compressió de fibra triturada 4,94% (v/v) R 1:1,5. Font: pròpia

<b>FIBRA TRITURADA R 1:1,5 AMB 6,54% DE FIBRA</b>									
<b>EDAT</b>	<b>Sèrie / proveta</b>	<b>Compressió (Tones)</b>		<b>∑Compressió (T)</b>	<b>10%</b>	<b>-10%</b>	<b>COMPRESSIÓ</b>	<b>∑Compressió (kN)</b>	<b>Rc (Mpa)</b>
<b>7 DIES</b>	<b>F2 - 7D - 6,54% - 1</b>	3,472	3,373	<b>3,35</b>	3,68	3,01	<b>3,45</b>	<b>33,80</b>	<b>21,12</b>
	<b>F2 - 7D - 6,54% - 2</b>	2,868	3,759						
	<b>F2 - 7D - 6,54% - 3</b>	3,129	3,492						
<b>14 DIES</b>	<b>F2 - 14D - 6,54% - 1</b>	4,677	4,186	<b>4,21</b>	4,63	3,79	<b>4,37</b>	<b>42,86</b>	<b>26,79</b>
	<b>F2 - 14D - 6,54% - 2</b>	4,470	4,307						
	<b>F2 - 14D - 6,54% - 3</b>	3,393	4,206						
<b>21 DIES</b>	<b>F2 - 21D - 6,54% - 1</b>	5,054	4,988	<b>4,82</b>	5,30	4,34	<b>4,99</b>	<b>48,90</b>	<b>30,56</b>
	<b>F2 - 21D - 6,54% - 2</b>	4,843	3,977						
	<b>F2 - 21D - 6,54% - 3</b>	4,807	5,233						
<b>28 DIES</b>	<b>F2 - 28D - 6,54% - 1</b>	5,384	5,078	<b>5,08</b>	5,59	4,57	<b>5,08</b>	<b>49,85</b>	<b>31,15</b>
	<b>F2 - 28D - 6,54% - 2</b>	4,816	5,263						
	<b>F2 - 28D - 6,54% - 3</b>	4,982	4,965						

Taula 41: Resultats generals a compressió de fibra triturada 6,54% (v/v) R 1:1,5. Font: pròpia

<b>FIBRA TRITURADA R 1:1,5 AMB 8,12% DE FIBRA</b>									
<b>EDAT</b>	<b>Sèrie / proveta</b>	<b>Compressió (Tones)</b>		<b>∑Compressió (T)</b>	<b>10%</b>	<b>-10%</b>	<b>COMPRESSIÓ</b>	<b>∑Compressió (kN)</b>	<b>Rc (Mpa)</b>
<b>7 DIES</b>	<b>F1 - 7D - 8,12% - 1</b>	2,948	3,010	<b>2,73</b>	3,00	2,45	<b>2,73</b>	<b>26,74</b>	<b>16,71</b>
	<b>F1 - 7D - 8,12% - 2</b>	2,598	2,662						
	<b>F1 - 7D - 8,12% - 3</b>	2,679	2,458						
<b>14 DIES</b>	<b>F1 - 14D - 8,12% - 1</b>	3,492	3,822	<b>3,43</b>	3,77	3,09	<b>3,53</b>	<b>34,66</b>	<b>21,66</b>
	<b>F1 - 14D - 8,12% - 2</b>	2,910	3,534						
	<b>F1 - 14D - 8,12% - 3</b>	3,322	3,494						
<b>21 DIES</b>	<b>F1 - 21D - 8,12% - 1</b>	4,229	4,347	<b>4,50</b>	4,95	4,05	<b>4,50</b>	<b>44,14</b>	<b>27,59</b>
	<b>F1 - 21D - 8,12% - 2</b>	4,442	4,481						
	<b>F1 - 21D - 8,12% - 3</b>	4,924	4,574						
<b>28 DIES</b>	<b>F1 - 28D - 8,12% - 1</b>	4,437	4,858	<b>5,09</b>	5,60	4,58	<b>4,92</b>	<b>48,24</b>	<b>30,15</b>
	<b>F1 - 28D - 8,12% - 2</b>	5,933	5,457						
	<b>F1 - 28D - 8,12% - 3</b>	4,840	4,997						

Taula 42: Resultats generals a compressió de fibra triturada 8,12% (v/v) R 1:1,5. Font: pròpia

