

## Treball final de grau

**Estudi: Grau en Arquitectura Tècnica**

**Títol:**

Estudi bibliogràfic compartiu sobre l'ús de fibres naturals en conglomerats a base de pastes de ciment

**Document:**

Treball final de grau

**Alumnes:**

Rafales Masdevall, Ivan  
Pulido Giménez, Laura

**Tutors:**

Llorens Sulivera, Joan  
Soler Busquets, Jordi

**Departament:** ARQUITECTURA I ENGINYERIA DE LA CONSTRUCCIÓ

**Àrea:** CONSTRUCCIONS ARQUITECTÒNIQUES

**Convocatòria (mes/any):** Setembre 2020



## **Agraïments**

Als professors Joan Llorenç Sulivera i Jordi Soler Busquets, tutors del treball final de grau, per les seves dedicacions i constants suports en la nostra orientació durant tot el procés del treball. També al professor Miquel-Àngel Chamorro per les seves apreciacions i ajuda alhora de desenvolupar el projecte.

Donem les gràcies a aquests professors que ens han ajudat en un moment on l'epidèmia del Covid-19 ens ha aportat dificultats alhora de realitzar el treball a laboratori i s'han preocupat per buscar-nos alternatives al nostre treball final de grau inicial.

El seu suport i suggeriments han estat de vital importància alhora de desenvolupar aquest estudi.

Donem gràcies a en Pere pel suport donat durant les estades a laboratori, on es preocupava de l'obtenció de materials i maquinària per tal de facilitar-nos els processos de neteja i preparació de material.

# ÍNDEX

1	INTRODUCCIÓ .....	1
2	OBJECTIUS.....	2
3	METODOLOGIA .....	3
4	MATERIALS.....	5
4.1	Fibres naturals.....	5
4.1.1	Tipologies de fibres naturals d'origen vegetal.....	6
4.1.2	Propietats físiques de les fibres naturals.....	8
4.1.3	Propietats mecàniques de les fibres naturals.....	11
4.1.4	Tractaments aplicats a les fibres naturals .....	16
4.2	Àrids.....	19
4.3	Ciment .....	21
4.4	Additius.....	21
5	CONGLOMERATS .....	22
5.1	Dosificacions .....	22
5.2	Propietats físiques i mecàniques dels conglomerats .....	32
5.2.1	Resistència a compressió.....	32
5.2.2	Resistència a la flexió .....	39
5.2.3	Resistència a la tracció.....	48
5.2.4	Mòdul elàstic (Mòdul de Young) .....	52
5.2.5	Conductivitat tèrmica .....	55
5.2.6	Absorció d'aigua.....	60
5.2.7	Porositat .....	67
6	CONCLUSIONS .....	72
7	BIBLIOGRAFIA.....	74

## **1 INTRODUCCIÓ**

La incorporació de les fibres naturals en les construccions modernes cada vegada s'investiga més, ja que és un material econòmicament viable, més respectuós amb el medi ambient a més a més de tractar-se d'un element abundant, local i sostenible. Aquestes s'obtenen de closques, fulles i polpa residual, consten principalment de cel·lulosa, hemicel·lulosa i lignina. Aquests factors i la consciència cada vegada més estesa sobre la necessitat de reaprofitar recursos renovables i/o residus fruit del tractament de les matèries primeres utilitzades a la indústria donen una nova dimensió a les fibres i els seus usos.

Els compostos desenvolupats a partir de fibres naturals actuen com a un material de construcció alternatiu que és energèticament eficient, ecològic i també econòmic. Les fibres naturals, ja siguin processades o sense processar, s'han utilitzat per reforçar els diferents productes basats en el ciment en diverses aplicacions a nivell mundial. Les fibres naturals tenen una alta variació en les seves propietats que afecten a les característiques generals del fibrociment [1].

Les fibres poden combinar-se amb pastes de ciment, utilitzant-les com a reforç del conglomerat proporcionant millores en algunes de les seves propietats mecàniques. Les fibres tenen la capacitat d'absorbir aigua, així doncs la seva incorporació en conglomerats poden comprometre la qualitat del mateix durant el procés d'enduriment. Determinar la capacitat d'absorció d'aigua ens permet obtenir relacions d'aigua més precises afavorint l'enduriment de la pasta.

Al tractar-se de fibres naturals aquestes presenten diferents graus de degradació d'origen a més a més de la degradació que es pugui originar en aquestes una vegada es barregen amb les pastes de ciment deguda a la interacció química entre la fibra i el ciment. És per això que molts autors estudien aquesta degradació per tal de determinar la vida útil de les fibres. Degut a aquest fenomen de degradació cada vegada més s'apliquen diferents tractaments mecànics i químics a les fibres per tractar de protegir les fibres superficialment allargant-ne la seva vida útil dins la pasta.

L'estudi i el recull d'articles publicats durant els últims anys estan relacionats amb les diferents tipologies de fibres naturals i el seu comportament amb el conjunt del conglomerat.

A través d'un exercici de recerca bibliogràfica i el tractament de les dades que hi són exposades s'ha desenvolupat aquest treball, comparant les seves característiques físiques i mecàniques així com també els diferents mètodes i/o processos que segueixen els autors per condicionar les fibres i formar els ciments.

## **2 OBJECTIUS**

L'objectiu principal del projecte és el d'elaborar una sèrie de conclusions de diferent índole després de tractar les diferents dades obtingudes per mitjà de la recerca bibliogràfica d'articles de caire científic que estiguin relacionats amb la incorporació de fibres naturals en la fabricació de conglomerats per al seu ús en la construcció, concretament en materials de l'evolvent i d'elements aïllants. Es pretén donar resposta als següents objectius:

1. Determinar si existeixen metodologies de tractament i incorporació de les fibres d'origen natural pel seu ús en conglomerats normalitzades, reproduïbles i robustes;
2. Determinar si existeix una relació entre les propietats morfològiques de els àrids i les fibres naturals que s'utilitzen (diàmetre de l'àrid, longitud de fibres, diàmetre de les fibres...);
3. Determinar quin és l'impacte de l'addició de fibres naturals en compostos a base de pasta de ciment sobre les seves propietats mecàniques;
4. Determinar la influència de la relació d'aigua i ciment amb el comportament mecànic de les pastes de ciment.
5. Extrapolar la informació obtinguda en forma de conclusions que puguin mostrar quin és l'impacte de les diferents activitats (tractaments) i propietats físiques i mecàniques sobre les diferents característiques mecàniques dels materials compostos.

### **3 METODOLOGIA**

Inicialment, el plantejament del present treball de fi de grau era el d'elaborar un projecte de caire experimental consistent en l'addició de fibres naturals provinents del cànem en compostos elaborats a partir d'aquest tipus de fibra i formigó. Es pretenia també caracteritzar física i morfològicament (p.e. caracterització de l'absorció d'aigua de les fibres) i realitzar diferents provetes variant l'aportació d'aigua en el moment de conformar-les.

D'aquest treball exposat en el paràgraf anterior es van arribar a realitzar únicament les següents activitats: **i)** recerca bibliogràfica d'articles relacionats a l'àmbit que es pretenia estudiar; **ii)** processament i neteja de les fibres de cànem; **iii)** processament, neteja i assecat dels àrids gruixuts; **iv)** processament, neteja i assecat dels àrids fins (sorra) i **v)** confecció d'un pla d'activitats per trencar les diferents provetes a estudiar així com també la recerca dels mètodes a utilitzar.

Malgrat que aquest treball previ va ser condicionat per circumstàncies excepcionals generades per l'emergència sanitària provocada pel Covid-19, vam haver de interrompre'l ja que els centres educatius van clausurar els accessos als centres de treball per tant no es va poder donar continuïtat a aquest estudi.

Poc després i arrel de que la situació semblava s'allargaria es va decidir juntament amb els tutors d'aquests projecte inicial canviar la temàtica a un treball de recerca bibliogràfic que tractés diferents estudis relacionats amb l'adició de fibres naturals en materials compostos a base de pastes de ciment.

Per a dur a terme aquest treball, hem analitzat una sèrie d'articles relacionats amb els morters reforçats amb fibres naturals. En aquest estudi previ, hem observat gran varietat de fibres, de les quals unes estan més estudiades, per la seva influència en les propietats del ciment, que les altres. A la següent figura es pot apreciar la freqüència d'aparició dels diferents tipus de fibres en la matriu de ciment d'articles analitzats inicialment per tal de realitzar un triatge que permetés focalitzar l'estudi en un tipus concret d'aplicació.

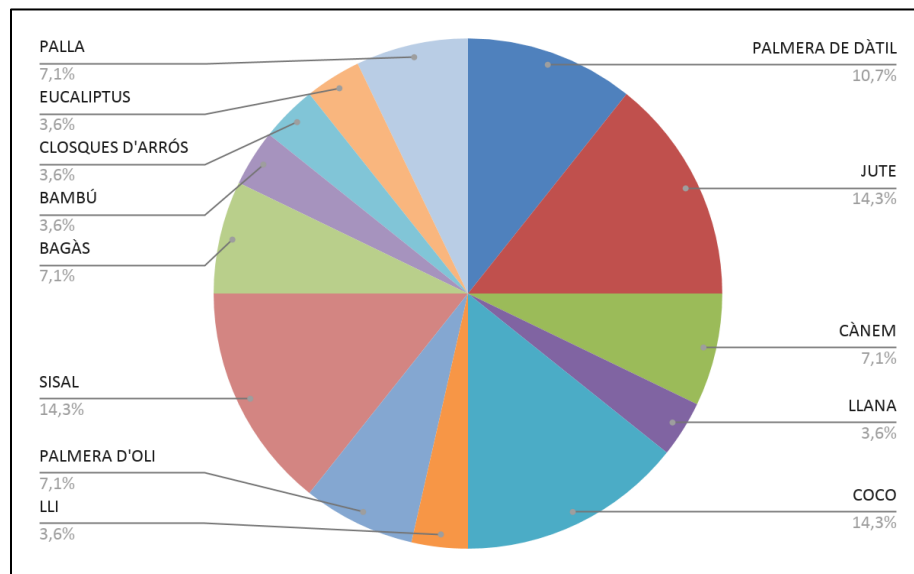


Figura 1.- Percentatge d'aparició dels diferents tipus de fibres en els articles consultats en la primera etapa de recerca bibliogràfica (triatge inicial d'articles).

Després d'aquesta primera recerca es pot afirmar que les fibres més utilitzades en aquests són les de coco, jute i sisal. A partir d'aquí, s'ha realitzat un desglossament per tal d'obtenir dades comparables. S'han escollit aquelles que es basen principalment en materials per aplicar-los com a revestiments i/o elements aïllants. Els articles científics analitzats poden consultar-se a l'apartat **7. BIBLIOGRAFIA**.

Tenint aquests articles de referència, es procedeix a contrastar característiques i resultats. D'aquesta manera s'extraurà informació relativa dels tractaments utilitzats en els àrids i les fibres naturals, de les diferents metodologies escollides pels autors alhora de generar les provetes i els procediments dels assajos extrets de normatives específiques.



## 4 MATERIALS

### 4.1 Fibres naturals

Les fibres naturals són agrupacions de filaments que es presenten a la natura i conformen els diferents teixits presents en vegetals, animals i minerals. Aquest estudi es centra únicament en la introducció de fibres naturals d'origen vegetal en compostos a base de pastes de ciment.

Les fibres naturals d'origen vegetal estan compostes principalment per cel·lulosa, hemicel·lulosa i lignina. Aquests components donen unes certes propietats a la fibra. L'alt contingut de cel·lulosa, ajuda a potenciar les propietats mecàniques, proporcionant fermesa al llarg de tota la fibra. En canvi l'hemicel·lulosa i la lignina, són components que al estar en contacte en un ambient alcalí es degraden i perden durabilitat [2].

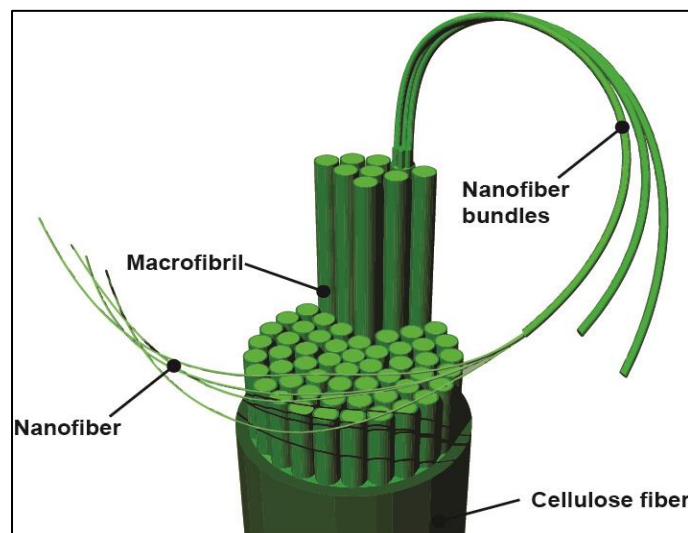


Figura 2.- Morfologia i composició de les fibres naturals d'origen vegetal (LEPAMAP, 2014).

#### **4.1.1 Tipologies de fibres naturals d'origen vegetal**

Existeixen tants tipus de fibres naturals d'origen vegetal com espècies de vegetals. En aquest apartat només es farà menció a les fibres que han utilitzat els diferents autors dels articles i estudis de caire científic que s'han tractat en aquest treball.

##### **Fibra de bagàs**

La fibra de bagàs és aquell residu que s'obté després d'expressar la canya de sucre, on finalment s'aconsegueix el suc ensucrat. Aquestes fibres finals, normalment s'utilitzen per a la fabricació de paper reciclat, ja que és un element que dona certa ductilitat als components [2].

##### **Fibra del cànem**

La fibra de cànem és obtinguda directament de la planta del cànem. Aquestes fibres s'utilitzen en la confecció de vestuari, corda i paper. Històricament ha estat també utilitzada en materials de la construcció i més recentment el seu ús ha guanyat popularitat.

##### **Fibra de coco**

La fibra de coco s'extreu de la closca del fruit. Es tracta d'una fibra econòmica que està disponible en grans quantitats com a material del tipus residu en molts països tropicals i semi tropicals. Aquest tipus de fibra és capaç de suportar entre 4 i 6 vegades més tensió que altres fibres naturals. Actualment està sent utilitzat en la confecció de taules, materials de coberta, formigó i altres materials de la construcció [3].

##### **Fibra d'eucaliptus**

La fibra d'eucaliptus s'obté directament del tronc i les branques de l'arbre eucaliptus i és originària d'Austràlia. El seu ús més generalitzat i estès és el de la conformació de polpa de paper.

### **Fibra de jute**

La fibra del Jute s'obté de l'arbre Jute. Es tracta d'un vegetal d'origen tropical. Una de les propietats destacades d'aquest tipus de fibra és el seu alt contingut en lignina [4]. S'utilitza en la confecció de sacs, cordes, estores, etc.

### **Fibra de palla de blat**

La fibra de palla de blat s'obté del residu que queda de la planta del blat un cop aquesta és collida i s'ha extret el cereal. Aquest tipus de palla s'ha utilitzat històricament en la alimentació del bestiar així com també en materials de confecció artesanal (cistells), com a aïllament natural, fabricació de paper, teulades de palla...

### **Fibra de palmera de dàtil**

La fibra de la palmera de dàtil s'obté del residu de l'arbre de la palmera de dàtil i procedeix de regions tropicals. L'arbre de la palmera, té la funcionalitat de utilitzar gran part d'ell per extreure fibra. Aquest tipus de fibra s'utilitza per realitzar teixits i per materials en l'àmbit de la construcció.

### **Fibra de palmera d'oli**

La fibra de la palmera d'oli s'extreu directament del residu agrícola de la planta de la palmera d'oli. Pràcticament tot l'arbre es compon de fibra i la seva disponibilitat com a matèria primera és molt alta degut al seu ús estès en països del sud-est asiàtic, cosa que n'abarateix molt el seu ús. Degut a aquest factor els residus agrícoles provinents d'aquest arbre estan sent aprofitats en diferents aplicacions dins la indústria, entre elles la indústria de la construcció.

### **Fibra de sisal**

La fibra de sisal s'obté de les fulles de la planta Atzavara Sisalana. Quan la planta està en procés de maduració, es tallen les fulles i s'aixafen per extreure tota la polpa que contenen a l'interior. El moment més adequat per obtenir les fibres sense patir danys, és just en el moment d'aquesta collita.

#### 4.1.2 Propietats físiques de les fibres naturals

En aquest apartat hem recopilat tota la informació referent a les propietats físiques de les fibres extretes dels articles analitzats. Pensem que les característiques pròpies de les fibres, podrien tenir una gran influència en el reforç del morter. És important escollir l'aplicació d'aquestes dins de la massa, perquè podria tenir certa incidència en la resistència del conjunt.

En l'estudi hem observat que les longituds de les fibres estan compreses en un rang entre els 1,12 mm i els 600 mm. Aquesta variació podria indicar-nos que aquest aspecte no està del tot normalitzat, d'aquesta manera no es pot determinar quina longitud és la més adequada per obtenir millors resistències.

Per tal d'observar les propietats de cada tipus de fibra, s'analitza una gràfica amb les dades extretes dels articles analitzats:

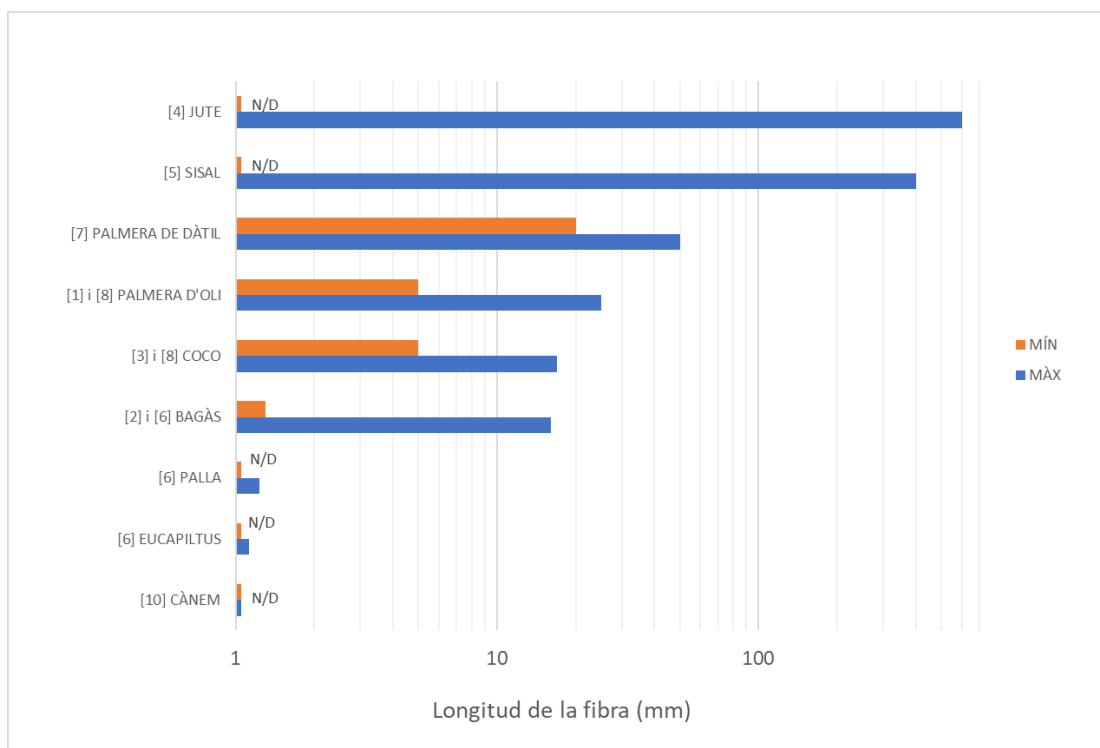


Figura 3.- Longitud mínima i màxima de cada tipologia de fibres analitzades en els articles científics.

En el cas dels articles [4] i [5] utilitzen fibres de jute i sisal amb unes longituds elevades en comparació amb la resta d'articles, això és degut a la metodologia adoptada pels respectius autors alhora de generar mostres. En aquests articles els autors volen orientar les fibres amb

forma de malles o simplement ocupant tota la longitud de la proveta. L'article [6] utilitza fibres naturals amb longituds compreses entre 1,12 i 1,303 mm. Trobem que són valors molt inferiors, que poden ser deguts a la utilització de fibres naturals processades provinents de deixalles agrícoles. Així que l'autor el que pretén és utilitzar el material sobrant de l'agricultura, per tal de realitzar un conglomerat més sostenible.

Ens resulta curiós que l'article [7] els autors no especifiquen la utilització de les diferents longituds de fibres que es troben entre 20 – 50 mm. Tot i així podríem destacar que l'autor utilitza les fibres tal com surten de la planta de producció de la palmera de dàtil. També podríem esmentar que els articles [2] i [3], els autors utilitzen les fibres de bagàs i coco amb unes longituds similars amb valors compresos entre 16,09 mm i 17 mm.

Un dels altres paràmetres a destacar de les propietats físiques de les fibres naturals, seria el diàmetre de cada una d'elles. Creiem que podria tenir una incidència en el seu comportament mecànic, al ser una propietat característica de cada tipologia de fibra.

S'adjunta una gràfica amb les dades de cada diàmetre de fibra, per tal d'observar les diferències entre elles.

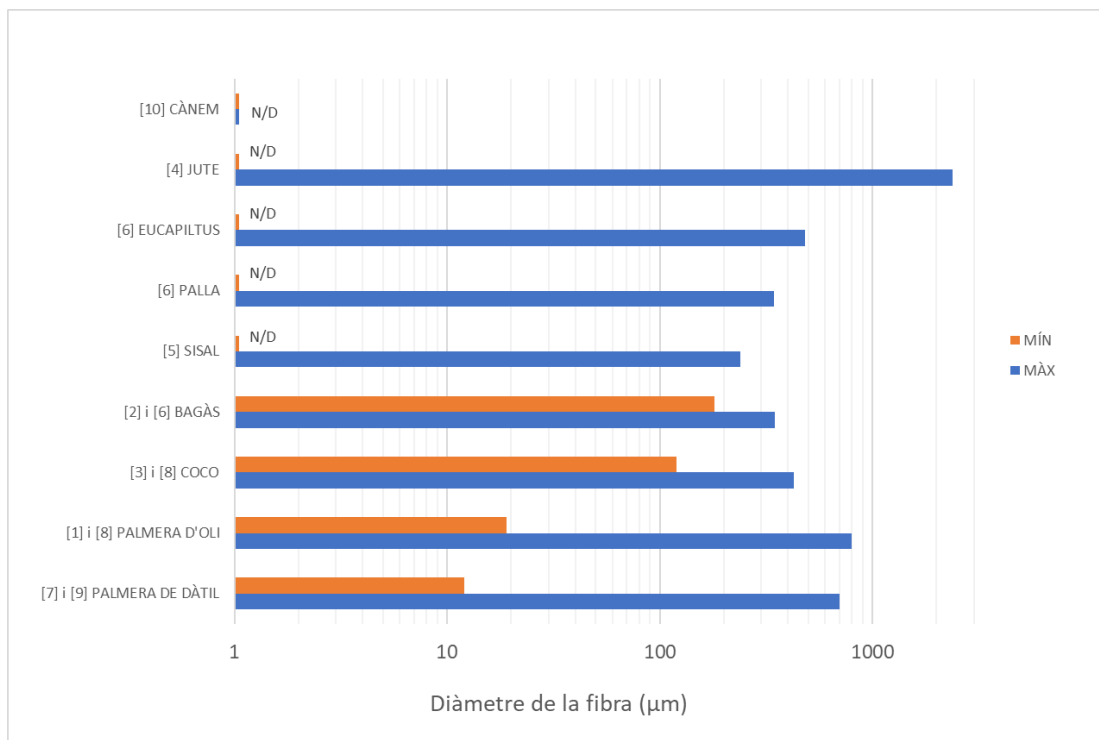


Figura 4.- Diàmetre mínim i màxim de cada tipologia de fibres analitzades en els articles científics.

Referent a l'article [4] on s'utilitzen fibres de jute, l'autor va procedir a trenar els filaments de fibra per obtenir una secció més elevada, ja que orienta les fibres de manera longitudinal al llarg de la proveta, i aquest augment de secció podria comportar una major resistència.

S'observa que en els articles [1], [7], [8] i [9], on els autors utilitzen fibres de provinents de palmera d'oli i palmera de dàtil, tenen la característica del diàmetre molt similars. Podríem arribar a dir que al tractar-se d'arbres de la mateixa tipologia, els diàmetres de les fibres siguin valors similars. En el cas de les fibres de bagàs [2] i [6], i les fibres de coco [3] i [8], tot i tractar-se de plantes diferents també tenen els diàmetre pròxims entre ells.

En l'article [2], l'autor ens relaciona com la uniformitat de la secció al llarg de la longitud de les fibres és molt rellevant per garantir la millor distribució de tensions, ja que les irregularitats en la superfície penalitzen les propietats de la pròpia fibra.

Per concloure l'apartat de propietats físiques de les fibres naturals, hem generat una gràfica que relaciona la longitud i els diàmetres de cada fibra utilitzada pels diferents autors. Aquesta proporció ens podria arribar a indicar que la relació d'aspecte de les fibres, té un paper rellevant alhora d'obtenir una propietat mecànica adequada.

Les dades s'han generat a partir de la fórmula següent:

$$R_a = \frac{L}{D} \quad (Eq. 1)$$

on **R<sub>a</sub>** és la relació d'aspecte

**L** és la longitud de la fibra en mm

**D** és el diàmetre de la fibra en mm

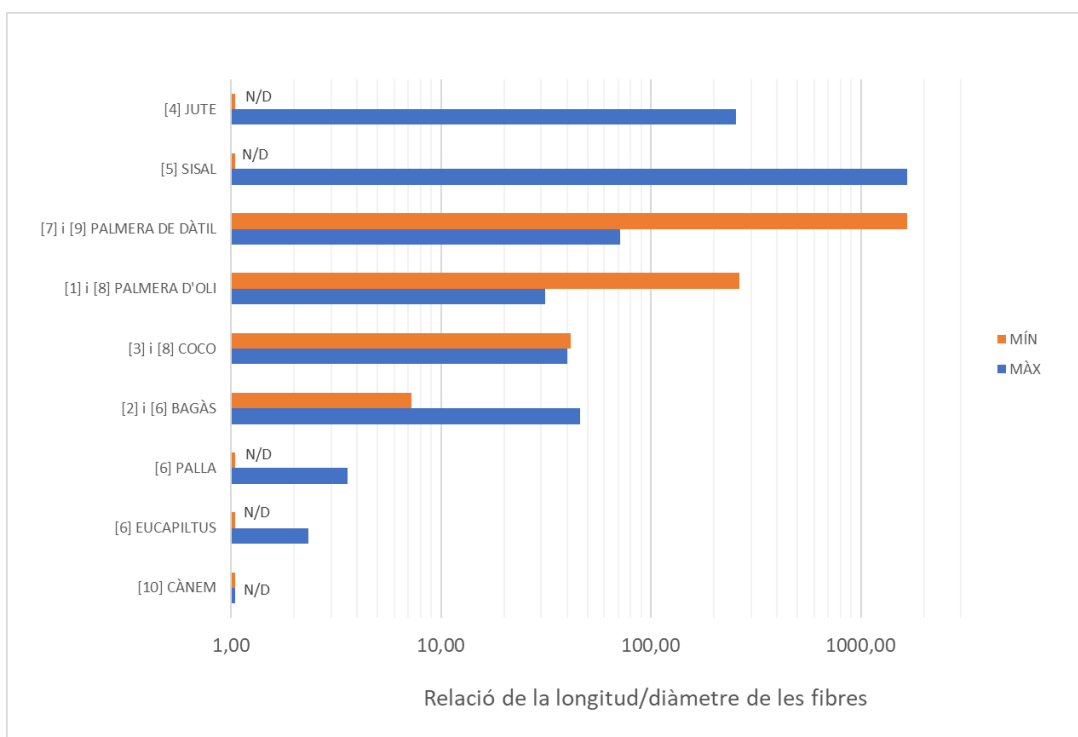


Figura 5.- Relació respecte la longitud i el diàmetre de cada tipologia de fibres analitzades en els articles científics.

En aquest punt del treball, els resultats no són suficientment determinants per tal de concloure quina dimensió de fibra podria ésser la més adequada. Aquests resultats seran contrastats més endavant amb les dades sobre comportament dels conglomerats. D'aquesta manera podríem intentar concloure quines longituds ens aporten un millors resultats.

Tot i així, es podria dir que no hi ha unes dimensions estandarditzades per obtenir una dosificació òptima de les fibres. Per tant, cada autor aplica un criteri propi segons l'aplicació que es vulgui estudiar.

#### 4.1.3 Propietats mecàniques de les fibres naturals

Les propietats mecàniques de les fibres naturals que s'han analitzat en els articles, corresponen a la densitat, l'assaig del mòdul elàstic i l'esforç de tracció. Creiem que aquests resultats podrien ser rellevants per determinar el comportament de les fibres, i així aplicar-les amb el mètode més adequat dins del conglomerat.

#### 4.1.3.1 Densitat

La primera propietat destacada és la densitat, que podria influir en el comportament mecànic del conjunt.

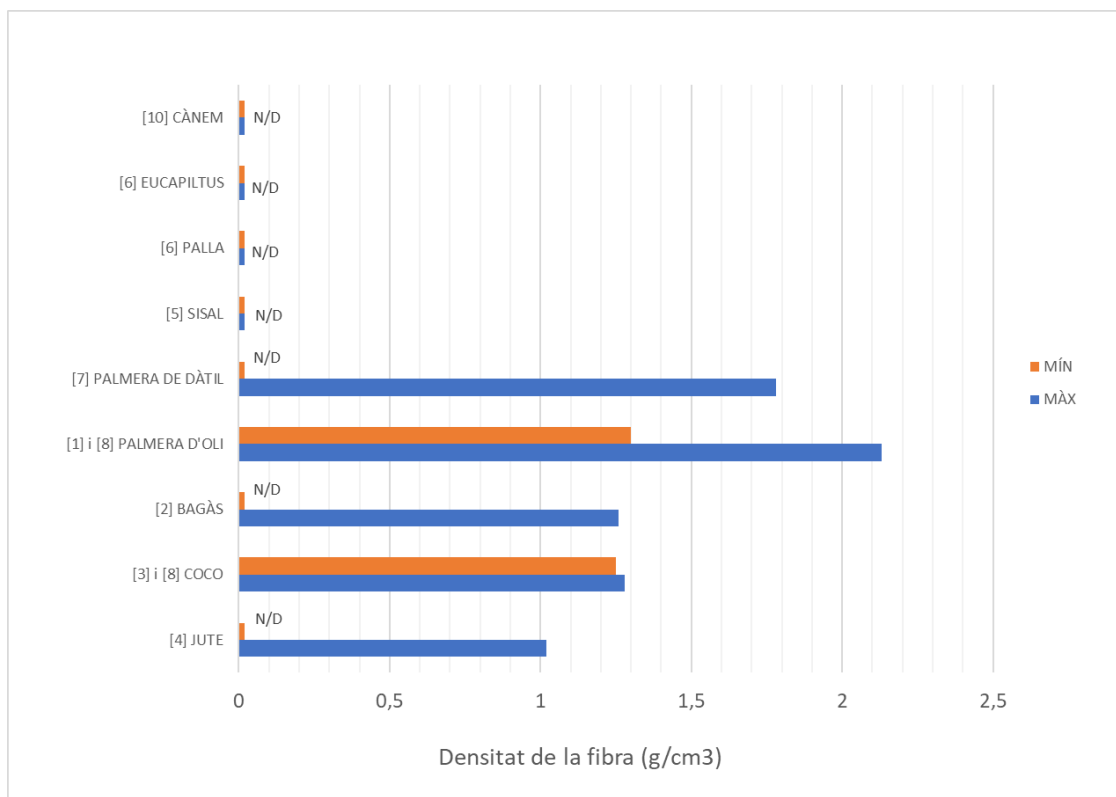


Figura 6.- Propietat de densitat de cada tipologia de fibres analitzades en els articles científics.

Entre els articles analitzats, no tots els autors comproven aquesta propietat de la fibra, per tant aquesta gràfica no ens permetrà generar comparacions de les fibres com el canem [10], la palla [6], l'eucaliptus [6] i el sisal [5]. També cal esmentar que només en els articles [1] i [7], determinen la densitat de les fibres de palmera d'oli i palmera de dàtil, abans de ser rentades i tractades.

En la gràfica es pot observar que les fibres provinents de l'arbre de la palmera d'oli [1] i la palmera de dàtil [7], obtenen un pes específic molt elevat comparat amb la resta de fibres analitzades.

Els resultats obtinguts dels articles [2], [3] i [8] que analitzen les fibres de bagàs, del coco i la palmera d'oli, obtenen densitats molt similars entre elles. Tot i que en l'article [8], els autors



utilitzen les fibres de palmera d'oli provinents de deixalles, i per tant la densitat d'aquesta fibra varia molt respecte en l'article [1] on s'utilitza la mateixa tipologia de fibra. Aquesta variació també podria esser deguda segons la zona on s'ha extret la fibra, ja que és un arbre del qual es poden aprofitar moltes parts i fer-les servir com a matèria primera.

Les fibres de coco utilitzades en els articles [8] i [3], no s'observen variacions en les densitats. Aquest aspecte podria esser degut a que s'extreuen de la closca del fruit.

Per concloure l'apartat de densitat, destaquem que no s'obté molta informació sobre el mètode per obtenir aquesta propietat. Qualsevol procediment (tractament) previ, podria tenir impacte en els resultats obtinguts.

#### 4.1.3.2 Mòdul elàstic (Mòdul de Young)

Determinar el mòdul elàstic de les fibres naturals és una propietat destacada, ja que ens permet saber la tensió que pot suportar la fibra abans de deformar-se permanentment.

Tot i observar la falta d'informació d'aquesta propietat en els diferents articles analitzats, es genera una gràfica de les dades obtingudes en els articles [2], [5] i [11].

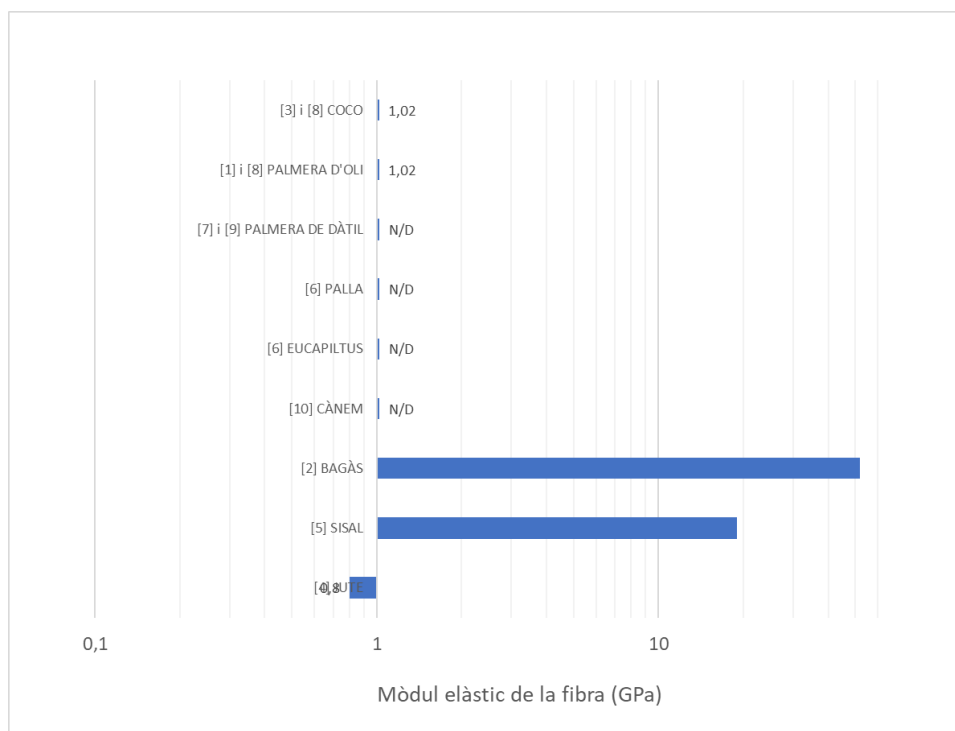


Figura 7.- Mòdul elàstic de cada tipologia de fibres analitzades en els articles científics.

A través de la gràfica es pot observar que la fibra de bagàs [2], dona el resultat d'elasticitat més elevat respecte la fibra de sisal [5] i la fibra de jute [11].

Cal esmentar que en les fibres de bagàs, presenten una gran varietat geomètrica així que els autors de l'article [2] realitzen aquest assaig a un gran número de fibres per tal d'obtenir un valor promig. En total es van assajar 40 fibres de Bagàs.

Els resultats obtinguts pel que fa a la fibra de jute [11], donen uns valors molt inferiors als de la resta. És peculiar, ja que en aquest cas l'autor uneix les fibres entre elles formant un teixit, on això ens podria indicar que aquesta metodologia no aporta millores mecàniques.

Aquest paràmetre podria ser d'ajuda per tal de determinar quina contribució tenen les fibres naturals en els morters. Tot i així, els autors no creuen rellevant centrar-se en aquesta característica per els seus estudis.

#### **4.1.3.3 Resistència a la tracció**

L'esforç a tracció és aquella propietat on dues forces actuen en un mateix cos de manera oposada, fins arribar al punt més elevat creant la ruptura de l'element. Aquest esforç es dona en moltes situacions en l'àmbit de la construcció, per tant és una propietat a tenir en compte sobre els materials que es facin servir.

Primerament s'especifica els processos que han seguit dos articles alhora de realitzar l'assaig a tracció, concretament en les fibres de bagàs.

- Els autors de l'article [2] van realitzar aquest assaig a través de la màquina DMA 2980. El primer pas que esmenten, és el d'adherir les fibres pels extrems sobre una mostra de paper de 1x3 cm. Un cop col·locades es deixen curar durant 24 hores. El test finalitza un cop la fibra es trencava.

Per tal de determinar la propietat elàstica de les fibres assajades, s'utilitza el microscopi òptic de ZEISS per tal d'observar el diàmetre mitjà de la fibra. Esmenten que és una dada important per tal de determinar la propietat elàstica del material.

Els autors d'aquest article observen que les fibres trencades en el centre de la proveta, mostren unes capacitats de resistència a tensió i un mòdul elàstic més elevat.

- Els autors de l'article [6], van seleccionar les 10 fibres més llargues, d'aproximadament 4 mm, per tal de realitzar l'assaig sobre elles. La maquinària utilitzada, estava formada per unes pinces especials per subjectar la fibra. Aquest element estira les fibres amb una càrrega de 0,0001 Newtons, fins el punt de trencar-les.

Arribats aquest punt, es realitza una gràfica de les diferents dades obtingudes per tal de comparar els resultats dels assajos.

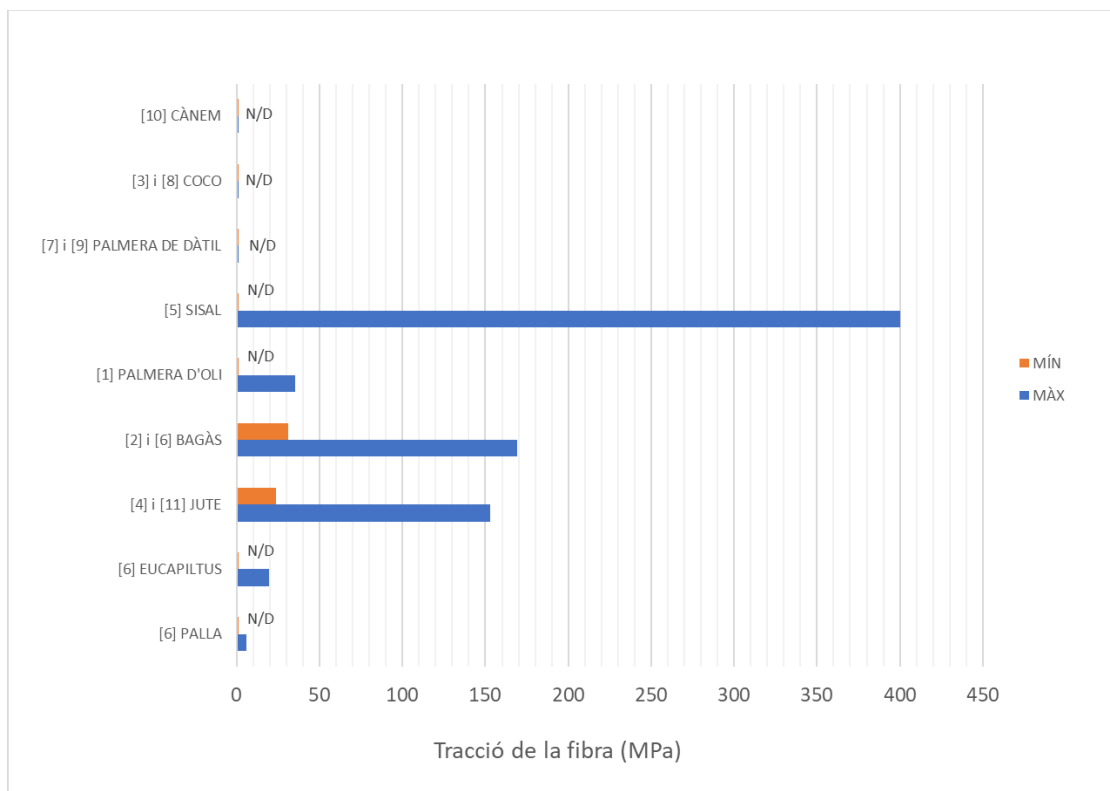


Figura 8.- Resistència a l'esforç a tracció de cada tipologia de fibres analitzades en els articles científics.