<b>FIBRA TRITURADA R 1:1,5 AMB 15,75% DE FIBRA</b>									
<b>EDAT</b>	<b>Sèrie / proveta</b>	<b>Compressió (Tones)</b>		<b>∑Compressió (T)</b>	<b>10%</b>	<b>- 10%</b>	<b>COMPRESSIÓ</b>	<b>∑Compressió (kN)</b>	<b>Rc (Mpa)</b>
<b>7 DIES</b>	<b>F6 - 7D - 15,75% - 1</b>	1,650	1,989	<b>1,88</b>	2,07	1,69	<b>1,88</b>	<b>18,47</b>	<b>11,54</b>
	<b>F6 - 7D - 15,75% - 2</b>	2,100	1,683						
	<b>F6 - 7D - 15,75% - 3</b>	1,989	1,886						
<b>14 DIES</b>	<b>F6 - 14D - 15,75% - 1</b>	3,620	3,003	<b>3,06</b>	3,37	2,76	<b>2,95</b>	<b>28,97</b>	<b>18,11</b>
	<b>F6 - 14D - 15,75% - 2</b>	3,360	2,778						
	<b>F6 - 14D - 15,75% - 3</b>	2,421	3,204						
<b>21 DIES</b>	<b>F6 - 21D - 15,75% - 1</b>	2,904	2,998	<b>3,28</b>	3,60	2,95	<b>3,35</b>	<b>32,86</b>	<b>20,54</b>
	<b>F6 - 21D - 15,75% - 2</b>	3,408	3,521						
	<b>F6 - 21D - 15,75% - 3</b>	3,358	3,464						
<b>28 DIES</b>	<b>F6 - 28D - 15,75% - 1</b>	3,142	3,096	<b>3,24</b>	3,56	2,91	<b>3,24</b>	<b>31,77</b>	<b>19,86</b>
	<b>F6 - 28D - 15,75% - 2</b>	3,325	3,276						
	<b>F6 - 28D - 15,75% - 3</b>	3,263	3,329						

Taula 43: Resultats generals a compressió de fibra triturada 15,75% (v/v) R 1:1,5. Font: pròpia

11.2.2. Resultats generals a compressió en malla

CIMENT BLANC RELACIÓ 1:1,5									
EDAT	Sèrie / proveta	Compressió (Tones)		$\Sigma$ Compressió (T)	10%	-10%	COMPRESSIÓ	$\Sigma$ Compressió (kN)	Rc (Mpa)
7 DIES	CB - R1:1,5 - 7D - 1	4,170	4,805	4,63	5,10	4,17	4,63	45,44	28,40
	CB - R1:1,5 - 7D - 2	4,598	4,779						
	CB - R1:1,5 - 7D - 3	4,808	4,635						
14 DIES	CB - R1:1,5 - 14D - 1	4,378	4,115	4,50	4,95	4,05	4,50	44,14	27,59
	CB - R1:1,5 - 14D - 2	4,867	4,911						
	CB - R1:1,5 - 14D - 3	4,534	4,191						
21 DIES	CB - R1:1,5 - 21D - 1	4,713	4,909	5,23	5,75	4,70	5,23	51,26	32,04
	CB - R1:1,5 - 21D - 2	5,407	5,305						
	CB - R1:1,5 - 21D - 3	5,748	5,268						
28 DIES	CB - R1:1,5 - 28D - 1	5,583	5,995	5,43	5,97	4,89	5,68	55,71	34,82
	CB - R1:1,5 - 28D - 2	4,173	5,817						
	CB - R1:1,5 - 28D - 3	5,215	5,786						

Taula 44: Resultats generals a compressió de ciment blanc R 1:1,5. Font: pròpia

CIMENT BLANC RELACIÓ 1:3									
EDAT	Sèrie / proveta	Compressió (Tones)		∑Compressió (T)	10%	-10%	COMPRESSIÓ	∑Compressió (kN)	Rc (Mpa)
7 DIES	CB - R1:3 - 7D - 1	14,447	12,739	13,79	15,17	12,41	13,79	135,30	84,56
	CB - R1:3 - 7D - 2	15,883	15,190						
	CB - R1:3 - 7D - 3	12,100	12,393						
14 DIES	CB - R1:3 - 14D - 1	15,449	15,508	14,71	16,18	13,24	15,22	149,35	93,35
	CB - R1:3 - 14D - 2	15,284	12,135						
	CB - R1:3 - 14D - 3	14,957	14,925						
21 DIES	CB - R1:3 - 21D - 1	9,590	15,594	14,28	15,71	12,85	15,22	149,28	93,30
	CB - R1:3 - 21D - 2	14,662	15,152						
	CB - R1:3 - 21D - 3	15,610	15,068						
28 DIES	CB - R1:3 - 28D - 1	17,163	17,485	16,53	18,18	14,88	16,53	162,15	101,35
	CB - R1:3 - 28D - 2	16,163	15,486						
	CB - R1:3 - 28D - 3	15,828	17,051						