Com a valors destacables cal esmentar la fibra de sisal de l'article [5] com la més resistent a tracció, amb uns valors molt alts fins a més del doble per sobre la resta. En canvi, la fibra de palla de l'article [6] li corresponen uns valors molt baixos amb una resistència de 6,09 MPa.

Per altra banda, els resultats obtinguts a l'article [11], on s'estudia la fibra de jute, tornem a tenir valors molt inferiors comparant-t'ho amb l'article [4] on s'utilitza la mateixa tipologia de fibra.

Trobem que els articles [2], [4] i [6] que analitzen les fibres de bagàs, les fibres de jute, i les fibres d'eucaliptus, tenen valors molt similars entre ells.

Remarquem l'article [11] com a valor destacable per els seus resultats, ja que la metodologia dels autors era teixir les fibres de jute entre elles configurant una malla. Semblaria que el fet de realitzar aquesta unió entre les fibres, hauria de donar bons resultats. Tot i això s'obtenen valors inferiors respecte a l'article [4] que es tracta de la mateixa tipologia de fibres.

Per concloure l'apartat de les propietats mecàniques de les fibres naturals, es destaca la poca informació per part dels articles. Això podria indicar que els propis autors no creuen prou rellevant estudiar les fibres prèviament abans de esser aplicades en la pasta de ciment, o que simplement s'han basat en altres estudis on ja determinen les propietats de les fibres naturals.

#### **4.1.4 Tractaments aplicats a les fibres naturals**

Procedirem a definir els diferents tractaments o procediments previs de les fibres naturals, abans de ser introduïdes en la barreja de ciment. Hem trobat diferents metodologies utilitzades, per tal de millorar les propietats de les fibres o simplement reduir o eliminar les impureses que conté la pròpia fibra.

La majoria dels autors opten per realitzar un processat previ en les fibres, per tal de netejar-les superficialment i eliminar qualsevol producte químic o impureses que puguin contenir.

Tot seguit esmentarem els diferents passos que han adoptat els autors per tal de realitzar el tractament adequat de les fibres naturals, segons el resultat que es vulgui aconseguir:

- L'article [1], les fibres de palmera d'oli van ser assecades al sol durant 6 hores per tal d'eliminar la humitat existent de la fibra. Un cop aquesta humitat va ser eliminada, van ser tallades i separades.

Tot seguit, es va utilitzar aigua de l'aixeta per tal d'eliminar les impureses superficials de la pròpia fibra.

- L'article [3], opten en rentar les fibres de coco un cop obtingudes. Aquest procés de rentat no està detallat en l'article per tant no podríem determinar el procés concret d'aquest rentat.  
Tot seguit bullen les fibres durant 2 hores, i posteriorment les assequen a un forn durant 24 hores a una temperatura de 100 °C.  
Un cop assecades, les fibres són tallades a les dimensions requerides per l'autor.
  
- L'article [6], destaca sobre la resta per la singularitat del seu procediment. Primerament, les fibres d'eucaliptus, palla i bagàs, van ser curades en aigua durant 24 hores. Aquest procés de curat, l'autor no especifica ni la funció ni el detall del procediment, per tant no podem determinar el motiu de l'acció d'aquest primer pas. Les fibres humides, s'introdueixen dintre d'un tambor rotatori, on la seva funció és convertir aquesta fibra en una massa de material tou i humit.
  
- L'article [7], determina que la fibra de palmera de dàtil primerament va ser rentada amb aigua a pressió per eliminar les possibles impureses que poden contenir. Tot seguit, van ser assecades directament al sol durant 48 hores. Un cop transcorregut aquest temps, es van introduir en un forn a una temperatura a 70 °C fins que les fibres estaven completament seques.
  
- L'article [8], abans de fer qualsevol pas tallen les fibres de coco i palmera d'oli a la longitud indicada per l'autor.  
Es va aplicar un procés de rentat de les fibres, per tal de variar el PH fins aproximar-se a un valor de 7. Posteriorment es van bullir durant 2 hores per reduir els productes químics solubles en aigua. Un cop arribats aquest punt, les fibres s'assequen a un forn durant 24 hores a una temperatura de 100°C
  
- L'article [9], les fibres de palmera de dàtil van ser netejades amb aigua per eliminar les partícules sobrants. Llavors es van submergir en aigua a una temperatura ambient durant 24 hores per tal d'obtenir més flexibilitat en les fibres.  
Un cop passat aquest temps determinat, es van premsar les fibres, i posteriorment aquestes mostres van ser assecades en un forn durant 72 hores a una temperatura de 100 °C.

Pel que fa els tractaments de les fibres naturals, destaquem dos tipologies diferents per donar millores mecàniques de les pròpies fibres.

Entre els components químics de les fibres naturals, destaquem la cel·lulosa, l'hemicel·lulosa i la lignina. Aquests components donen unes certes propietats a la fibra. L'alt contingut de cel·lulosa, ajuda a potenciar les propietats mecàniques, proporcionant fermesa al llarg de tota la fibra. En canvi l'hemicel·lulosa i la lignina, són components que al estar en contacte amb un ambient alcalí degraden la seva durabilitat.

En l'article [2], per tal de reduir el 28% d'Hemicel·lulosa i el 21'80% de Lignina utilitzen un tractament basat en Hidròxid de sodi. Primer de tot, incorpora la fibra amb una solució de NaOH (Hidròxid de Sodi) d'un 3%, amb una concentració de fibres de 6'40 g/l i les deixa bullir a una temperatura de 100°C durant 2 hores. Passat aquest temps, les deixa assecar a un forn amb una temperatura i temps indeterminat per l'autor. Finalment, torna a introduir les fibres en una solució de Silà d'un 6% durant 2 hores més, i les torna a assecar en el mateix forn. El que vol aconseguir amb aquest procediment, és protegir la fibra creant un recobriment superficial, per tal de millorar les propietats i aconseguir una unió favorable amb la matriu.

Utilitzant el mateix tractament de solució de NaOH (Hidròxid de Sodi), destaquem l'article [1] on s'estudia les fibres de palmera d'oli. La diferencia en l'article [2], l'autor especifica que talla les fibres abans de la seva neteja i tractament. Determina que aquest procés és favorable per millorar l'adherència entre la fibra i el conglomerat, i per afavorir la durabilitat de la fibra en un ambient alcalí.

Per últim destaquem l'article [10] on realitza un tractament a les fibres de cànem anomenat tractament de plasma. Determina que aquest procés l'utilitza per modificar la capa superficial de la fibra i així millorar l'adherència amb la matriu. En cas, no especifica els passos que segueixen per realitzar el tractament.

A través d'aquest recull d'informació, observem que la majoria d'autors no donen tanta importància als tractaments químics. Aquests autors es limiten a netejar les fibres mitjançant un procés d'ebullició i assecatge, per eliminar els components no desitjats els quals podrien perjudicar les característiques de la fibra.

De tractaments hem observat poca varietat, els quals corresponen al Tractament amb Hidròxid de Sodi i el tractament de Plasma. Tot i no tenir prou informació en el tractament de plasma, es pot determinar que aquest procés actua específicament en la superfície de la fibra. En canvi, és un procés incapaç d'eliminar components químics com l'Hemicel·lulosa i la Lignina.

## **4.2 Àrids**

Per obtenir la incidència que podrien tenir els àrids en els conglomerats, s'analitzarà la tipologia dels àrids emprats, el procediment de rentat, i es relacionarà amb la longitud de fibres escollida de cada autor.

De les dades obtingudes es pot veure que la majoria dels articles, utilitzen una sorra de riu o sorra triturada, amb unes dimensions entre 0,1 mm i 4,75 mm de diàmetre.

Cal destacar que l'article [4], els autors utilitzen fins naturals i fins lleugers (pedra volcànica) per elaborar el conglomerat. Concretament no especifiquen el motiu d'utilitzar aquest tipus d'àrid, simplement esmenten que és un material de procedència local. Aquest és l'únic article on netegen els àrids abans de ser introduïts a la massa. El seu procediment és netejar els fins, i assecar-los en el laboratori durant varies hores fins a obtenir la saturació adequada.

La resta d'autors no mencionen cap tipus de rentat, la qual cosa podria indicar que la sorra que utilitzen ja és prèviament neta o que no creuen prou rellevant eliminar les impureses superficials que obtenen.

S'elabora una gràfica per veure si hi ha alguna influència en relació a les longituds de les fibres i els àrids utilitzats, ja que els autors no determinen la racionalitat d'aquestes proporcions. En aquesta gràfica s'han ordenat les mostres per longitud de fibra i s'ha comparat amb els diferents diàmetres escollits.

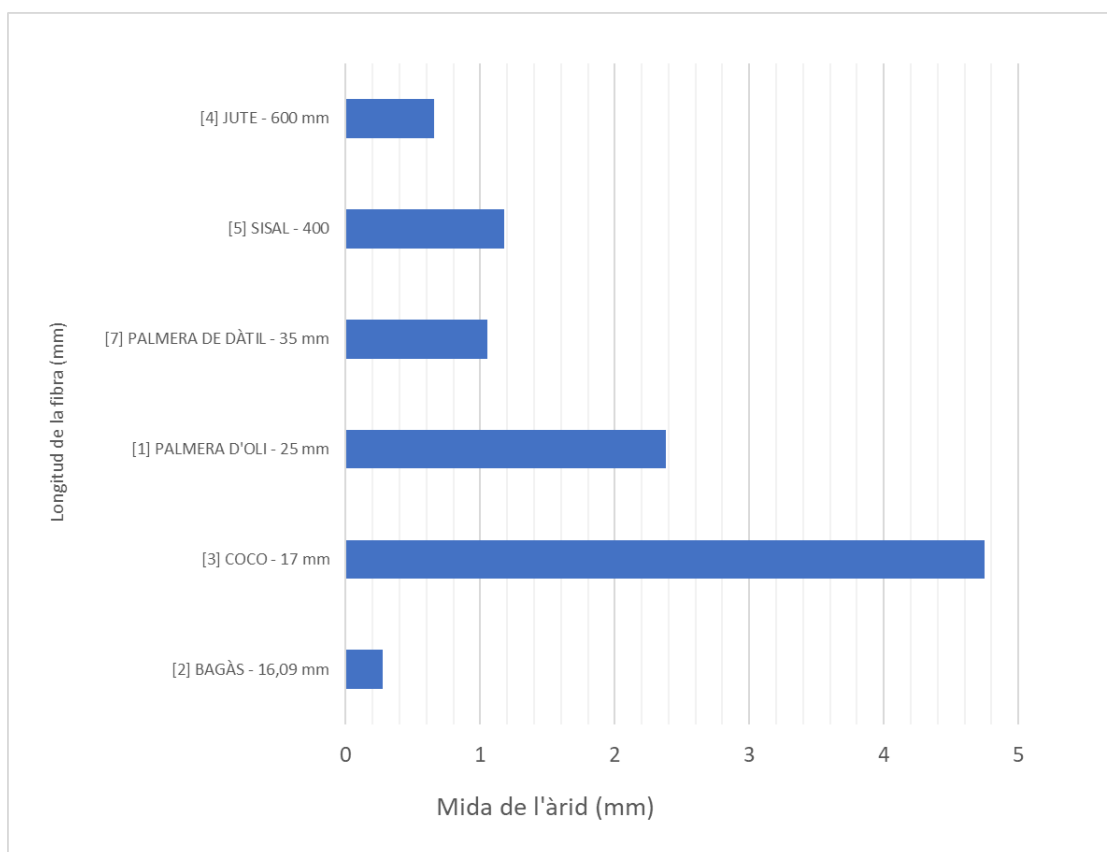


Figura 9.- Relació entre la longitud de les fibres naturals respecte a la mida de l'àrid utilitzat en cada article científic.

Excepte el primer resultat semblaria que la tendència determina que quan més petit és el diàmetre de l'àrid, més llarga és la longitud de la fibra.

Tot i així no tenim suficient informació per tal de determinar si la mida de l'àrid i la longitud de les fibres utilitzades han de ser inversament proporcional, o es tracta d'un fet fortuït.

Actualment hi ha normatives que regulen les longituds de les fibres per reforçar morters. Així que es destaca la normativa EHE-08 (Instrucción Española del Hormigón Estructural) [12] on utilitza fibres d'acer, polimèriques i inorgàniques. En aquesta instrucció s'especifica que la longitud de les fibres sigui com mínim 2 vegades el diàmetre més gran d'àrid. Tot i que aquesta normativa no està especificada per fibres naturals, s'ha realitzat una comparació per veure si s'utilitzava aquest mateix principi, alhora d'escollir la longitud de les fibres.

Es podria dir que els autors segueixen aquest principi de relació, ja que utilitzen longituds molt elevades respecte els diàmetres dels àrids emprats.



### **4.3 Ciment**

Observant els conglomerants utilitzats en els articles analitzats, la majoria d'ells opten per Ciment Portland Tipus I, essent aquest el més comú. Apart d'aquesta tipologia de conglomerant també s'utilitza el Ciment Portland Tipus II, com el cas de l'article [7], i pel que fa als articles [5] i [10], també utilitzen el conglomerant Ciment Portland Tipus II però afegint un additiu calcari. Per tant, això podria comportar que els valors d'aquestes mostres siguin més difícils de comparar amb la resta. El fet d'utilitzar diferents classes de resistències dels ciments, les seves propietats mecàniques podrien variar significativament en els conglomerats.

En alguns articles, els autors escullen substituir una part del ciment per Cendres Volants, des d'un 1,2% fins a un màxim de 10%, o Fum de Sílice amb un 5%. Aquesta substitució és deguda a la intenció de reduir el percentatge de buits en les mostres, i per tant obtenir millors resultats en els diferents esforços analitzats. A part també redueix l'ambient alcalí de les mostres millorant així la degradació de la fibra com en el cas de l'article [2].

Altres autors com en l'article [5] utilitzen materials argilosos com el Metacaolí i blocs triturats per substituir un 50% de la massa de ciment. Aquesta dosificació serveix per tal de reduir l'alcalinitat de la mescla i això comporta una millora en la durabilitat de les fibres naturals dins de les provetes.

En el cas de l'article [9], no s'utilitza cap conglomerant en base ciment. Opten per unir les fibres amb una resina provinent de la planta de blat de moro, on la seva funció seria eliminar la problemàtica de l'ambient alcalí que aporten les mescles en base ciment. S'utilitza aquest tipus d'aglomerant per obtenir un material lleuger, ja que es pretén produir uns panells d'aïllament tèrmic.

### **4.4 Additius**

Els additius escollits pels autors, són components que serveixen per tornar la massa més fluida sense la necessitat d'afegir més aigua, ens afavoreixen la mal-leabilitat de la massa, i ens ajuden a distribuir les fibres uniformement en l'interior de la mostra.

En els articles [2], [3], [4] i [8] els autors afegeixen un superplastificant per aconseguir les propietats adequades dintre del conglomerat. Per destacar, en l'article [8] s'utilitza un superplastificant del tipus G, segons la normativa ASTM C494 [13], on s'especifica que

aquest material té un alt efecte com agent reductor d'aigua i a més serveix per retardar el procediment d'enduriment.

## **5 CONGLOMERATS**

### **5.1 Dosificacions**

En els diferents articles s'han realitzat combinacions de dosificacions molt variades, en algun d'ells opten per substituir part del ciment per altres agregats com les cendres volants, escòries d'alt forn, argiles, i calç. Es podria dir que aquestes substitucions, s'utilitzen per reduir els ambients alcalins dels morters en base de ciment i donar durabilitat a les fibres naturals dintre dels conglomerats.

Tal com hem esmentat a l'apartat **4.4 Additius**, també s'incorporen agents reductors per afavorir el repartiment de fibres en la massa.

Es genera una taula, on es determinen les proporcions dels diferents materials que componen el conglomerat final, segons els articles científics analitzats:

Tipologia de fibra	Referència	Ciment (g)	Relació de cendres volants/ciment	Cendres Volants (g)	Fum de Sílice (g)	Agregats (g)	Àrid (g)	Aigua (g)	Relació aigua/ciment	Contingut de fibra (%)	Agent Reductor (g)
Bagàs	[2]	487,78	1,6	-	-	-	439	329	0,68	3	6,34
		462,50	1,6	-	-	-	416,25	312,65	0,68	8	6,01
		442,30	1,6	-	-	-	398	299	0,68	12	5,74
		560,89	1,2	-	-	-	504,8	320,83	0,57	3	7,29
		431,54	2,0	-	-	-	388,38	336,6	0,78	3	5,61
	[6]	150	-	-	-	-	-	450	0,3	2	-
		150	-	-	-	-	-	450	0,3	4	-
		142,50	-	-	7,5	-	-	450	0,3	4	-
	Cànem	[10]	440	-	-	-	-	1350	225	0,50	10
Coco	[3]	494	0,70	347	-	-	1031	294	0,35	1	0,38
		496	0,69	341	-	-	999	293	0,35	2,5	2,90
		499	0,68	337	-	-	967	292	0,35	4	3,91
		547	0,65	358	-	-	999	272	0,30	2,5	4,1

Tipologia de fibra	Referència	Ciment (g)	Relació de cendres volants/ciment	Cendres Volants (g)	Fum de Sílice (g)	Agregats (g)	Àrid (g)	Aigua (g)	Relació aigua/ciment	Contingut de fibra (%)	Agent Reductor (g)
		415	0,76	314	-	-	999	329	0,45	2,5	0,4
	[8]	500	-	-	-	500	1000	250	0,5	5	0,25
		500	-	-	-	500	1000	250	0,5	10	0,25
		500	-	-	-	500	1000	250	0,5	15	0,25
Eucaliptus	[6]	150	-	-	-	-	-	450	0,3	2	-
		150	-	-	-	-	-	450	0,3	4	-
		142,50	-	-	7,5	-	-	450	0,3	4	-
Jute	[4]	900	-	-	100	-	2000	400	0,4	2	-
		900	-	-	100	-	2000	400	0,4	4	-
		900	-	-	100	-	2000	400	0,4	6	-
		900	-	-	100	-	2500	400	0,4	8	-

Tipologia de fibra	Referència	Ciment (g)	Relació de cendres volants/ciment	Cendres Volants (g)	Fum de Sílice (g)	Agregats (g)	Àrid (g)	Aigua (g)	Relació aigua/ciment	Contingut de fibra (%)	Agent Reductor (g)	
	[11]	-	-	-	-	-	-	-	Morter normal = 1 Morter lleuger = 0,6	-	-	
		-	-	-	-	-	-	-	Morter normal = 2 Morter lleuger = 0,6	-	-	
		-	-	-	-	-	-	-	Morter normal = 0,5 Morter lleuger = 0,6	-	-	
Palla de blat	[6]	150	-	-	-	-	-	450	0,3	2	-	
		150	-	-	-	-	-	-	450	0,3	4	-
		142,50	-	-	7,5	-	-	-	450	0,3	4	-

Tipologia de fibra	Referència	Ciment (g)	Relació de cendres volants/ciment	Cendres Volants (g)	Fum de Sílice (g)	Agregats (g)	Àrid (g)	Aigua (g)	Relació aigua/ciment	Contingut de fibra (%)	Agent Reductor (g)
Palmera de dátil	[7]	-	-	-	-	-	-	-	0,6	21 27 31 35 48 51	-
	[9]	31	-	-	-	-	-	-	-	94,75	-
		34	-	-	-	-	-	-	-	90,66	-
		23	-	-	-	-	-	-	-	94,30	-
		93	-	-	-	-	-	-	-	84,32	-
Palmera d'oli	[1]	2250	0,1	-	-	-	7500	1212,50	0,485	0	-
		2250	0,1	-	-	-	7500	1212,50	0,485	0,5	-
		2250	0,1	-	-	-	7500	1212,50	0,485	1	-
		2250	0,1	-	-	-	7500	1212,50	0,485	1,5	-
	[8]	500	-	-	-	500	1000	250	0,25	5	10

Tipologia de fibra	Referència	Ciment (g)	Relació de cendres volants/ciment	Cendres Volants (g)	Fum de Sílice (g)	Agregats (g)	Àrid (g)	Aigua (g)	Relació aigua/ciment	Contingut de fibra (%)	Agent Reductor (g)
		500	-	-	-	500	1000	250	0,25	10	10
		500	-	-	-	500	1000	250	0,25	15	10
Sisal <sup>1</sup>	[5]	500	-	-	-	500	1000	400	0,4	10	440

Taula 1.- Dosificacions de les provetes analitzades de cada un dels articles científics.