Taula 45: Resultats generals a compressió de ciment blanc R 1:3. Font: pròpia



MALLA PETITA RELACIÓ 1:3									
EDAT	Sèrie / proveta	Compressió (Tones)		$\Sigma$ Compressió (T)	10%	-10%	COMPRESSIÓ	$\Sigma$ Compressió (kN)	Rc (Mpa)
7 DIES	PF - MP - R1:3 - 7D -1	7,183	6,429	7,06	7,77	6,35	7,06	69,26	43,28
	PF - MP - R1:3 - 7D -2	7,761	7,463						
	PF - MP - R1:3 - 7D -3	6,470	7,052						
14 DIES	PF - MP - R1:3 - 14D -1	6,929	8,830	7,02	7,72	6,32	6,65	65,28	40,80
	PF - MP - R1:3 - 14D -2	7,024	6,874						
	PF - MP - R1:3 - 14D -3	6,652	5,794						
21 DIES	PF - MP - R1:3 - 21D -1	7,202	7,659	7,76	8,54	6,98	7,76	76,12	47,58
	PF - MP - R1:3 - 21D -2	7,632	7,393						
	PF - MP - R1:3 - 21D -3	8,239	8,434						
28 DIES	PF - MP - R1:3 - 28D -1	7,716	7,522	8,07	8,88	7,26	7,80	76,56	47,85
	PF - MP - R1:3 - 28D -2	7,858	7,583						
	PF - MP - R1:3 - 28D -3	9,406	8,344						

Taula 46: Resultats generals a compressió de provetes en malla petita R 1:3. Font: pròpia

MALLA PETITA RELACIÓ 1:1,5									
EDAT	Sèrie / proveta	Compressió (Tones)		$\Sigma$ Compressió (T)	10%	-10%	COMPRESSIÓ	$\Sigma$ Compressió (kN)	Rc (Mpa)
7 DIES	PF - MP - R1:1,5 - 7D -1	2,683	2,467	2,67	2,94	2,41	2,61	25,62	16,01
	PF - MP - R1:1,5 - 7D -2	2,428	2,547						
	PF - MP - R1:1,5 - 7D -3	2,988	2,935						
14 DIES	PF - MP - R1:1,5 - 14D -1	2,807	2,562	2,94	3,23	2,64			
	PF - MP - R1:1,5 - 14D -2	2,653	2,602						
	PF - MP - R1:1,5 - 14D -3	3,551	3,437						
21 DIES	PF - MP - R1:1,5 - 21D -1	2,322	2,752	2,55	2,80	2,29	2,55	24,99	15,62
	PF - MP - R1:1,5 - 21D -2	2,406	2,393						
	PF - MP - R1:1,5 - 21D -3	2,739	2,670						
28 DIES	PF - MP - R1:1,5 - 28D -1	3,032	4,093	3,37	3,71	3,03	3,22	31,63	19,77
	PF - MP - R1:1,5 - 28D -2	3,146	3,171						
	PF - MP - R1:1,5 - 28D -3	3,190	3,582						

Taula 47: Resultats generals a compressió de provetes en malla petita R 1:1,5. Font: pròpia

MALLA GRAN RELACIÓ 1:3									
EDAT	Sèrie / proveta	Compressió (Tones)		$\Sigma$ Compressió (T)	10%	-10%	COMPRESSIÓ	$\Sigma$ Compressió (kN)	Rc (Mpa)
7 DIES	PF - MG - R1:3 - 7D -1	8,152	9,716	8,98	9,88	8,09	8,98	88,14	55,09
	PF - MG - R1:3 - 7D -2	8,581	8,703						
	PF - MG - R1:3 - 7D -3	9,267	9,489						
14 DIES	PF - MG - R1:3- 14D -1	8,961	6,903	8,87	9,76	7,99	9,27	90,91	56,82
	PF - MG - R1:3 - 14D -2	8,399	9,736						
	PF - MG - R1:3 - 14D -3	9,760	9,481						
21 DIES	PF - MG - R1:3 - 21D -1	9,679	8,386	8,49	9,34	7,64	8,90	87,35	54,60
	PF - MG - R1:3 - 21D -2	9,189	8,119						
	PF - MG - R1:3 -21D -3	6,413	9,150						
28 DIES	PF - MG - R1:3 - 28D -1	8,046	8,469	8,91	9,81	8,02	8,91	87,45	54,66
	PF - MG - R1:3 - 28D -2	9,368	8,899						
	PF - MG - R1:3 - 28D -3	9,810	8,896						

Taula 48: Resultats generals a compressió de provetes en malla gran R 1:3. Font: pròpia

MALLA GRAN RELACIÓ 1:1,5									
EDAT	Sèrie / proveta	Compressió (Tones)		$\Sigma$ Compressió (T)	10%	-10%	COMPRESSIÓ	$\Sigma$ Compressió (kN)	Rc (Mpa)
7 DIES	PF - MG - R1:1,5 - 7D -1	3,375	3,128	3,39	3,73	3,05	3,39	33,28	20,80
	PF - MG - R1:1,5 - 7D -2	3,069	3,653						
	PF - MG - R1:1,5 - 7D -3	3,567	3,562						
14 DIES	PF - MG - R1:1,5 - 14D -1	3,880	3,256	3,53	3,88	3,17	3,46	33,91	21,19
	PF - MG - R1:1,5 - 14D -2	3,752	3,572						
	PF - MG - R1:1,5 - 14D -3	3,406	3,298						
21 DIES	PF - MG - R1:1,5 - 21D -1	3,633	4,116	3,91	4,31	3,52	3,91	38,40	24,00
	PF - MG - R1:1,5 - 21D -2	3,732	4,054						
	PF - MG - R1:1,5 - 21D -3	3,829	4,122						
28 DIES	PF - MG - R1:1,5 - 28D -1	3,778	4,138	3,94	4,34	3,55	3,94	38,68	24,18
	PF - MG - R1:1,5 - 28D -2	3,849	3,977						
	PF - MG - R1:1,5 - 28D -3	3,739	4,177						

Taula 49: Resultats generals a compressió de provetes en malla gran R 1:1,5. Font: pròpia

### 11.3. Índex de taules

Taula 1: Denominacions dels ciments. Font: Norma UNE-EN 197-1:2000.....	22
Taula 2 : Composició dels components % del ciment. Font: Institut de Promoció de ceràmica. ....	23
Taula 3 : Exigències químiques. Font: Norma UNE. ....	23
Taula 4 : Tipus de consistència del ciment fresc. Font: norma UNE-EN 1015:3 2000.....	37
Taula 5 : Requisits de les màquines d'assaig a flexió. Font: norma UNE-EN 1015:11 .....	38
Taula 6: Dosificacions. Font: pròpia .....	49
Taula 7: Resultats d'assaig de consistència. Font: pròpia .....	52
Taula 8: Càlcul de densitat aparent de les provetes amb fibra. Font: pròpia .....	53
Taula 9: Resultats a flexió de provetes de ciment blanc a R1:1,5. Font: pròpia.....	57
Taula 10: Resultats a flexió de provetes amb R 1:1,5 i 1,67% (v/v) fibra. Font: pròpia. ....	57
Taula 11: Resultats a flexió de provetes amb R1:1,5 i 3,31% (v/v) fibra. Font: pròpia. ....	58
Taula 12: Resultats a flexió de provetes amb R 1:1,5 i 4,94% (v/v) fibra. Font: pròpia. ....	59
Taula 13: Resultats a flexió de provetes amb R 1:1,5 i 6,54% (v/v) fibra. Font: pròpia. ....	59
Taula 14: Resultats a flexió de provetes amb R 1:1,5 i 8,12% (v/v) fibra. Font: pròpia. ....	60
Taula 15: Resultats a flexió de provetes amb R 1:1,5 i 15,75% (v/v) fibra. Font: pròpia. ....	60
Taula 16: Resultats de compressió a 7,14, 21 i 28 dies de provetes de ciment blanc R 1:1,5. Font: pròpia.....	69
Taula 17: Resultats de compressió a 7, 14, 21 i 28 dies de provetes amb 1,67% (v/v) de fibra a R 1:1,5. Font: pròpia.....	69
Taula 18: Resultats de compressió a 7, 14, 21 i 28 dies de provetes amb 3,31% (v/v) de fibra a R 1:1,5. Font: pròpia.....	69
Taula 19: Resultats de compressió a 7, 14, 21 i 28 dies de provetes amb 4,94% (v/v) de fibra a R 1:1,5. Font: pròpia.....	69
Taula 20: Resultats de compressió a 7, 14, 21 i 28 dies de provetes amb 6,54% (v/v) de fibra a R 1:1,5. Font: pròpia.....	70
Taula 21: Resultats de compressió a 7, 14, 21 i 28 dies de provetes amb 8,12% (v/v) de fibra a R 1:1,5. Font: pròpia.....	70
Taula 22: Resultats de compressió a 7, 14, 21 i 28 dies de provetes amb 15,75% (v/v) de fibra a R 1:1,5. Font: pròpia.....	70
Taula 23: Dosificacions de provetes en malla. Font: pròpia .....	88
Taula 24: Resultats de consistència. Font: pròpia .....	89
Taula 25: Resultats a flexió de provetes de ciment blanc a R 1:1,5. Font: pròpia.....	90
Taula 26: Resultats a flexió de provetes amb R 1:1,5 i malla petita (135 g/m <sup>2</sup> ). Font: pròpia.....	90
Taula 27: Resultats a flexió de provetes amb R 1:1,5 i malla gran (82 g/m <sup>2</sup> ). Font: pròpia. ....	91