<sup>1</sup> En aquest article, els autors especifiquen els materials emprats en format percentual, així que es realitza una conversió a base de 1000 g.

A continuació, s'esmenta el procediment que han seguit els autors per elaborar les provetes que seran assajades posteriorment per tal de determinar les propietats mecàniques de cada una:

- L'article [1] «Thermal and mechanical performance of oil palm fiber reinforced mortar utilizing palm oil fly ash as a complementary binder»:
  1. Les cendres volants es van deixar assecar a una temperatura de 110°C, i llavors es van tamisar per aconseguir la millor finor del material.
  2. Es van barrejar els components secs com el ciment, les cendres volants, els àrids, i les fibres naturals segons el volum desitjat; i posteriorment es va incorporar l'aigua gradualment juntament amb l'agent reductor.
  3. La massa obtinguda es va abocar en una safata, i manualment, es va barrejar per tal de distribuir uniformement la fibra en el material.
  4. Finalment es va afegir la barreja en els motlles.
  
- L'article [2] «Mechanical behaviours of green hybrid fibre-reinforced cementitious composites»:
  1. Es van barrejar tots els components sòlids com el ciment, la sorra i les cendres volants.
  2. Les fibres naturals es van submergir en aigua durant 5 minuts, abans de ser abocades en la massa obtinguda anteriorment. Els autors esmenten que aquest procediment, servirà per dispersar de manera uniforme les fibres dintre del compost.
  3. S'introdueix a la massa el 50% de les fibres humides, juntament amb l'agent reductor, i es varen barrejar tots els components fins a absorbir tota l'aigua afegida.
  4. S'introdueix a la massa el 50% de fibres sobrants, la resta de l'aigua, i es barreja fins a obtenir una massa consistent.
  5. S'introdueix el 5% de fibres d'acer, i es barreja durant 10 minuts més.
  6. La barreja obtinguda s'aboca en els motlles, i es vibra durant 3 minuts.
  7. Després de 24 hores, les provetes es desemmotllen i es col·loquen dintre d'una cambra de curat a una temperatura de 23°C i amb una humitat relativa del 100%.



- L'article [3] «Effects of short coconut fiber on the mechanical properties, plastic cracking behavior, and impact resistance of cementitious composites»:
  1. Es va barrejar durant 1 minut tots els components secs com el ciment, les cendres volants i l'escòria d'alt forn.
  2. Es va introduir a la massa, una tercera part de l'aigua i l'agent reductor, barrejant-ho tot fins a obtenir una massa viscosa.
  3. Es va afegir la sorra triturada juntament amb una altra part d'aigua i agent reductor, i es va barrejar tot fins obtenir una consistència plàstica.
  4. S'incorporen les fibres naturals de coco de forma a l'atzar, i es barreja tota la massa durant 1 minut.
  5. Finalment es va afegir l'aigua i l'agent reductor restant, i es va tornar a barrejar durant 4 minuts més.
  
- L'article [4] «Deflection hardening behaviour of jute strands reinforced lightweight cementitious composite»:
  1. Primer de tot es van col·locar una sèrie de fixacions en els extrems del motllo, que tenen la funció d'orientar les fibres naturals de jute.
  2. Els filaments de jute s'alineen uniformement entre aquestes fixacions, fins a formar 16 filaments amb una separació d'aproximadament 9,3 mm.
  3. La massa obtinguda dels components secs i humits, s'aboca en els motlles i es vibra sobre una taula vibratòria.
  4. Finalment, les mostres van ser protegides amb una arpillera humida durant 48 hores, i tot seguit es van deixar curar en un tanc d'aigua durant 26 dies.
  
- L'article [5] «Experimental and numerical research on the potentialities of layered reinforcement configuration of continuous sisal fibers for thin mortar panels»:
  1. Es va barrejar durant 30 segons el 50% del ciment, amb el 30% de metacaolí i el 20% de blocs d'argila triturada.
  2. A la massa obtinguda anteriorment es barreja durant 30 segons, afegint la sorra i un 5% de les fibres de sisal.
  3. En aquest punt s'incorpora l'aigua i l'agent reductor, i es barreja tot durant 3 minuts.
  4. La barreja s'aboca en els motlles, creant una primera capa.
  5. Tot seguit es col·loquen 5 capes de fibres naturals, alineades unidireccionalment.

6. Es torna a repetir el procediment, abocant l'última capa de morter, i llavors es vibren totes les mostres.
  7. Finalment, aquestes mostres en forma de panell es comprimeixen durant 5 minuts, i es deixen curar durant 24 hores.
  8. Després es van desemmotllar, i es van deixar curar en una cambra a una temperatura de 23°C i amb una humitat relativa del 100%, durant 28 dies.
- L'article [6] «Comparing flexural behaviour of fibre-cement composites reinforced bagasse: Wheat and eucalyptus»:
1. Es va barrejar el ciment i l'aigua per crear una base de pasta de ciment. En una de les provetes, es va substituir un 5% del ciment per fum de sílice.
  2. Primer de tot, es van desembolicar les fibres naturals per tal d'afavorir la dispersió d'elles un cop col·locades en el ciment.
  3. Aquestes fibres s'introdueixen dintre de la massa, i es barregen tots els components durant 5 minuts.
  4. La massa obtinguda s'aboca en els motlles, i tot seguit es procedeix a succionar-los amb una bomba al buit per tal d'obtenir la relació d'aigua/ciment adequada.
  5. Les provetes es desemmotllen i es deixen durant 1 hora a temperatura ambient.
  6. Després d'aquest temps, les mostres es van col·locar dintre d'una cambra de curat a una temperatura de 21°C i amb una humitat relativa del 95%.
- L'article [7] «Thermomechanical characterization of a bio-composite building material: Mortar reinforced with date palm fibers mesh»:
1. Es barreja durant 3 minuts el ciment i la sorra.
  2. Les fibres naturals es submergeixen en aigua, i posteriorment s'incorporen a la massa on es barreja tot el conjunt durant 3 minuts més.
  3. S'incorpora l'aigua gradualment i es barreja durant 5 minuts.
  4. La massa obtinguda, s'aboca en els motllos i es deixen a temperatura ambient durant 24 hores.
  5. Finalment, les provetes es submergeixen en aigua durant 28 dies i a en una temperatura de 20°C.

- L'article [9] «On thermal characteristics and microstructure of a new insulation material extracted from date palm trees surface fibers»:

1. Es van barrejar les diferents concentracions de midó de blat de moro, amb les fibres de palmera de dàtil.
2. Les mostres van ser premsades en un marc de 30 x 30 cm, i finalment es van deixar assecar en un forn a 100°C durant 72 hores, per eliminar aquella aigua sobrant.

- L'article [10] «The use of wool as fiber-reinforcement in cement-based mortar»:

1. Les provetes es van desemmotllar un dia després de crear-les i es van emmagatzemar en una cambra de curat a una temperatura de 20°C i amb una humitat relativa del 90%.

- L'article [11] «Development of sandwich composites for building construction with locally available materials»:

En aquest article, els autors creen provetes en forma de panell sandvitx. Aquestes provetes estan conformades per tres capes. Les cares externes són a base de morter reforçades amb malles metàl·liques i malles de fibres naturals provinents del jute, i la capa interior formada per formigó cel·lular.

Així que ens determinen la realització de les dos capes exteriors, i les realitzen de la següent manera:

1. S'aboca una capa de morter de 2 mm de gruix en els motlles.
2. Tot seguit, es col·loca la malla metàl·lica i les malles de fibres "Jute 1" i "Jute 2". I es torna a realitzar una altra capa de morter sobre d'aquestes malles.
3. Les provetes les mantenen humides durant 24 hores, i llavors les desemmotllen per deixar-les curar en aigua saturada de cal durant 3 dies.
4. Finalment, les mostres les col·loquen en una cambra a temperatura ambient i amb una humitat relativa del 50%, durant 10 dies.

S'observa poca informació de la metodologia escollida pels autors alhora d'elaborar i planificar el procediment per crear les diferents provetes, això ens podria indicar que es basen en normatives especificades en estudis previs. En general, es podria mencionar que tots segueixen una certa concordança en barrejar primer els components secs com el ciment, cendres volants, fum de sílice, materials argilosos i la sorra; i tot seguit incorporen

les fibres amb l'aigua i l'agent reductor. Cal esmentar que els autors de l'article [8] no fan referència d'aquest procediment en el seu estudi, ja que es centren més en analitzar les propietats mecàniques del conjunt. En canvi en els articles [2], [5], [6], [10] i [11] detallen tot el procés realitzat fins a la curació de les diferents mostres on finalment les col·loquen dintre de cambres amb una temperatura entre els 20°C i 23°C i amb una humitat relativa entre el 50% i el 100%. Cal destacar que els articles [4] i [7] les provetes les deixen curar submergint-les en aigua entre 26 i 28 dies abans de ser assajades mecànicament. Els autors dels articles [4] i [5] incorporen les fibres naturals distribuint-les uniformement continuant la longitud de la proveta. L'article [4] ho aconsegueix utilitzant unes fixacions als extrems dels motlles, i d'aquesta manera permet afilar les fibres i tenir-les separades entre elles; en canvi l'article [5] realitza unes malles a base de fibres naturals, teixint-les entre elles, i les incorpora en forma de capa dintre de la proveta. Finalment es destaca l'article [6] on els autors regulen la relació d'aigua i ciment un cop la proveta està realitzada, i utilitzen el mètode de succió amb una bomba al buit; en canvi la resta dels autors, calculen aquesta proporció abans d'elaborar el conglomerat.

## **5.2 Propietats físiques i mecàniques dels conglomerats**

Les propietats físiques i mecàniques dels conglomerats que s'han analitzat en els articles, corresponen a la compressió, flexió, tracció, mòdul elàstic, conductivitat tèrmica i l'absorció d'aigua. Creiem que aquests resultats podrien ser rellevants per determinar la incidència de les fibres naturals en les pastes de ciment. En general la comparació entre tots els articles científics analitzats, s'han utilitzat els valors obtinguts de les mostres a 28 dies.

### **5.2.1 Resistència a compressió**

La resistència a compressió és una de les propietats mecàniques que caracteritzen els diferents materials. Aquesta característica és molt estudiada en morters reforçats amb fibres naturals, ja que és un esforç habitual que han de suportar els materials en la construcció, i a la bibliografia es troben molts estudis sobre quina incidència té la càrrega de fibres en la resistència a compressió.

En termes generals, l'assaig utilitzat per tal de determinar la resistència a compressió d'un material consisteix en aplicar dues forces oposades sobre un material des de dos dels seus extrems de tal manera que el material es comprimeix per l'eix on s'apliquen les forces fins a la ruptura d'aquest un cop sobrepassada la seva resistència a compressió.

La resistència a compressió és determinada mitjançant la següent expressió:

$$R_c = \frac{F}{A} \quad (Eq. 2)$$

on  $R_c$  és la resistència a compressió en MPa

$F$  és la càrrega màxima de ruptura en Newtons

$A$  és l'àrea de la proveta mm<sup>2</sup>

Els assajos de compressió consisteixen en generar una proveta amb dimensions estandarditzades segons la normativa aplicable. Les normes que apareixen en els diferents articles que s'han analitzat en el present treball de recerca bibliogràfica han estat els següents:

- **ASTM C109** [14]:

S'utilitza per a determinar la resistència a compressió de les provetes cúbiques de formigó.

- **ASTM C39** [15]:

S'utilitza per a determinar la resistència a compressió de les provetes cilíndriques de formigó.

Les normes esmentades anteriorment defineixen l'abast i la metodologia a emprar per tal de determinar de forma controlada i reproduïble les propietats mecàniques d'interès (en aquest cas de compressió) i garanteixen que els resultats obtinguts per mitjà d'aquests mètodes predeterminats puguin ser comparables amb d'altres obtinguts de la mateixa forma.

Tot i això entre els articles analitzats, hi ha certa variabilitat en les dimensions de les provetes utilitzades per executar els assajos. Això deriva a que els resultats no poden ésser comparats. Per poder estandarditzar els resultats d'aquestes dades procedim a aplicar un coeficient de conversió per regularitzar les lectures, que es troba en la normativa **REAL DECRETO 2661/1998 «Instrucción de Hormigón Estructural (ECH)»**. Aquests coeficients serveixen per convertir els valors d'una geometria concreta de mostra, a una proveta cilíndrica de 300 mm d'altura i 150 mm de diàmetre.

Es genera una taula on s'esmenten els diferents factors de conversió que s'han aplicat segons les dimensions de les provetes realitzades pels autors:

<b>Tipologia de la proveta</b>	<b>Dimensions de la proveta</b>	<b>Coefficient de conversió</b>	<b>Referència (bibliografia)</b>
Cub	100 x 100 x 100 mm	0,80	[1]
Cub	50 x 50 x 50 mm	0,80	[2]
Cub	50 x 50 x 50 mm	0,80	[3]
Cub	50 x 50 x 50 mm	0,80	[4]
Cilíndrica	50 x 100 mm	0,97	[5]
Cub	40 x 40 x 40 mm	0,80	[7]
Cub	50 x 50 x 50 mm	0,80	[8]

*Taula 2.- Dimensions de les provetes realitzades en els diferents articles científics.*

A partir d'aquí, es procedirà a realitzar gràfiques generals i específiques per a veure la influència que pugui tenir la relació d'aigua i ciment respecte a la resistència a compressió, i de la mateixa manera amb el contingut de fibres aplicades en cada un dels conglomerats. D'aquesta manera podem visualitzar l'impacte que tenen cada una d'aquestes variacions, i analitzar els resultats atípics per entendre detingudament aquestes anomalies.

Resistència a compressió respecte la relació d'aigua/ciment

Primerament es genera una gràfica, on es relaciona el contingut d'aigua amb la resistència a compressió de les provetes blanques, per tal de determinar quin impacte té el contingut d'aigua respecte el conglomerat.

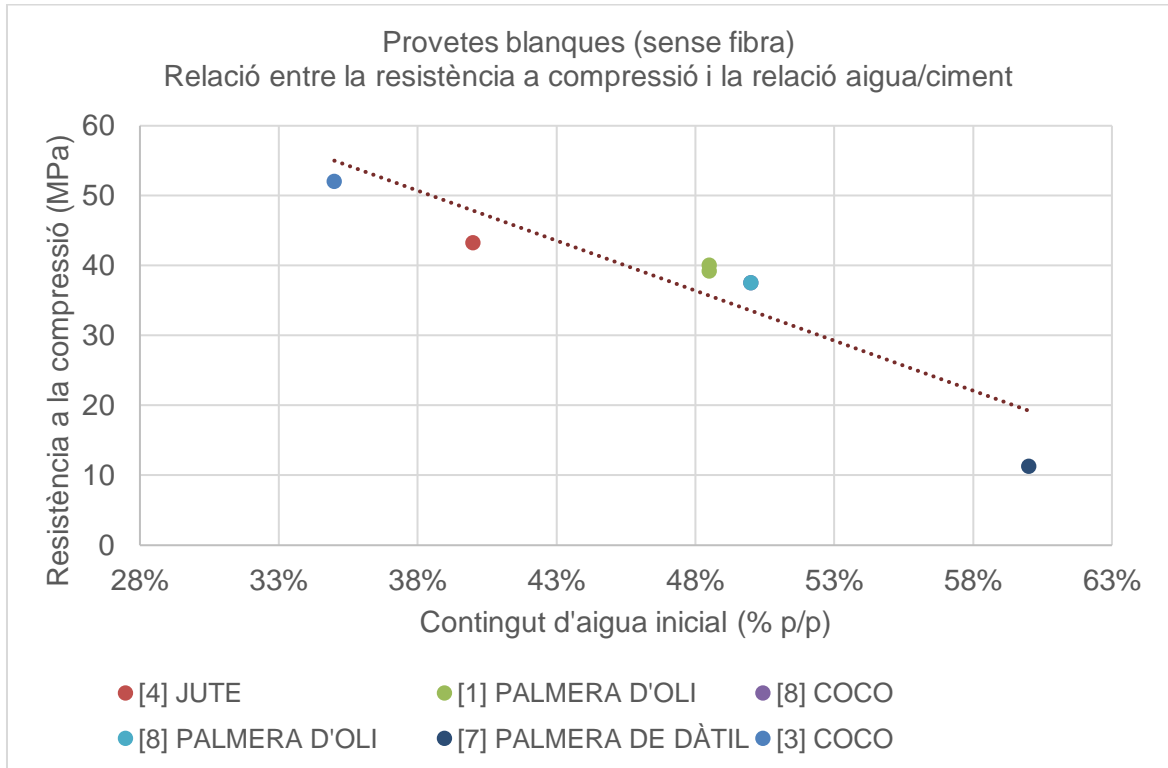


Figura 10.- Relació entre la resistència a compressió en provetes blanques, respecte la relació d'aigua i ciment.

A partir de la gràfica obtinguda de les provetes blanques, es podria determinar que la resistència a compressió de les mostres es veu afectada respecte la quantitat d'aigua afegida a la massa. Per tant, quan més alta és la relació d'aigua/ciment, més perjudicada és veu la resistència a compressió. Dintre dels articles que analitzen aquesta resistència, s'esmenta l'article [7] com l'únic que utilitza un tipus conglomerant de Ciment Portland Tipus II amb una resistència de 32,5 MPa. Tot i utilitzar un ciment amb millors prestacions mecàniques, semblaria que segueix la mateixa tendència a la resta. Per tant es podria plantejar que l'augment d'aigua en la mostra, li perjudica les seves prestacions mecàniques.

Procedim a analitzar les dades obtingudes de cada una de les provetes sotmeses a l'assaig a compressió, amb diferents incorporacions d'aigua respecte el ciment.

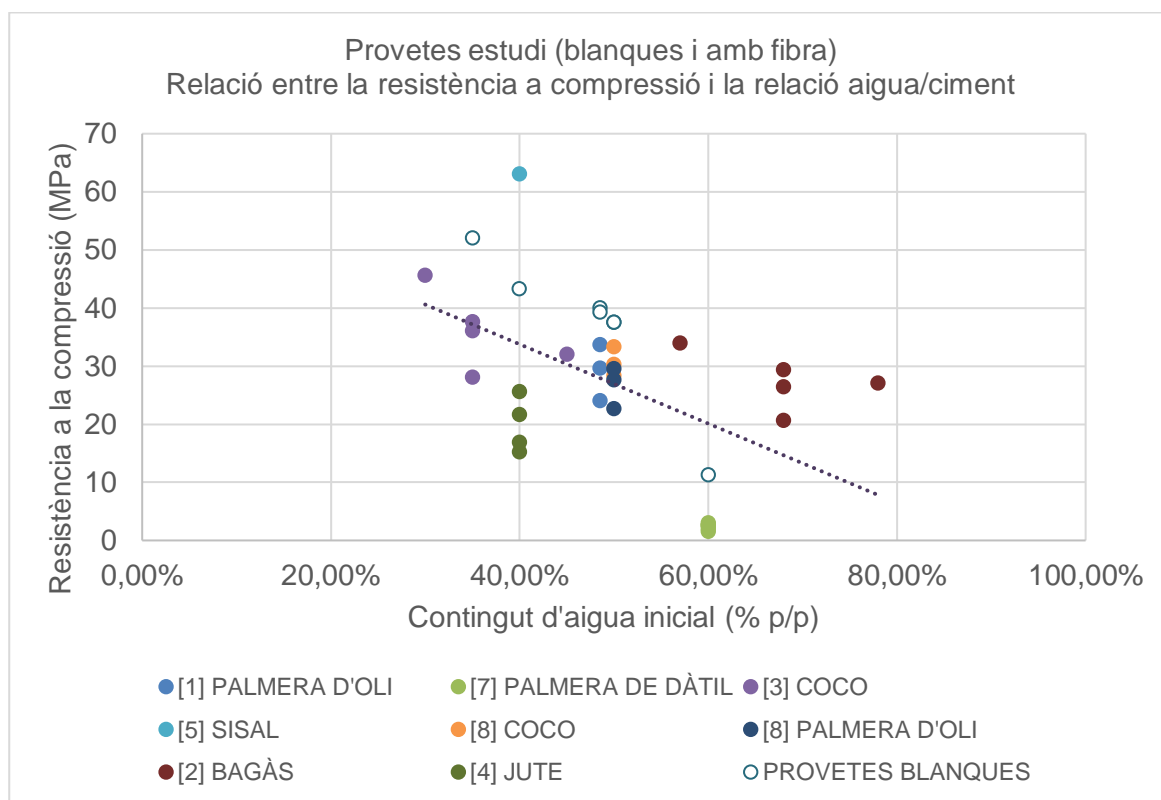


Figura 11.- Relació entre la resistència a compressió respecte la relació d'aigua i ciment.

En aquest cas, es comença a veure alguna dada atípica com és l'article [3], [5] i [7], ja que en la resta es podria observar la tendència a la baixa que hem esmentat en la Figura 10. Els autors de l'article [3] substitueixen parcialment el contingut de ciment per a cendres volants i escòries d'alt forn amb un total entre el 65% i el 76%. D'aquesta manera, la variació de resultats en aquest article podrien esser influenciats per aquests components afegits. Per altra banda, en l'article [5] els autors també substitueixen part del ciment amb components argilosos com són el metacaolí i blocs triturats amb un contingut del 50% del total. Cal esmentar que tot i haver substituït la meitat del ciment, s'obtenen valors prou favorables en comparació amb l'article [4] on s'utilitza el mateix contingut d'aigua respecte el ciment. A l'article [7] s'obtenen uns resultats molt diferenciats amb la resta. Els autors no mencionen la dosificació concreta de les provetes, només esmenten les relacions d'aigua/ciment i el contingut de fibres aplicades. Així que l'únic que podríem indicar per part d'aquest article és que el gran contingut de fibres utilitzades perjudiqui en la seva resistència mecànica.

Un cop analitzat l'impacte que ocasiona la variació d'aigua respecte al ciment, es procedirà a comparar els resultats de la resistència a compressió en relació el contingut de fibres aplicades dintre de la massa.



Resistència a compressió respecte el contingut de fibres utilitzat

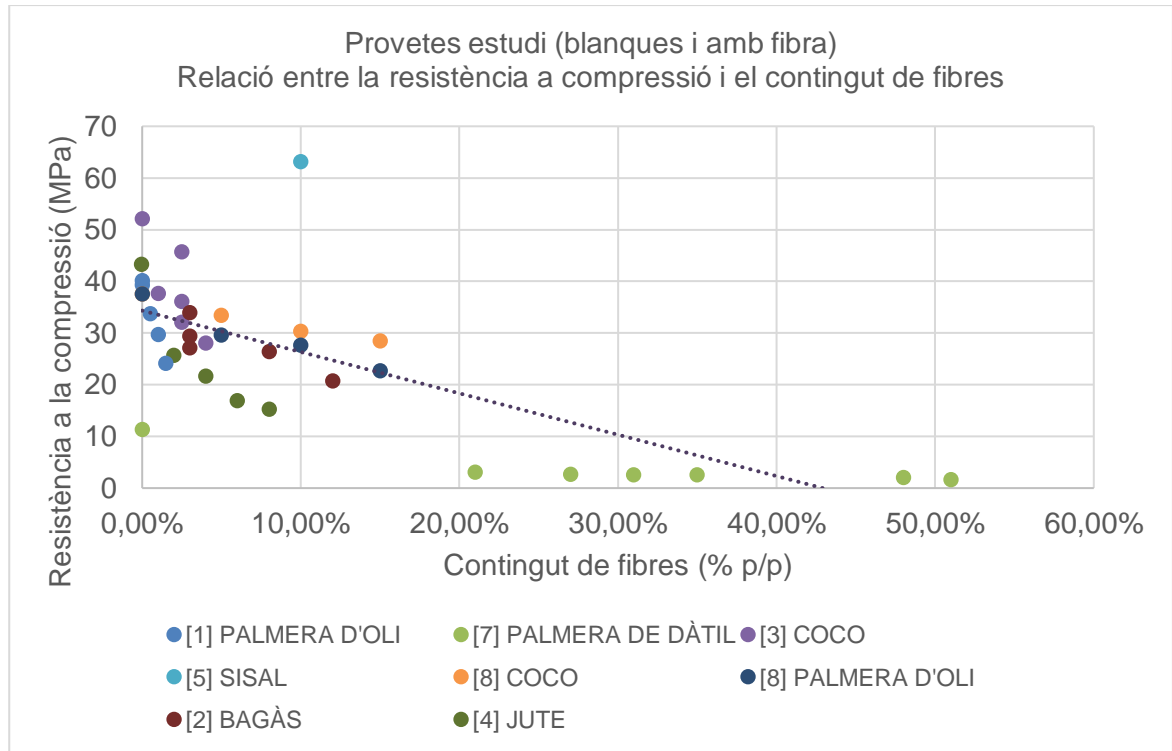


Figura 12.- Relació entre la resistència a compressió respecte el contingut de fibres naturals.

En termes generals, es podria esmentar que les dades obtingudes en els articles científics, tendeixen a disminuir la seva resistència a compressió quan s'afegeixen fibres naturals a la mostra. Com a dades destacables es mencionen els articles [2], [5] i [7]. En el cas de l'article [2], es realitza una gràfica individual per visualitzar la diferència contrastada de les dades.

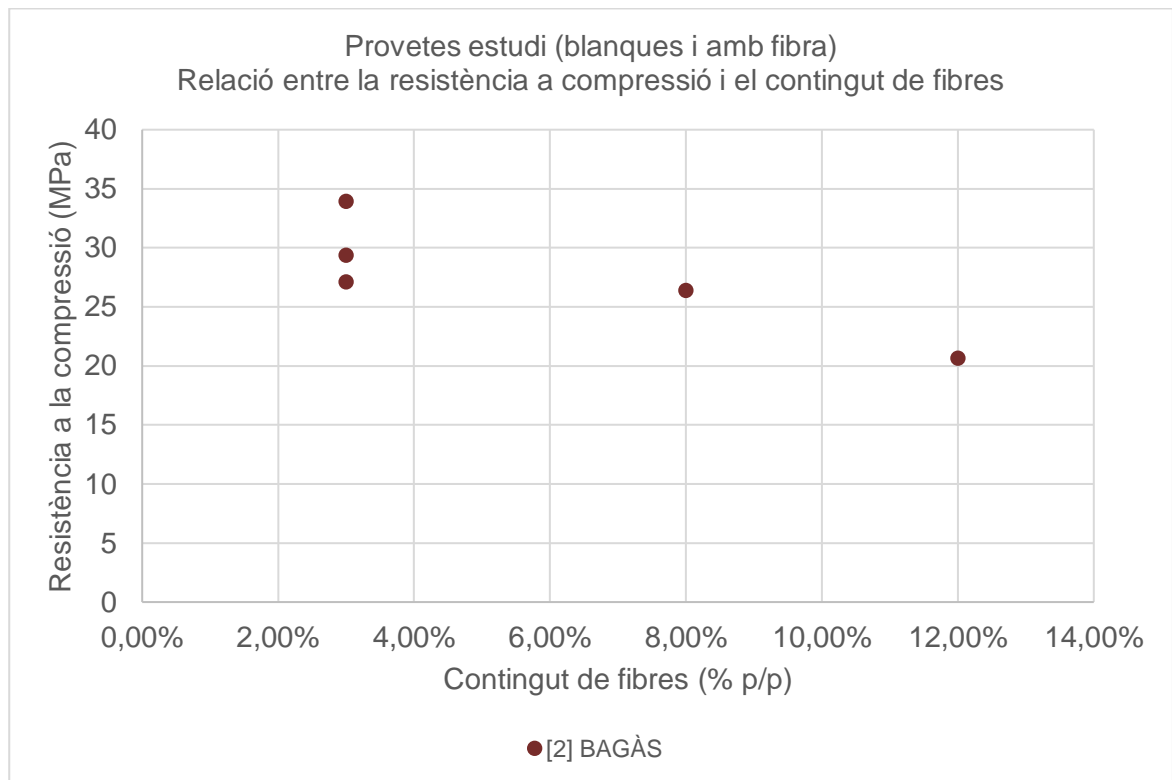


Figura 13.- Relació entre la resistència a compressió respecte el contingut de fibres naturals de bagàs.

S'observa que hi ha una tendència de la resistència a compressió on disminueix a mesura que s'incorpora les fibres de bagàs. Tot i això cal esmentar que aquest article utilitza cendres volants per substituir el ciment. Aquestes cendres volants són aplicades amb uns percentatges de l'1,2%, 1,6% i 2% en les provetes realitzades amb un contingut de fibres del 2,5%. La mostra amb un contingut de cendres volants del 2% ens dona un resultat total de 27,06 MPa, el qual s'aproxima molt a la mostra on conté un 8% de fibres i un 1,6% de cendres volants obtenint un resultat final del 26,37 MPa. Així que la diferència entre aquestes dos mostres esmentades, està en un 0,4% de cendres volants, i un 5,5% de fibres naturals. Això ens podria indicar que les cendres volants tenen una certa incidència en la resistència a compressió, ja que amb continguts majors de fibres obtindríem uns valors similars.

L'article [5] es torna a destacar respecte a les dades obtingudes en la resta, ja que els seus valors són molt superiors. Tal i com s'ha esmentat en l'apartat anterior, el ciment d'aquesta proveta està substituït per elements argilosos, i a més s'utilitza un conglomerant de Ciment Portland Tipus II afegint un additiu calcari. Per tant es podria interpretar, que el percentatge de fibres no és el material que té més incidència alhora d'analitzar aquesta propietat, sinó

que són els altres components que tenen un impacte més rellevant en els resultats. En el cas de l'article [7], tot i no tenir dades contrastables, es pot observar que aplicant diferents percentatges de fibres entre el 21% i el 51%, s'obtenen valors molt equitatius entre les diferents provetes. La diferència entre la proveta amb un contingut de fibres amb un 21% respecte a la proveta amb un contingut de fibres amb un 51%, és d'un 1,5 MPa.

### **5.2.2 Resistència a la flexió**

La resistència a flexió és una de les altres propietats mecàniques que serveixen per caracteritzar els diferents materials. Aquesta propietat es defineix com la deformació que pateix la proveta quan se li apliquen uns esforços en el tram longitudinal de l'element fins a la ruptura d'aquest un cop sobrepassada la seva resistència a flexió.

En general s'utilitzen dues metodologies diferents per a calcular la resistència a flexió, on es determinen per els punts de càrrega aplicables en la mostra. Així que cada una d'elles estan normalitzades segons la normativa aplicable, i es calculen de les següents maneres:

La resistència a flexió a tres punts es determina mitjançant la següent expressió:

$$R_f = \frac{3 F L}{2 b d^2} \quad (Eq. 3)$$

on **R<sub>f</sub>** és la resistència a flexió en MPa

**F** és la càrrega màxima de ruptura en Newtons

**L** és la longitud entre els suports inferiors en mm

**b** és la base de la proveta en mm

**d** és l'altura de la proveta en mm

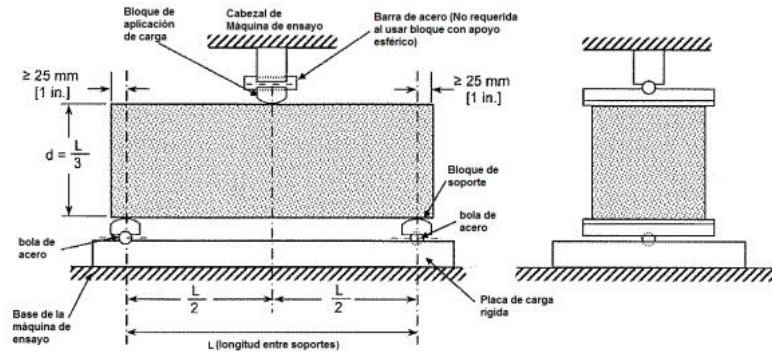


Figura 14.- Dimensionat de distàncies dels tres punts de càrrega (Norma Técnica Guatemalteca – NTG 41017 h8).

La resistència a flexió a quatre punts es determina mitjançant la següent expressió:

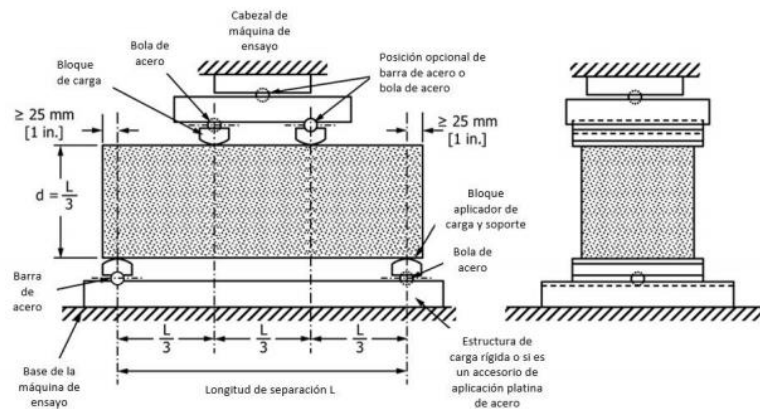


Figura 15.- Dimensionat de distàncies dels quatre punts de càrrega (Norma Técnica Guatemalteca – NTG 41017 h2).

$$R_f = \frac{F L}{b d^2} \quad (Eq. 4)$$

on  $R_f$  és la resistència a flexió en MPa

$F$  és la càrrega màxima de ruptura en Newtons

$L$  és la longitud entre els suports inferiors en mm

$b$  és la base de la proveta en mm

$d$  és l'altura de la proveta en mm

Les normes que apareixen en els diferents articles que s'han analitzat en el present treball de recerca bibliogràfica han estat els següents:

- **ASTM C1185 [16]:**

Aquest test defineix quines són les diferents proves estandarditzades, en concret per a plaques de ciment, utilitzades com a teules per a cobertes i revestiments de façanes.

- **ASTM C1186:**

Aquesta normativa s'aplica a làmines de morter reforçat amb fibres, especialment enfocada per elements de revestiments.

- **BS EN 12467:**

Aquesta normativa detalla els mètodes d'inspecció i proves a realitzar en làmines planes a base de pastes de ciment reforçades amb fibres, especialment enfocades per elements exteriors com les teules, revestiments, i falsos sostres.

- **ASTM C348:**

Aquest test defineix la prova a flexió per en morters de ciment hidràulic.

- **ASTM C78 [17]:**

Aquest test defineix la prova a flexió a tres punts a provetes de formigó.

A continuació s'esmenten les dimensions utilitzades de les provetes per esser assajades en la resistència a flexió:

Tipologia de la proveta	Dimensions de la proveta	Referència
Prisma	160 x 40 x 40 mm	[1]
Prisma	200 x 150 x 1,2 mm	[3]
Prisma	600 x 150 x 25 mm	[4]
Prisma	400 x 50 x 12 mm	[5]

<b>Tipologia de la proveta</b>	<b>Dimensions de la proveta</b>	<b>Referència</b>
Prisma	180 x 80 x 8 mm	[6] Bagàs, Eucaliptus i Palla
Prisma	160 x 40 x 40 mm	[7]
Prisma	150 x 300 x 5 mm	[8] Coco i Palmera d'Oli
Prisma	145 x 35 x 25 mm	[9]
Prisma	160 x 40 x 40 mm	[10]
Prisma	285 x 110 x 120 mm	[11]

*Taula 3.- Dimensions de les provetes realitzades en els diferents articles científics.*

A partir d'aquí, es procedirà a realitzar gràfiques generals i específiques per a veure la influència que pugui tenir la relació d'aigua i ciment respecte a la resistència de flexió, i de la mateixa manera amb el contingut de fibres aplicades en cada un dels conglomerats. D'aquesta manera podem visualitzar l'impacte que tenen cada una d'aquestes variacions, i analitzar els resultats atípics per entendre detingudament aquestes anomalies.

### Resistència a la flexió respecte la relació d'aigua/ciment

Tal com s'ha realitzat dintre de l'apartat de Resistència a compressió, es procedeix a realitzar una gràfica on es relaciona el contingut d'aigua amb la resistència a flexió de les provetes blanques, per tal de determinar quin impacte té el contingut d'aigua respecte el conglomerat.

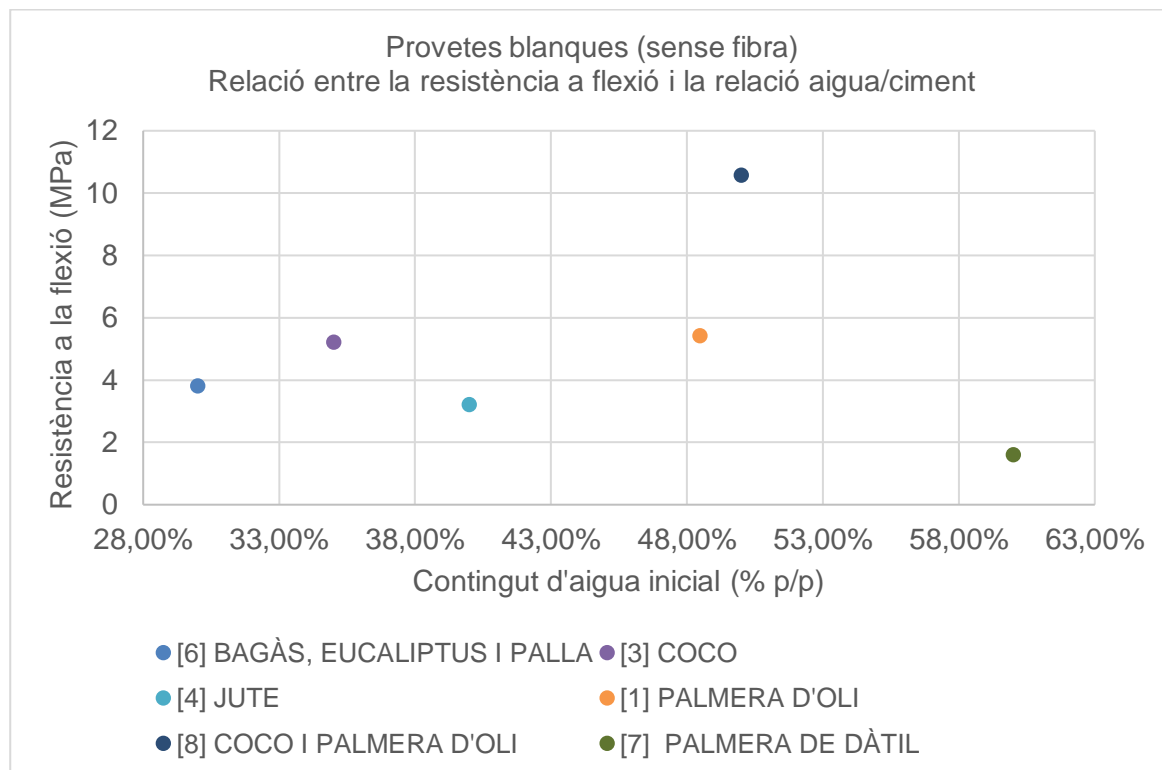


Figura 16.- Relació entre la resistència a flexió en provetes blanques, respecte la relació d'aigua i ciment.

Al generar aquesta gràfica on s'ensenya les dades extretes en els diferents articles científics, es podria observar una gran dispersió de resultats entre ells. Aquesta diferència ens determina que la relació del contingut d'aigua i ciment no semblaria rellevant alhora de determinar la resistència a flexió. També cal esmentar que els resultats podrien estar afectats per la metodologia escollida pels autors. D'aquesta manera s'observa l'article [6], per l'excés d'aigua incorporada en la mostra fins un pes de 3 vegades per sobre la massa del ciment. Un cop es tenien les provetes realitzades, utilitzaven una bomba el buit per tal de succionar tot l'excés d'aigua fins obtenir una relació d'aigua i ciment de 0,3. Així que podríem dir, que aquests procés no és el més òptim per tal d'obtenir bons resultats en aquest tipus de resistència. Per altra banda, l'article [8] destaca amb valors molt elevats respecte els altres, on els autors introdueixen en la barreja pols de pedra calcària amb el mateix

contingut de ciment. Aquest fet podria significar que la proveta obtingui més ductilitat que la resta de mostres basades únicament amb ciment.