Taula 28: Resultats a flexió de provetes de ciment blanc a R1:3. Font: pròpia.....	96
Taula 29: Resultats a flexió de provetes amb R1:3 i malla petita (135 g/m <sup>2</sup> ). Font: pròpia.....	97
Taula 30: Resultats a flexió de provetes amb R1:3 i malla gran (82 g/m <sup>2</sup> ). Font: pròpia. ....	97
Taula 31: Resultats de compressió a 7,14, 21 i 28 dies de provetes de ciment blanc R 1:1,5. Font: pròpia.....	104
Taula 32: Resultats de compressió a 7, 14, 21 i 28 dies de provetes amb malla petita (135 g/m <sup>2</sup> ) a R 1:1,5. Font: pròpia. ....	104
Taula 33: Resultats de compressió a 7, 14, 21 i 28 dies de provetes amb malla gran (82 g/m <sup>2</sup> ) a R 1:1,5. Font: pròpia.....	105
Taula 34: Resultats de compressió a 7,14, 21 i 28 dies de provetes de ciment blanc R 1:3. Font: pròpia.....	110
Taula 35: Resultats de compressió a 7, 14, 21 i 28 dies de provetes amb malla petita (135 g/m <sup>2</sup> ) a R 1:3. Font: pròpia. ....	110
Taula 36: Resultats de compressió a 7, 14, 21 i 28 dies de provetes amb malla gran (82 g/m <sup>2</sup> ) a R 1:3. Font: pròpia.....	110
Taula 37: <i>Resultats generals a compressió de ciment blanc R 1:1,5. Font: pròpia</i> .....	128
Taula 38: <i>Resultats generals a compressió de fibra triturada 1,67% (v/v) R 1:1,5. Font: pròpia</i> ..	129
Taula 39: <i>Resultats generals a compressió de fibra triturada 3,31% (v/v) R 1:1,5. Font: pròpia</i> ..	130
Taula 40: Resultats generals a compressió de fibra triturada 4,94% (v/v) R 1:1,5. Font: pròpia ..	131
Taula 41: Resultats generals a compressió de fibra triturada 6,54% (v/v) R 1:1,5. Font: pròpia ..	132
Taula 42: Resultats generals a compressió de fibra triturada 8,12% (v/v) R 1:1,5. Font: pròpia ..	133
Taula 43: Resultats generals a compressió de fibra triturada 15,75% (v/v) R 1:1,5. Font: pròpia	134
Taula 44: Resultats generals a compressió de ciment blanc R 1:1,5. Font: pròpia.....	135
Taula 45: Resultats generals a compressió de ciment blanc R 1:3. Font: pròpia.....	136
Taula 46: Resultats generals a compressió de provetes en malla petita R 1:3. Font: pròpia .....	137
Taula 47: Resultats generals a compressió de provetes en malla petita R 1:1,5. Font: pròpia ....	138
Taula 48: Resultats generals a compressió de provetes en malla gran R 1:3. Font: pròpia.....	139
Taula 49: Resultats generals a compressió de provetes en malla gran R 1:1,5. Font: pròpia .....	140