Tot seguit es procedirà a analitzar les dades obtingudes de cada una de les provetes sotmeses a l'assaig a flexió, amb diferents incorporacions d'aigua respecte el ciment.

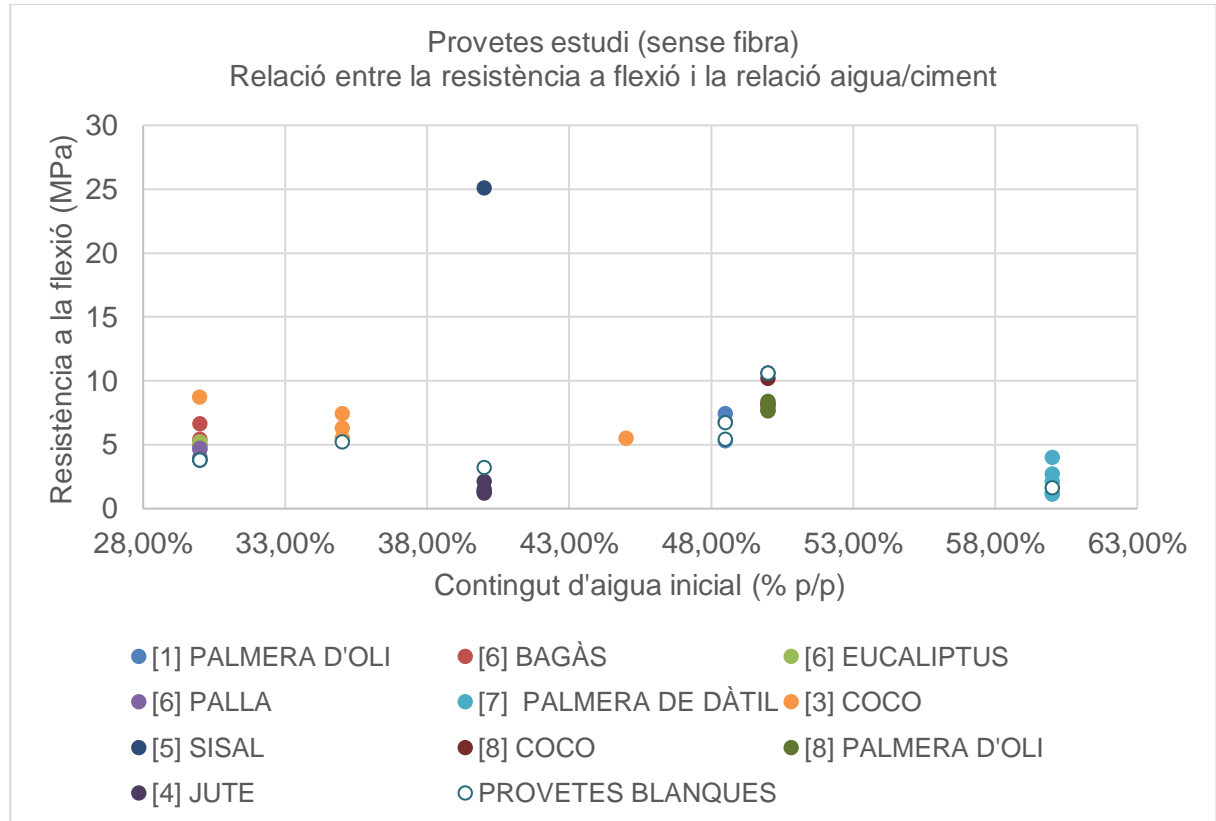


Figura 17.- Relació entre la resistència a flexió respecte la relació d'aigua i ciment.

Tal com s'ha esmentat en l'anterior gràfica on es determinaven els resultats en provetes blanques, s'observa que el contingut d'aigües respecte el ciment no determina una tendència clara en la seva incidència. D'aquesta manera els resultats ens tornen a corroborar que l'aigua no seria un dels materials que podria afectar en la resistència a flexió.

Per aquest motiu es procedeix a analitzar els resultats obtinguts de la resistència a flexió en relació al contingut de fibres aplicades dintre de la massa.



Resistència a la flexió respecte el volum de fibres utilitzat

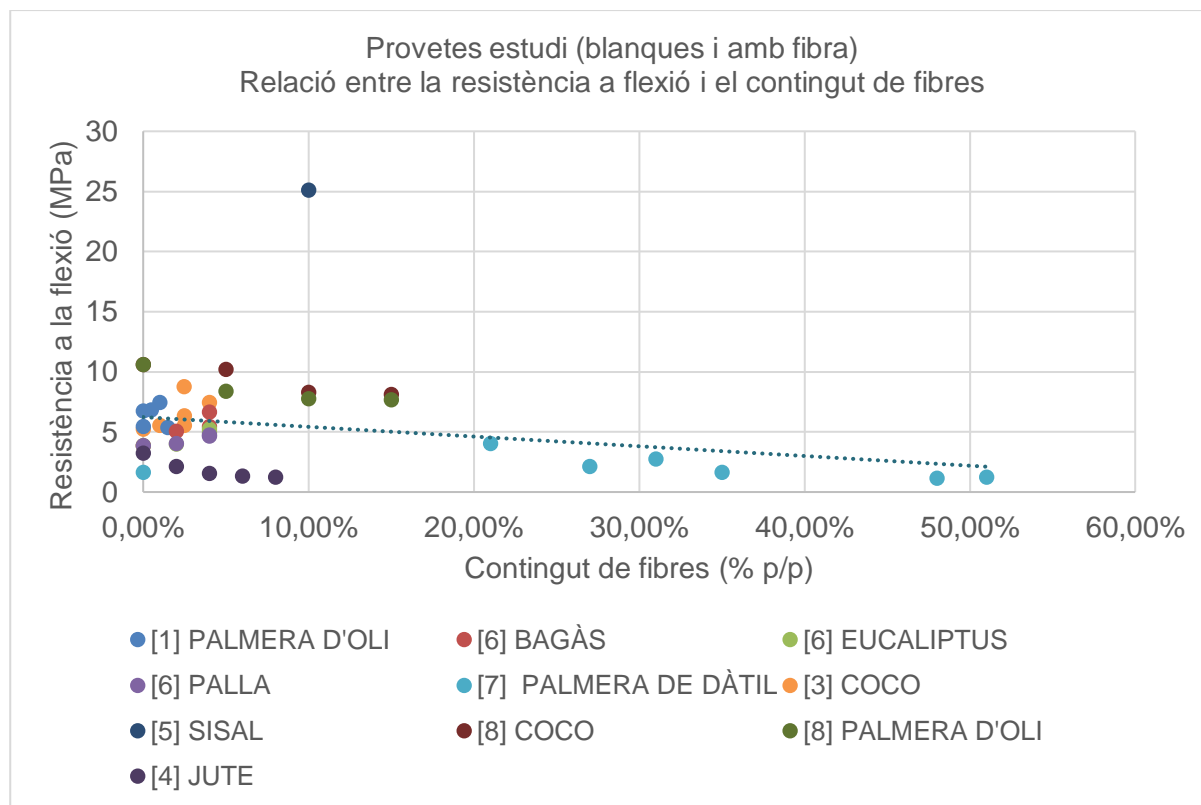


Figura 18.- Relació entre la resistència a flexió respecte el contingut de fibres naturals.

Agrupant tots els resultats dels articles científics, s'observa una tendència en la reducció de la resistència a flexió a mesura que es va afegint fibres naturals dintre de la mostra. Es destaca l'article [4] no per la seva tendència a la baixa sinó pels valors tant similars que han obtingut els autors respecte a l'article [7] on utilitza un 40% més de contingut de fibres en les seves provetes. També cal mencionar l'article [5] pel seu valor atípic respecte els altres. Aquesta diferència podria ésser afectada per la substitució del ciment amb un contingut de components argilosos fins el 50%. Cal esmentar que els articles [4] i [5] els autors segueixen la metodologia d'incorporar les fibres naturals orientades al llarg de la mostra, i en aquest cas resulta curiós que les dades obtingudes siguin molt diferents entre ells tenint només una diferència d'un 2% de contingut de fibres. En el cas de l'article [8] els autors estudien dos tipologies de fibres com és el coco i la palmera d'oli amb una mateixa dosificació. Observant els resultats obtinguts, es podria insinuar que aquestes fibres tenen un comportament molt similar en la resistència a flexió. Per altra banda es genera dos gràfiques interpretant els valors obtinguts en els articles [1], [3] i [6], ja que s'observen tendències atípiques respecte els altres.

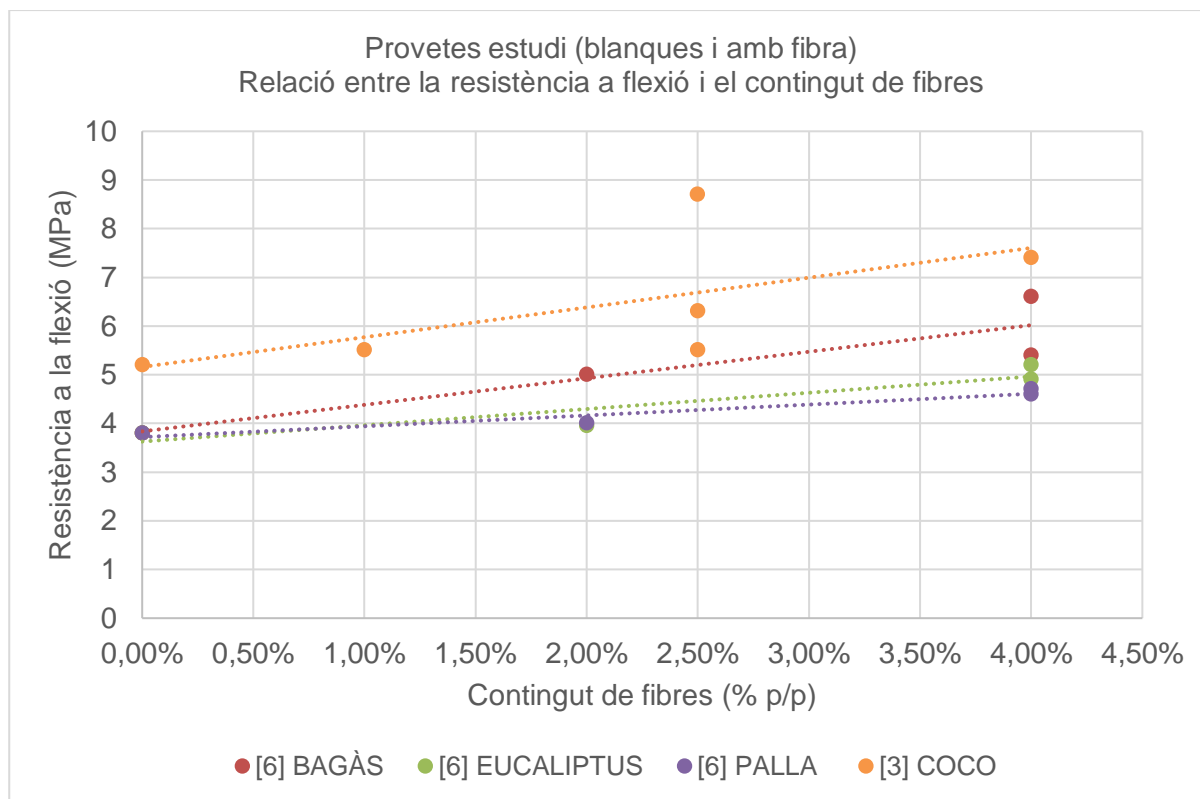


Figura 19.- Relació entre la resistència a flexió respecte el contingut de fibres naturals de bagàs, eucaliptus, palla i coco.

En el cas d'aquests articles s'observa que la tendència dels resultats és inversa a la resta dels autors, on això ens podria indicar que les mostres generades amb un percentatge inferior al 4% donen unes millores mecàniques en la resistència a flexió dels conglomerats. Els autors de l'article [6] configuren tres tipologies de provetes dosificades entre un 2% i un 4% de fibres naturals, on una d'aquestes provetes està substituïda per un 5% de fum de sílice respecte el ciment. Aquest afegit a la massa provoca que la mostra tingui un salt en els resultats, obtenint dades superiors tal com s'observa a la gràfica. Respecte a l'article [3] es podria determinar que els autors volen veure la influència en la substitució del ciment per cendres volants i escòries d'alt forn (entre el 65% i el 76%), en les provetes d'un 2,5% de contingut de fibres naturals. Les mostres generades obtenen valors diferenciats amb un valor mínim del 5,5 MPa, i un valor màxim 8,7 MPa. Per tant, es podria determinar que quan més alta és aquesta substitució del ciment més disminueixen els valors d'aquests resultats.

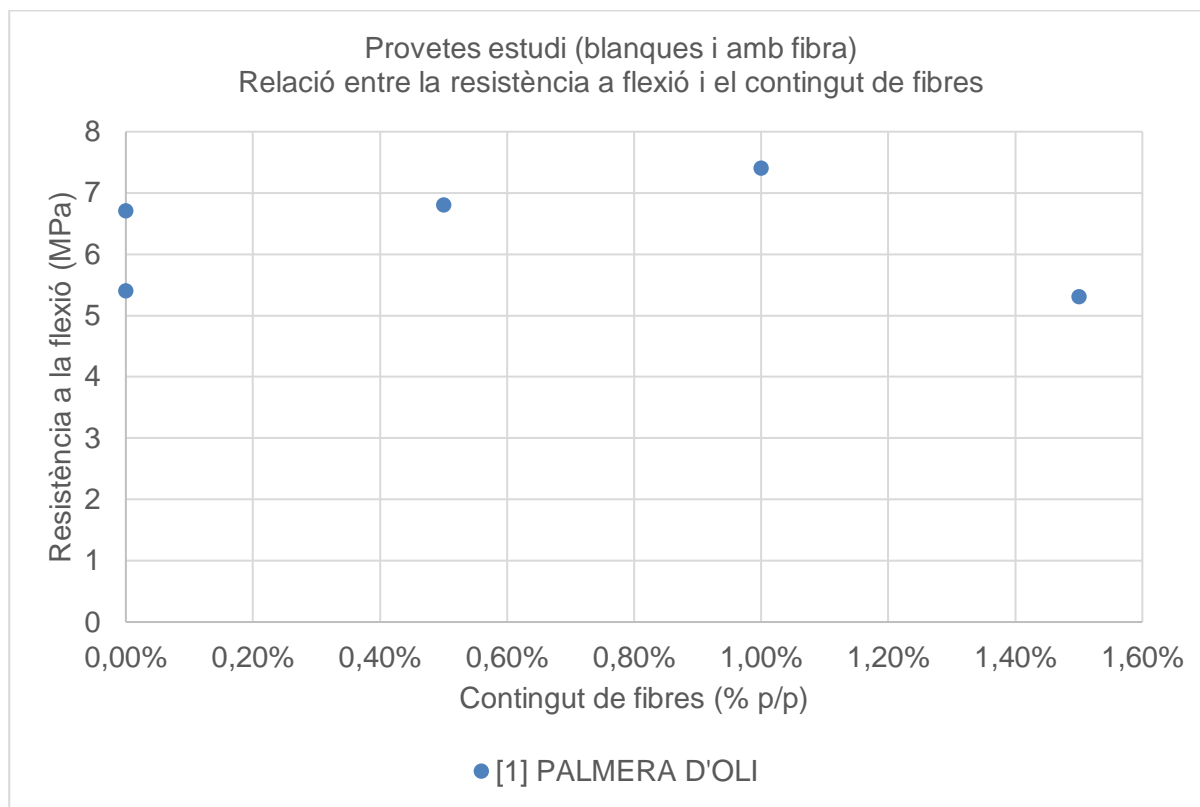


Figura 20.- Relació entre la resistència a flexió respecte el contingut de fibres naturals de palmera d'oli.

S'observa que en l'article [1] el fet d'afegir fibres fins un 1% del contingut, aportaria millores en les propietats de resistència a flexió del conglomerat, i a l'afegir un 1,5% de fibres naturals, tal i com es veu en la gràfica aquesta resistència decauria . Els autors d'aquest article utilitzen cendres volants en la mescla, els resultats de les provetes blanques es veuen perjudicats per aquesta addició de cendres volants. En el cas de la resta de mostres amb fibres naturals també incorporen un percentatge de 10% de cendres volants, per tant no es podria determinar la influència de les fibres en les mostres. "En l'article [1] es menciona que el tractament superficial basat en Hidròxid de Sodi utilitzat en les fibres contribueix de manera efectiva en l'augment de força a flexió."

Cal mencionar que aquesta diferència de resultats, podria esser deguda a la metodologia escollida pels autors, els quals abans d'introduir la massa en els motlles, la barregen manualment per tal de millorar la distribució de les fibres aplicades. Al tractar-se d'un procés manual, podria haver-hi variacions durant aquests pas d'amassat i això podria indicar una disparitat en els resultats obtinguts, explicant així el gradient entre la mostra amb un 1% de fibres i la proveta amb un 1,5%.

### 5.2.3 Resistència a la tracció

La resistència a tracció és una característica generada sobre un element, on dues forces oposades sobre el material des de dos dels seus extrems tendeixen a estirar aquest fins a sobrepassar la seva resistència provocant la ruptura en el material.

Les normes que apareixen en els diferents articles que s'han analitzat en el present treball de recerca bibliogràfica han estat els següents:

- **ASTM C496 [18]:**

Aquest test defineix la proves per determinar la resistència a la tracció en provetes de formigó cilíndriques.

- **ASTM C1273-75:**

Aquest test defineix les proves per determinar la resistència a la tracció sota una càrrega uniaxial i amb diverses geometries en les provetes.

A continuació s'esmenta les dimensions utilitzades de les provetes per esser assajades en la resistència a tracció:

Tipologia de la proveta	Dimensions de la proveta	Referència
Dog-bone	334 x 65 x 13 mm	[2]
Cilíndrica	100 x 200 mm	[4]

Taula 4.- Dimensions de les provetes realitzades en els diferents articles científics.

S'ha observat que pocs articles comproven aquest tipus d'assaig per a determinar la resistència a tracció. A més es podria dir que els autors realitzen dos tipologies de provetes, una en forma cilíndrica pensada per elements de morter i l'altre basat en compòsits, ja que cadascun segueixen dos normatives diferents. Els autors de l'article [2] especifiquen que no hi ha una normativa aplicable per l'assaig a tracció, així que segueixen els passos d'un estudi previ on utilitzaven la proveta de la següent figura:

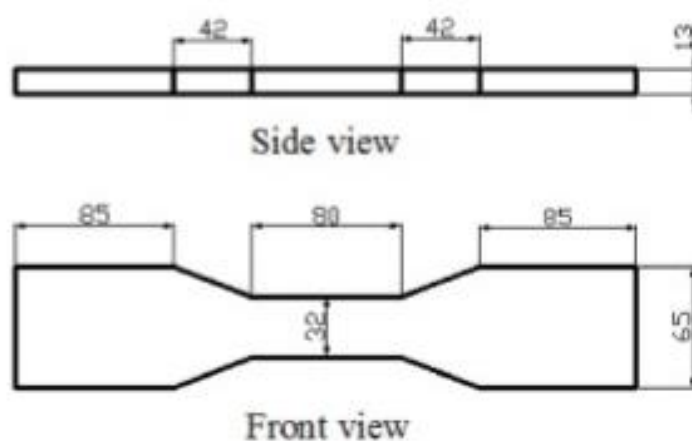


Figura 21.- Dimensionat de les provetes assajades a l'article [2] per determinar la resistència a tracció.

A partir d'aquí, es procedirà a realitzar gràfiques generals i específiques per a veure la influència que pugui tenir la relació d'aigua i ciment respecte a la resistència a tracció, i de la mateixa manera amb el contingut de fibres aplicades en cada un dels conglomerats.

### Resistència a tracció respecte la relació d'aigua/ciment

Primerament es genera una gràfica, per analitzar les dades obtingudes de cada una de les provetes sotmeses a l'assaig a tracció, amb diferents continguts d'aigua respecte el conglomerat.