## 11.5. Índex de diagrames

Diagrama 1: Procediment operatori tècnica picnòmetre. Font: pròpia. ....	34
Diagrama 2: Procediment operatori d'assaig a compressió. Font: pròpia. ....	40
Diagrama 3: Procediment de fabricació de les primeres provetes amb manta de jute. Font: pròpia .....	43
Diagrama 4: Procediment operatori per a la fabricació de les provetes amb fibra. Font: pròpia ....	48
Diagrama 5: Dosificacions R1:1,5 + 1,67% (v/v). Font: pròpia .....	50
Diagrama 6: Dosificacions R1:1,5 + 3,31% (v/v). Font: pròpia .....	50
Diagrama 7: Dosificacions R1:1,5 + 4,94% (v/v). Font: pròpia .....	50
Diagrama 8: Dosificacions R1:1,5 + 6,59% (v/v). Font: pròpia .....	50
Diagrama 9: Dosificacions R1:1,5 + 8,12% (v/v). Font: pròpia .....	51
Diagrama 10: Dosificacions R1:1,5 + 15,75% (v/v). Font: pròpia.....	51
Diagrama 11: Dosificacions ciment blanc R1:1,5 . Font: pròpia.....	51
Diagrama 12: Procediment operatori per a la realització de provetes amb fibra triturada. Font: pròpia.....	84
Diagrama 13: Procediment operatori per a la realització del refractat de provetes. Font: pròpia ...	85
Diagrama 14: Dosificacions de ciment blanc a R 1:1,5. Font: pròpia.....	88
Diagrama 15: Dosificacions de ciment blanc R 1:3. Font: pròpia.....	88

## 11.6. Índex de gràfiques

Gràfica 1: Gràfica de resultats d'assaig de consistència. Font: pròpia.....	52
Gràfica 2: Resultat de densitats. Font: pròpia .....	55
Gràfica 3: Evolució de la resistència a flexió en provetes amb % (v/v) de fibra diferents a diferents edats de curació. Font: pròpia.....	61
Gràfica 4: Comparació de la resistència a flexió en provetes amb % (v/v) de fibra diferents a diferents edats de curació. Font: pròpia .....	62
Gràfica 5: Resultats a 28 dies de resistència a flexió en provetes amb % (v/v) de fibra diversos. Font: pròpia.....	62
Gràfica 6: Evolució de la resistència a compressió en provetes amb % (v/v) de fibra diferents a diferents edats de curació. Font: pròpia .....	71
Gràfica 7: Comparació de la resistència a compressió en provetes amb % (v/v) de fibra diferents a diferents edats de curació. Font: pròpia .....	72
Gràfica 8: Resultats a 28 dies de resistència a compressió en provetes amb % (v/v) de fibra diversos. Font: pròpia.....	73
Gràfica 9: Trencament a resistència a compressió de CB R 1:1,5. Font: pròpia.....	74
Gràfica 10: Trencament a resistència a compressió de la mostra a R 1:1,5 amb 1,67% (v/v) fibra. Font: pròpia.....	74
Gràfica 11: Trencament a resistència a compressió de la mostra a R 1:1,5 amb 3,31% (v/v) fibra. Font: pròpia.....	75
Gràfica 12: Trencament a resistència a compressió de la mostra a R 1:1,5 amb 4,94% (v/v) fibra. Font: pròpia.....	75
Gràfica 13: Trencament a resistència a compressió de la mostra a R 1:1,5 amb 6,54% (v/v) fibra. Font: pròpia.....	76
Gràfica 14: Trencament a resistència a compressió de la mostra a R 1:1,5 amb 8,12% (v/v) fibra. Font: pròpia.....	76
Gràfica 15: Trencament a resistència a compressió de la mostra a R 1:1,5 amb 15,75% (v/v) fibra. Font: pròpia.....	77
Gràfica 16: Evolució de la resistència a flexió en provetes R 1:1,5 i diferents tipus de malla. Font: pròpia.....	91
Gràfica 17: Comparació de la resistència a flexió en provetes amb diferents tipus de malla a diferents edats de curació. Font: pròpia .....	92
Gràfica 18: Resultats a 28 dies de resistència a flexió en provetes amb diversos tipus de malla. Font: pròpia.....	93



Gràfica 19: Evolució de la resistència a flexió en provetes R1:3 i diferents tipus de malla. Font: pròpia.....	98
Gràfica 20: Comparació de la resistència a flexió en provetes amb diferents tipus de malla a diferents edats de curació. Font: pròpia .....	99
Gràfica 21: Resultats a 28 dies de resistència a flexió en provetes amb diversos tipus de malla. Font: pròpia.....	99
Gràfica 22: Evolució de la resistència a compressió en provetes amb malla a diferents edats de curació. Font: pròpia .....	105
Gràfica 23: Comparació de la resistència a compressió en provetes amb malla diferent a diferents edats de curació. Font: pròpia.....	106
Gràfica 24: Resultats a 28 dies de resistència a compressió en provetes amb malla diversos. Font: pròpia.....	107
Gràfica 25: Trencament a resistència a compressió de CB R 1:1,5. Font: pròpia.....	108
Gràfica 26: Trencament a resistència a compressió de la mostra a R 1:1,5 amb malla petita (135 g/m <sup>2</sup> ). Font: pròpia.....	108
Gràfica 27: Trencament a resistència a compressió de la mostra a R 1:1,5 amb malla gran (82 g/m <sup>2</sup> ). Font: pròpia.....	109
Gràfica 28: Evolució de la resistència a compressió en provetes amb malla a diferents edats de curació. Font: pròpia .....	111
Gràfica 29: Comparació de la resistència a compressió en provetes amb malla diferent a diferents edats de curació. Font: pròpia.....	112
Gràfica 30: Resultats a 28 dies de resistència a compressió en provetes amb malla diversos. Font: pròpia.....	113
Gràfica 31: Trencament a resistència a compressió de CB R1:3. Font: pròpia.....	114
Gràfica 32: Trencament a resistència a compressió de la mostra a R1:3 amb malla petita (135 g/m <sup>2</sup> ). Font: pròpia.....	114
Gràfica 33: Trencament a resistència a compressió de la mostra a R1:3 amb malla gran (82 g/m <sup>2</sup> ). Font: pròpia.....	115