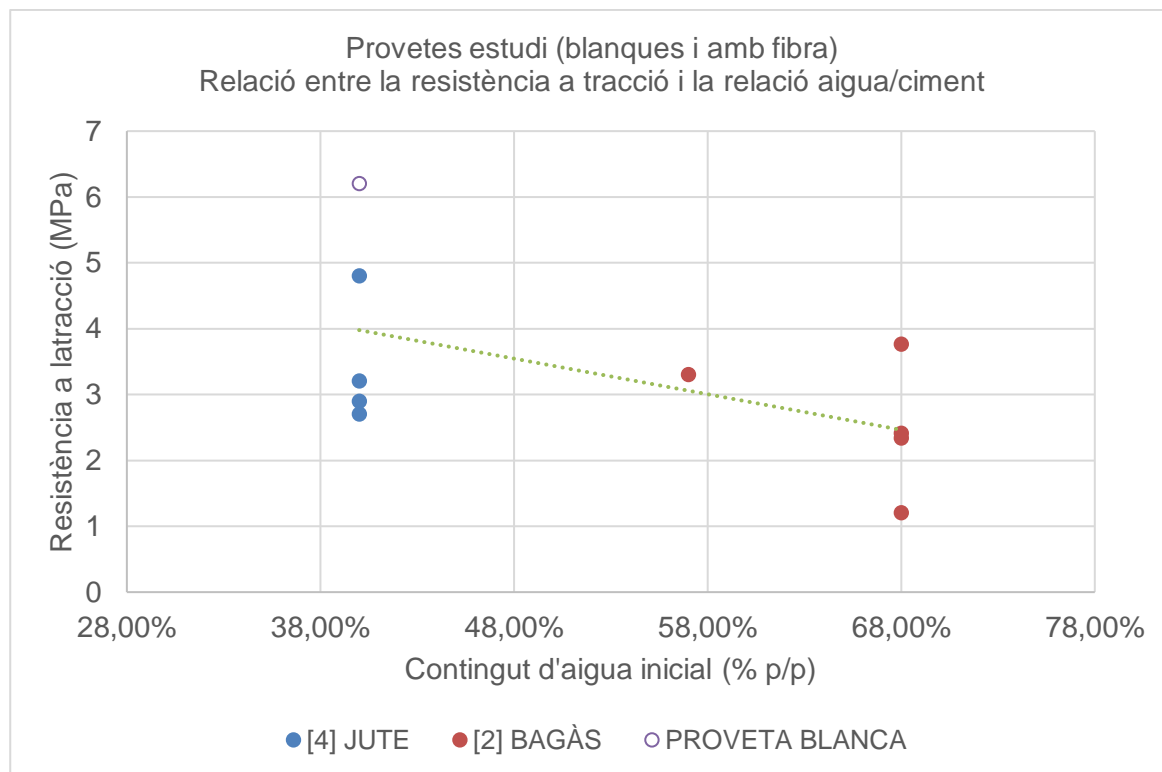


Figura 22.- Relació entre la resistència a tracció respecte la relació d'aigua i ciment.

Tal com s'observa a la gràfica, és podria determinar que la resistència a tracció de les mostres es veu afectada respecte la quantitat d'aigua afegida a la massa. Aquesta tendència pot representar que quan més alta és la relació d'aigua/ciment, més perjudicada es veu la resistència a tracció. Dintre dels articles que analitzen aquesta resistència, s'esmenta l'article [4] com l'únic que afegeix fins naturals i fins lleugers (pedra volcànica) dintre de la massa del conglomerat. A més substitueix part del ciment per fum de sílice. En el cas de l'article [2], els autors afegeixen cendres volants com un component més en la massa, i el final de l'elaboració de les provetes afegeixen un 5% de fibres d'acer.

Un cop analitzat l'impacte que ocasiona la variació d'aigua respecte al ciment, es procedirà a comparar els resultats de la resistència a tracció en relació el contingut de fibres aplicades dintre de la massa.

Resistència a tracció respecte el volum de fibres utilitzat

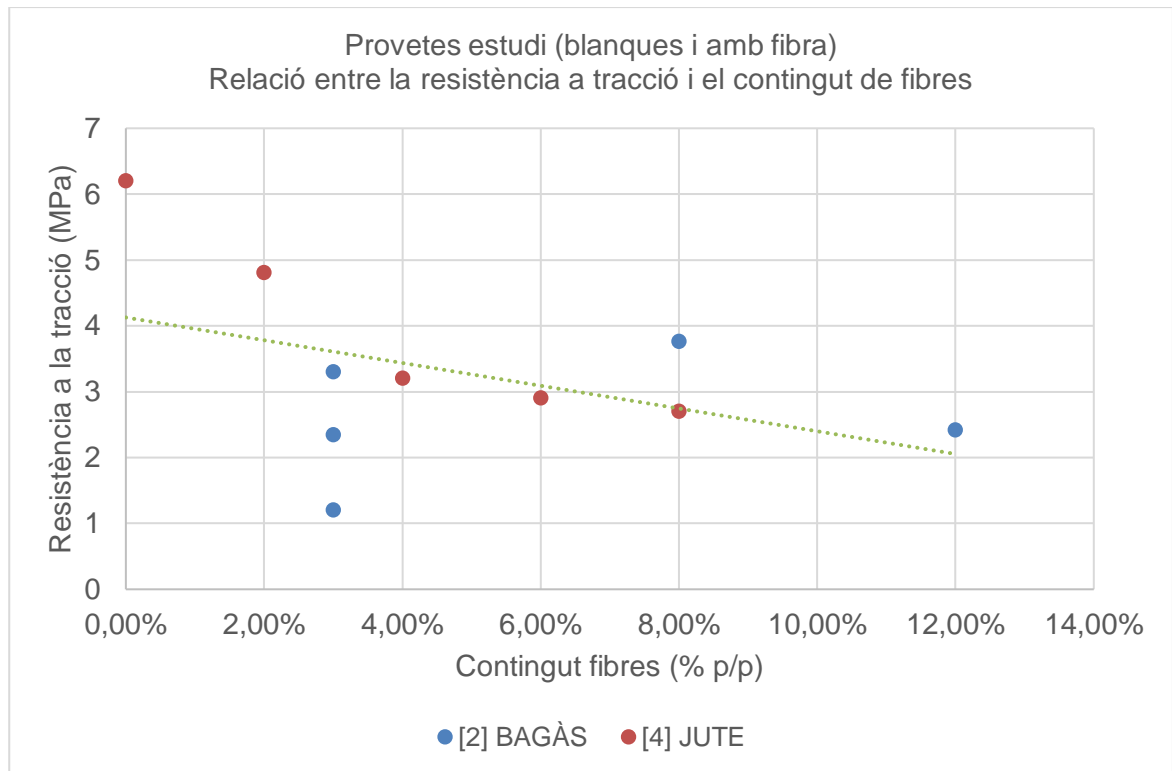


Figura 23.- Relació entre la resistència a tracció respecte el contingut de fibres naturals.

Observant la gràfica amb els resultats obtinguts de cada article, no es podria determinar una clara influència de les fibres naturals respecte a la resistència a tracció al no tenir un ventall de mostres més elevades per poder especificar quin impacte té sobre el conglomerat. De totes maneres, s'observa que els autors obtenen resultats oposats. En el cas de l'article [4] els valors tendeixen clarament a la baixa a l'augmentar el contingut de fibres, en canvi en l'article [2] es veuen valors molt dispersos. Tal com hem esmentat a l'apartat anterior, els autors de l'article [2] substitueixen i afegeixen molts components en el conglomerat, com les cendres volants, la incorporació de fibres d'acer i a més el tractament d'Hidròxid de Sodi que se li aplica a les fibres naturals. Aquests resultats, podrien esser influenciats per part de la dosificació utilitzada pels autors i per la tipologia de proveta assajada per determinar la resistència a tracció. Per concloure aquest apartat, s'ha d'esmentar que aquest tipus d'assaig no es veu rellevant pels autors, de tal manera que s'obté poca informació sobre aquest esforç. Per tant, no podríem esmentar quin element és més apropiat per determinar la resistència a tracció.

#### **5.2.4 Mòdul elàstic (Mòdul de Young)**

El mòdul elàstic és una de les altres característiques molt estudiades en morters reforçats amb fibres naturals, ja que és un esforç molt comú que han de suportar els materials de construcció.

En termes generals, l'assaig utilitzat per tal de determinar el mòdul elàstic d'un material consisteix en aplicar una força sobre ell de tal manera que aquest es deforma fins arribar el seu punt de plasticitat. El material pot arribar a un punt en el qual si deixem d'exercir la tensió, el material recupera la forma inicial.

El mòdul elàstic es determina mitjançant la següent expressió:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (Eq. 5)$$

on **E** és la resistència del mòdul elàstic en GPa

$\sigma$  és tensió que s'aplica al material

$\varepsilon$  és la deformació de la proveta

Per tal d'obtenir els resultats del mòdul elàstic, els autors determinen que utilitzen les provetes assajades a compressió o flexió.

Com s'ha realitzat en altres apartats analitzats, es procedirà a generar gràfiques generals i específiques per a veure la influència que pugui tenir la relació d'aigua i ciment respecte a la resistència al mòdul elàstic.



Relació del mòdul elàstic respecte la relació d'aigua/ciment

Es procedeix a generar una gràfica, per analitzar les dades obtingudes de cada una de les provetes sotmeses a l'assaig del mòdul elàstic, amb diferents continguts d'aigua respecte el conglomerat.

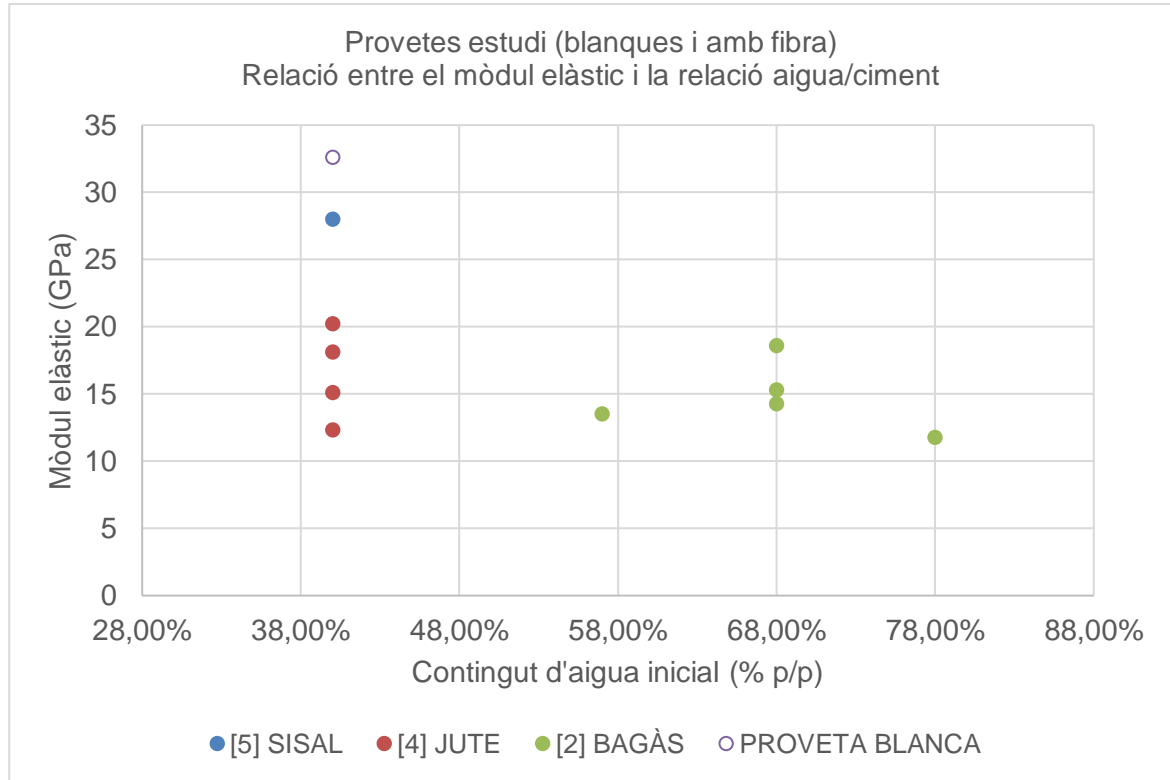


Figura 24.- Relació entre la resistència del mòdul elàstic respecte la relació d'aigua i ciment.

Els resultats obtinguts per aquests articles, no mostren una tendència clara on es pugui determinar la influència del contingut d'aigua respecte a les provetes assajades. En els articles [2] i [4] s'observen resultats molt similars tot i tenir una variació del contingut d'aigua fins el 40%. D'aquesta manera es podria concloure que la relació d'aigua i ciment no suposa una gran rellevància alhora de determinar l'elasticitat del material.

Amb aquest motiu es procedeix a analitzar els resultats obtinguts del mòdul elàstic en relació al contingut de fibres aplicades dintre de la massa.

Relació del mòdul elàstic respecte el volum de fibres utilitzat

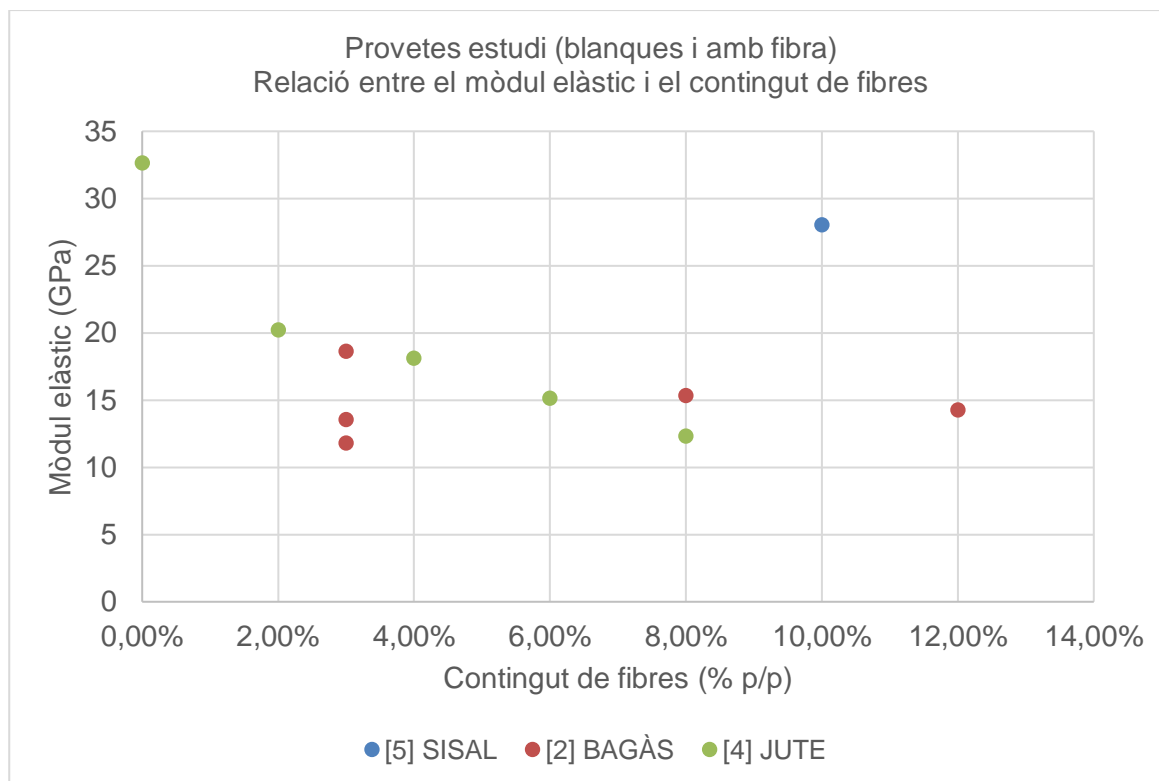


Figura 25.- Relació del mòdul elàstic respecte el contingut de fibres naturals.

Com s'observa a la gràfica, les fibres podrien contribuir en els resultats del mòdul elàstic del material ja que s'observa una tendència a la disminució quan s'aplica més volum de fibres a la massa. Així que es destacarien els articles [2] i [4] ja que els seus resultats evidencien aquesta tendència esmentada. En el cas de l'article [2], s'observa que en el mateix percentatge del 3% de fibres, obtenen diferents resultats. Aquesta diferència és deguda a l'aplicació de volum de cendres volants a la mostra amb diferents percentatges. Es podria dir que les cendres volants també podrien influir en el conglomerat respecte el mòdul elàstic, ja que s'observa una disminució en els resultats fins un 36,76%. En relació a l'article [4], els autors substitueixen fins un 10% del ciment amb fum de sílice, i a més incorporen les fibres naturals orientades al llarg del tram longitudinal de la mostra. Aquesta metodologia d'utilitzar les fibres, no donen valors més positius en respecte els altres articles ja que obtenim resultats inferiors. En canvi, els autors de l'article [5] també utilitzen la fibra al llarg de tota la proveta i obtenen un resultat molt similar a la proveta blanca de l'article [4] amb una diferència fins un 14,11%. Tot i així, no es podria determinar que en aquest cas, les fibres orientades tingui una influència en el mòdul elàstic, ja que els autors no proporcionaven la dosificació establerta de la proveta i es va tenir que fer una conversió estandarditzada de la

dosificació. Per tant, no es pot saber si en aquesta proveta, els autors afegixen algun altre component que pugui tenir impacte en aquest assaig al obtenir un resultat molt elevat.

### **5.2.5 Conductivitat tèrmica**

La conductivitat tèrmica és una propietat important alhora de generar un element amb propietats d'aïllament tèrmic i pròpia de cada material. Aquesta propietat és la mesura del flux de temperatura que transcorre a través del material. Aquesta transferència és proporcional a la conductivitat tèrmica específica de cada material i el gradient de temperatura entre els ambients que separa aquest element.

L'assaig utilitzat per tal de determinar la conductivitat tèrmica d'un material consisteix en col·locar dos plaques oposades sobre un material des de dos dels seus extrems de tal manera que es subministra calor a una d'elles i es va transferint a través de la mostra. També es col·loquen sensors a diferents llocs de la proveta, per tal d'obtenir lectures de temperatura durant el procés de transferència [1].

La conductivitat tèrmica és determinada mitjançant la següent expressió:

$$q = K \times A \times \frac{dt}{dx} \quad (Eq. 6)$$

on **q** és l'energia transferida

**K** és la conductivitat tèrmica

**A** és l'àrea de la secció de la proveta mm<sup>2</sup>

$\frac{dt}{dx}$  és la diferència de temperatura

Els diferents articles que s'han analitzat en el present treball de recerca han utilitzat la normativa següent:

- **ASTM C1044:**

Aquest test defineix la prova per determinar la conductivitat tèrmica utilitzant plaques calefactores a una sola cara de la proveta.

- **ASTM C518 [19]:**

Aquest test defineix la proves per determinar la conductivitat tèrmica a lloses planes mitjançant un aparell on mesura el flux de calor.

- **ISO 8301:**

Aquest test defineix la proves i els càlculs per determinar la conductivitat tèrmica i les propietats relacionades a lloses planes mitjançant un aparell on mesura el flux de calor.

- **JIS R 2618:**

Aquest test defineix la proves per determinar la conductivitat tèrmica de maons aïllants mitjançant foc calent.

Com a cada apartat analitzat, es procedeix a generar gràfiques generals i específiques per a veure la influència que pugui tenir la conductivitat tèrmica respecte a la relació d'aigua i ciment i del contingut de fibres aplicades en cada un dels conglomerats.

Conductivitat tèrmica respecte la relació d'aigua/ciment

Primer de tot es genera una gràfica on es relaciona el contingut d'aigua amb la conductivitat tèrmica de les provetes blanques, per tal de visualitzar l'impacte de l'aigua respecte en el conglomerat.