## 11.6. Índex de fotografies

Fotografia 1: Filaments de fibra de Jute. Font: Google.....	18
Fotografia 2: Ciment pòrtland Tipus I. Font: pròpia .....	26
Fotografia 3: Motlles d'acer per realitzar les provetes. Font: pròpia.....	27
Fotografia 4: Taula de sacsejades normalitzada. Font: pròpia .....	27
Fotografia 5: Acetona per assaig de densitat. Font: pròpia .....	28
Fotografia 6: Picnòmetre. Font: pròpia .....	28
Fotografia 7: Morter tixotròpic per el refractat. Font: pròpia.....	29
Fotografia 8: Nivell utilitzat en el refractat de provetes. Font: pròpia .....	29
Fotografia 9: Bossa de polietilè per al curat de les provetes. Font: Imatges de Google.....	29
Fotografia 10: Diferents tipus de malla de jute. Font: pròpia .....	30
Fotografia 11: Filferro d'acer galvanitzat de d 2mm. Font: Imatges de Google.....	30
Fotografia 12: Fibra de jute triturada. Font: pròpia. ....	30
Fotografia 13: Amasadora. Font: pròpia.....	31
Fotografia 14: Cambra d'humitat. Font: pròpia. ....	31
Fotografia 15: Balança. Font: pròpia. ....	32
Fotografia 16: Màquina d'aire comprimit. Font: pròpia.....	32
Fotografia 18: Premsa hidràulica de flexió. Font: pròpia.....	33
Fotografia 19: Exemple tècnica del picnòmetre. Font: pròpia.....	34
Fotografia 20: Exemple tècnica del picnòmetre. Font: pròpia .....	34
Fotografia 21: Exemple taula de sacsejades amb mostra de morter fresc. Font: pròpia.....	36
Fotografia 22: Realització de trencament a flexió. Font: pròpia.....	38
Fotografia 23: Premsa universal de 60T. Font: pròpia.....	40
Fotografia 24: Exemple d'assaig a compressió de proveta amb malla. Font: pròpia. ....	41
Fotografia 25: Exemple d'anàlisis del tipus de ruptura. Font: pròpia.....	41
Fotografia 26: Manta de fibra de jute de gramatge 1200 g/m2. Font: pròpia .....	42
Fotografia 27: Motlle normalitzat amb els prismes rectangulars premsant la mescla. Font: pròpia	44
Fotografia 28: Resultat de retirada del prisma del motlle. Font: pròpia.....	44
Fotografia 29: Proveta inicial amb manta de jute. Font: pròpia.....	44
Fotografia 30: Material de metacrilat blanc. Font: pròpia.....	45
Fotografia 31: Mostra realitzada amb manta de jute de 1200 g/m2. Font: pròpia .....	45
Fotografia 32: Mostra realitzada amb manta de jute de 500 g/m2. Font: pròpia .....	45
Fotografia 33: Mostra realitzada amb manta de jute de 200 g/m2. Font: pròpia .....	46
Fotografia 34: Exemple de provetes amb augment de fibra addicionada. Font: pròpia.....	47
Fotografia 35: Assaig de consistència del ciment blanc a R 1:1,5. Font: pròpia. ....	53

Fotografia 36: Trencament a resistència a flexió CB R 1:1,5. Font: pròpia .....	63
Fotografia 37: Trencament a resistència a flexió mostra R 1:1,5 amb 1,67% (v/v) fibra. Font: pròpia.....	64
Fotografia 38: Trencament a resistència a flexió mostra R 1:1,5 amb 3,31% (v/v) fibra. Font: pròpia.....	64
Fotografia 39: Trencament a resistència a flexió mostra R 1:1,5 amb 4,94% (v/v) fibra. Font: pròpia.....	65
Fotografia 40: Trencament a resistència a flexió mostra R 1:1,5 amb 6,54% (v/v) fibra. Font: pròpia.....	65
Fotografia 41: Trencament a resistència a flexió mostra R 1:1,5 amb 8,12% (v/v) fibra. Font: pròpia.....	66
Fotografia 42: Trencament a resistència a flexió mostra R 1:1,5 amb 15,75% (v/v) fibra. Font: pròpia.....	66
Fotografia 43: Assaig de resistència a flexió de proveta amb fibra afegida. Font: pròpia.....	67
Fotografia 44: Malla de jute de gramatge 135 g/m2. Font: pròpia .....	79
Fotografia 45: Malla de jute de gramatge 82 g/m2. Font: pròpia .....	80
Fotografia 46: Malla de jute de gramatge 305 g/m2. Font: pròpia .....	80
Fotografia 47: Malla de jute de gramatge 250 g/m2. Font: pròpia .....	80
Fotografia 48: Malla de jute de gramatge 305 g/m2. Font: pròpia .....	81
Fotografia 49: Proveta amb malla de jute de gramatge 82 g/m2. Font: pròpia .....	81
Fotografia 50: Proveta amb malla de jute de gramatge 135 g/m2. Font: pròpia .....	82
Fotografia 51: Proveta amb malla de jute de gramatge 305 g/m2. Font: pròpia .....	82
Fotografia 52: Proveta amb malla de jute de gramatge 250 g/m2. Font: pròpia .....	82
Fotografia 53: Exemple amb malla de jute de gramatge 135 g/m2. Font: pròpia .....	83
Fotografia 54: Exemple malla de jute de gramatge 82 g/m2. Font: pròpia.....	83
Fotografia 55: Col·locació de separadors inferior a la malla de jute de gramatge 135 g/m2. Font: pròpia.....	83
Fotografia 56: Col·locació de separadors superiors a la malla de jute de gramatge 82 g/m2. Font: pròpia.....	83
Fotografia 57: Morter emprat en el refractat. Font: pròpia .....	85
Fotografia 58: Mullat de la proveta durant el refractat. Font: pròpia.....	86
Fotografia 59: Exemple amb malla de jute de gramatge 135 g/m2. Font: pròpia .....	86
Fotografia 60: Anivellament de les cares durant el refractat. Font: pròpia .....	86
Fotografia 61: Anivellament de les cares durant el refractat 2. Font: pròpia .....	87
Fotografia 62: Resultat final del refractat en provetes en malla. Font: pròpia .....	87
Fotografia 63: Trencament a resistència a flexió CB R 1:1,5. Font: pròpia .....	94

Fotografia 64: Trencament a resistència a flexió mostra R 1:1,5 amb malla petita (135 g/m<sup>2</sup>). Font: pròpia..... 94

Fotografia 65: Trencament a resistència a flexió mostra R 1:1,5 amb malla gran (82 g/m<sup>2</sup>). Font: pròpia..... 95

Fotografia 66: Assaig de resistència a flexió de proveta amb fibra afegida. Font: pròpia..... 95

Fotografia 67: Trencament a resistència a flexió CB R1:3. Font: pròpia..... 100

Fotografia 68: Trencament a resistència a flexió mostra R1:3 amb malla petita. Font: pròpia ..... 101

Fotografia 69: Trencament a resistència a flexió mostra R1:3 amb malla gran. Font: pròpia..... 101

Fotografia 70: Assaig de resistència a flexió de proveta amb malla gran (82 g/m<sup>2</sup>). Font: pròpia. .... 102

## 11.7. Llistat d'acrònims

**a.C** → Abans de Crist

**d.C** → Després de Crist

**R 1:1,5** → Relació de dosificació 1:1,5

**a:c** → aigua : ciment

**MP** → Malla petita de gramatge 135 g/m<sup>2</sup>

**MG** → Malla gran de gramatge 82 g/m<sup>2</sup>

**CB** → Ciment blanc

**°C** → Graus centígrads

**(v/v)** → volum / volum

**(w/w)** → pes / pes

**T** → tones

**Mpa** → Megapascals

**CEM I** → Ciment pòrtland tipus I

**Ø** → Diàmetre (mm)

**R<sub>c</sub>** → Resistència a compressió

**R<sub>f</sub>** → Resistència a flexió (Mpa)

**C<sub>c</sub>** → Centímetres cúbics (Mpa)

**σ** → Desviació estàndard

**N** → Newtons