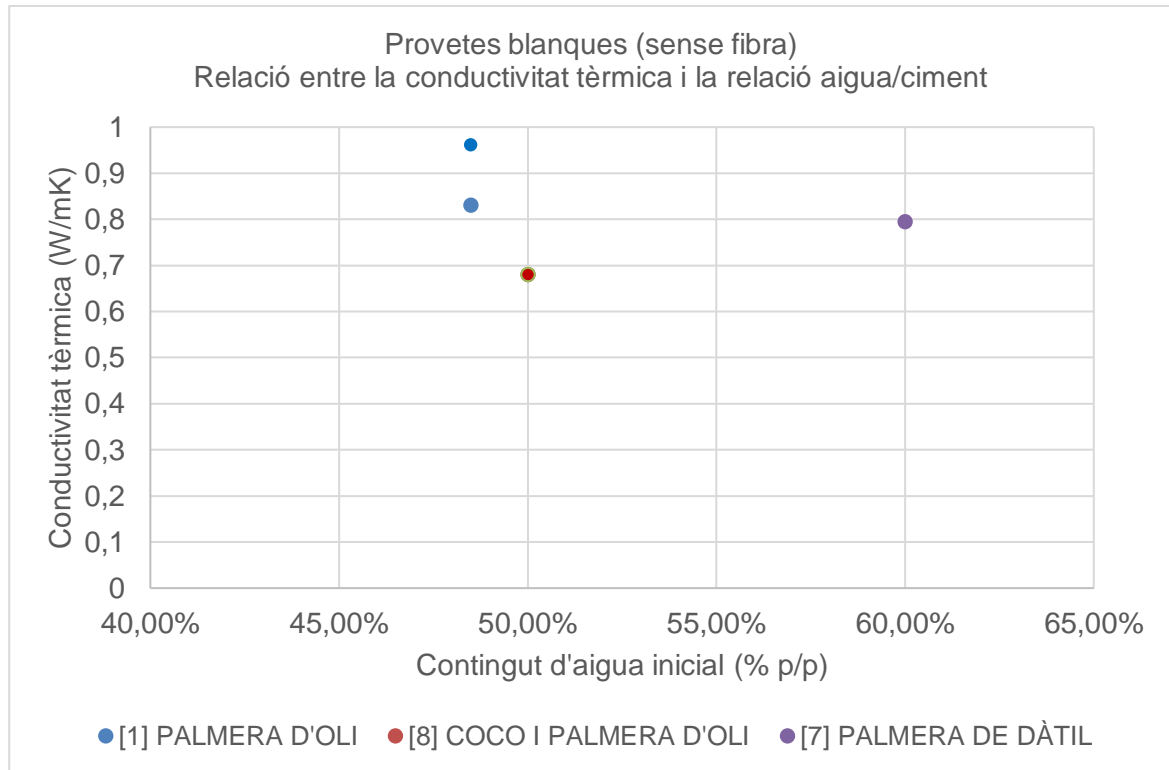


Figura 26.- Relació entre la conductivitat tèrmica en provetes blanques, respecte la relació d'aigua i ciment.

Observant la gràfica, podríem esmentar que el contingut d'aigua a la mostra no té una clara incidència en les provetes blanques. Es destaca l'article [1], ja que els autors generen dues provetes blanques, on l'única diferència entre elles és l'addició de cendres volants corresponents a un 10% de la massa de ciment en una de les provetes. Aquesta substitució semblaria que el fet d'introduir cendres volants a la mostra aportaria una millora en la conductivitat tèrmica del material. En el cas de l'article [8] els autors no substitueixen el ciment sinó que en la dosificació incorporen pols de pedra calcària amb el mateix contingut que ciment corresponent a 500 gr.

Procedim a analitzar les dades obtingudes de cada una de les provetes sotmeses a l'assaig de la conductivitat tèrmica, amb diferents incorporacions d'aigua respecte el ciment.

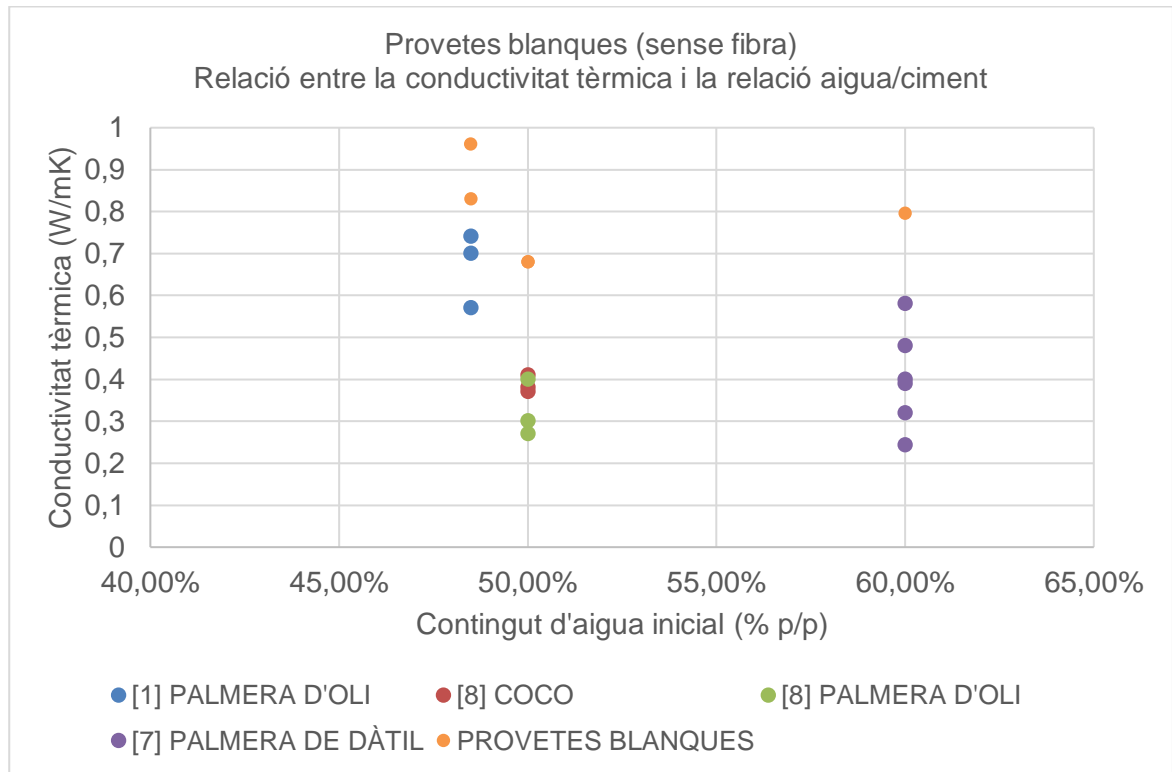


Figura 27.- Relació entre la conductivitat tèrmica respecte la relació d'aigua i ciment.

A partir d'aquesta gràfica, ens torna a corroborar que el contingut d'aigua no tindria especial rellevància en la propietat de conductivitat tèrmica. Tot i així al no tenir suficients articles on els autors analitzen aquesta propietat, no es podria confirmar.

També cal esmentar que en l'article [7] els autors no mencionen els continguts dels components que componen la dosificació de les provetes apart del contingut de fibres i d'aigua, per tant no podríem saber si aquests resultats són atípics.

Amb aquest motiu es procedeix a analitzar els resultats obtinguts de la conductivitat tèrmica en relació al contingut de fibres aplicades dintre de la massa. Per observar si aquest paràmetre influeix més en aquesta propietat.

Conductivitat tèrmica respecte el volum de fibres utilitzat

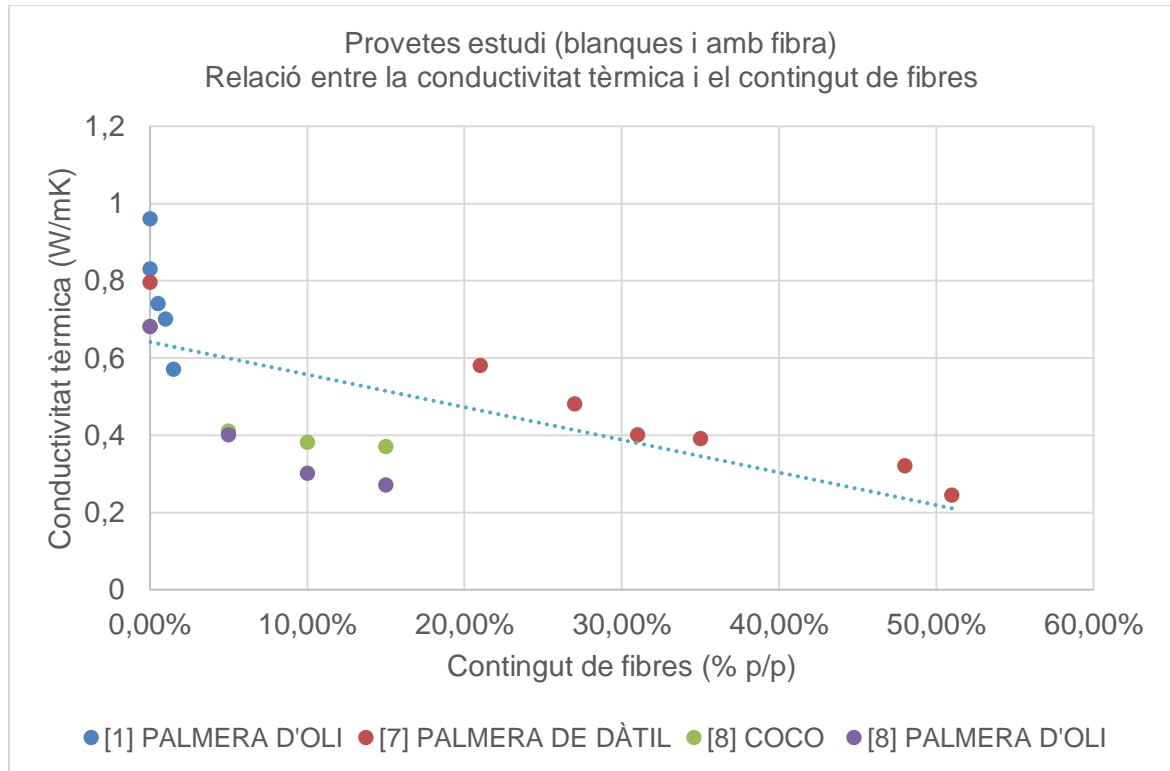


Figura 28.- Relació de la conductivitat tèrmica respecte el contingut de fibres naturals.

Un cop realitzada aquesta gràfica general on es relaciona el contingut de volum de fibra amb la conductivitat tèrmica de les mostres, es percep una clara tendència en la disminució d'aquesta propietat alhora que s'incorporen més volum de fibres. En el cas de l'article [8] on s'utilitzen dues mostres amb la mateixa dosificació però amb diferent tipologia de fibres, s'observa que la fibra de palmera d'oli aporta millors propietats tèrmiques que la fibra de coco. Comparant les fibres de palmera d'oli dels articles [1] i [8] s'intueix una diferència en la transmitància tèrmica dels dos materials. Això podria ser degut pel fet d'afegir cendres volants, ja que observant els pendents dels diferents articles, s'observa que en l'article [1] obté una pendent en els resultats més pronunciada respecte l'article [8]. La pendent generada en els resultats de l'article [1], podríem arribar a dir que és deguda a la substitució del ciment per cendres volants, ja que el volum de fibres utilitzada en les provetes va des de el 0,5 i l'1,5%. Cal mencionar que a diferència dels resultats obtinguts per l'article [7], les mostres dels articles [1] i [8] obtenen els mateixos valors de conductivitat tèrmica amb uns volums de fibres inferiors. Això podria indicar que les fibres de palmera de dàtil tenen pitjors propietats tèrmiques que les de palmera d'oli i coco. Tot i això al no tenir tota la informació sobre la dosificació de l'article [7], podria haver algun element no mencionat que pogués provocar aquests resultats tan diferenciats.

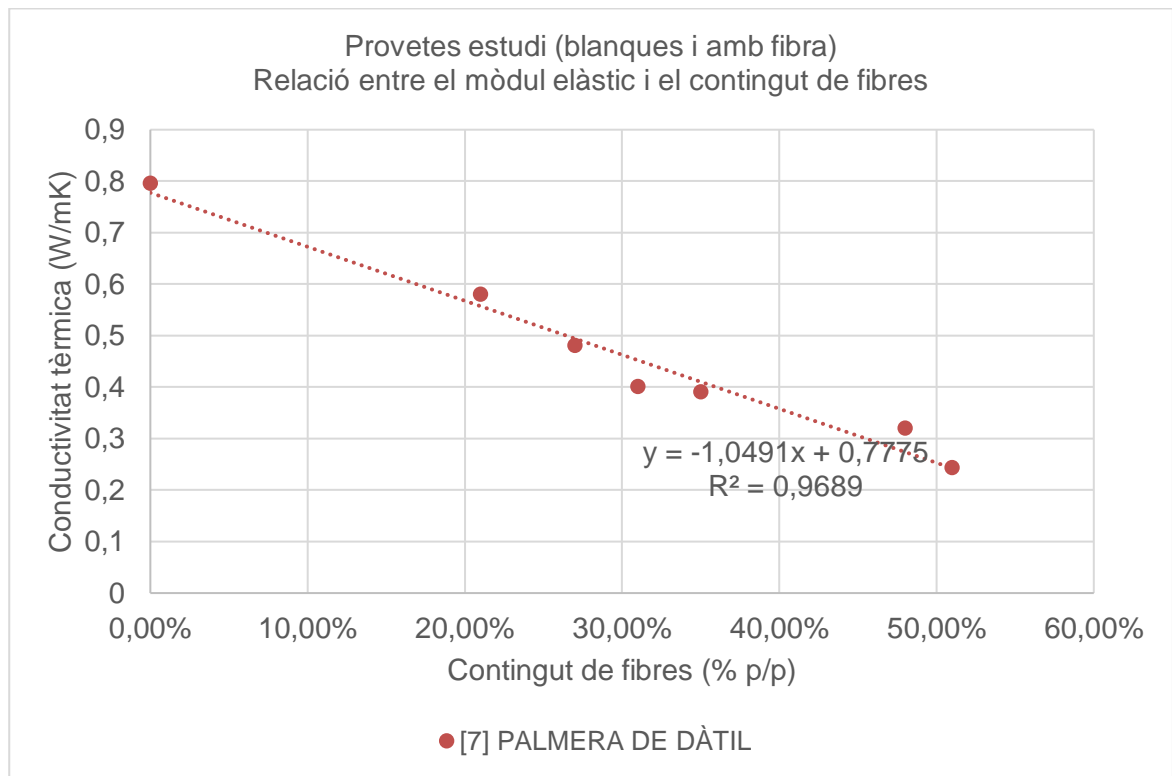


Figura 29.- Relació de la conductivitat tèrmica respecte el contingut de fibres de palmera de dàtil.

Tot i no tenir informació completa sobre la dosificació d'aquestes mostres per part de l'article [7] i obtenir valors tan diferenciats respecte els articles [1] i [8], es genera una gràfica independent on mostra la tendència dels valors d'aquest article. Aquest resultat, conformen una  $R^2$  de quasi el 97% de fiabilitat. Això podria comportar, que la fórmula de l'equació lineal ens podria ser útil per tal de dimensionar un morter amb la conductivitat tèrmica desitjada segons el contingut de fibres.

### 5.2.6 Absorció d'aigua

La propietat d'absorció d'aigua és una de les propietats físiques que caracteritzen els elements de revestiments. Aquesta característica és relacionada amb la porositat de l'element, ja que quan més porós és el material més capacitat d'absorció d'aigua obtindrà. Així que aquesta característica determina la capacitat que té l'element en absorbir l'aigua fins a la saturació.

El procediment de l'assaig es determina mesurant els diferents pesos de la mostra. Primerament les provetes es deixen assecant durant 2 hores a una temperatura de 100°C per tal de determinar el pes sec de la mostra. Tot seguit es submergeixen en aigua durant



12 hores, per tal de que la proveta absorbeixi tota l'aigua fins arribar al grau de saturació. Un cop s'obté l'element saturat s'elimina tota l'aigua superficial per tal d'obtenir el pes saturat.

L'absorció d'aigua és determinada mitjançant la següent expressió:

$$A = \frac{P_{sat} - P_s}{P_s} \times 100 \quad (Eq. 7)$$

on **A** és l'absorció d'aigua de la mostra en %

**P<sub>sat</sub>** és el pes saturat

**P<sub>s</sub>** és el pes sec

Els diferents articles que s'han analitzat en el present treball de recerca han utilitzat les normatives següents:

- **ASTM C642 [20]:**

Aquest test defineix la prova per determinar la densitat, el percentatge d'absorció d'aigua i el percentatge de buits en el formigó.

- **ASTM C373-88:**

Aquest test defineix la prova per determinar l'absorció d'aigua, la densitat de la massa, la porositat aparent i la gravetat específica per a ceràmica cuita.

- **ASTM C20 [21]:**

Aquest test defineix la prova per determinar la porositat aparent, l'absorció d'aigua, la gravetat específica aparent i la densitat aparent dels maons refractaris cremats, utilitzant aigua bullint.

Es genera una taula on s'esmenten els diferents factors de conversió que s'han aplicat segons les dimensions de les provetes realitzades pels autors:

<b>Tipologia de la proveta</b>	<b>Dimensions de la proveta</b>	<b>Referència (bibliografia)</b>
N/D <sup>2</sup>	N/D	[1]
Cub	50 x 50 x 50 mm	[3]
N/D	N/D	[8]

*Taula 5.- Dimensions de les provetes realitzades en els diferents articles científics.*

A partir d'aquí es procedirà a realitzar gràfiques generals i específiques per a veure la influència que pugui tenir el contingut d'aigua i de fibres aplicades en el conglomerat, respecte l'absorció d'aigua.

---

<sup>2</sup> No disponible.

Absorció d'aigua respecte la relació d'aigua/ciment

Aquesta primera gràfica representa l'absorció d'aigua en funció la relació d'aigua/ciment emprada en les provetes blanques.

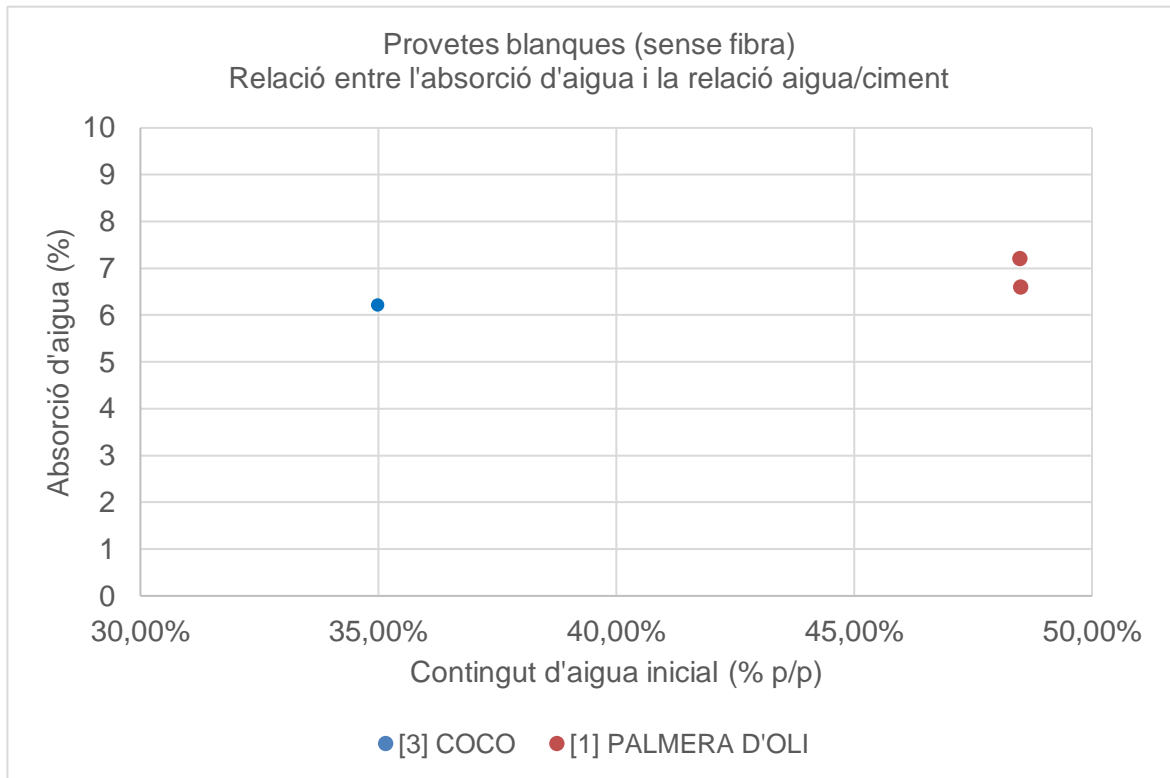


Figura 30.- Relació entre l'absorció d'aigua en provetes blanques, respecte la relació d'aigua i ciment.

Observant la gràfica es podria interpretar que l'augment d'aigua respecte el ciment, genera una tendència a l'alça pel que fa a l'absorció d'aigua. Si es compara les dades dels articles [1] i [3], s'observa una lleugera variació entre els resultats d'un 1%, tot i tenir una diferència de relacions d'aigua i ciment del 13,5%. En el cas de l'article [1] realitza dos provetes blanques on una d'elles aplica un 10% de cendres volants dintre de la barreja. Al tractar-se de cendres volants i disposar aquesta d'una densitat més baixa, aquesta proveta acaba tenint un pes més baix que l'altra proveta blanca.

Després de veure la tendència de les provetes blanques, es genera una altra gràfica general per observar la influència d'absorció d'aigua respecte el contingut d'aigua/ciment en la resta de les mostres.

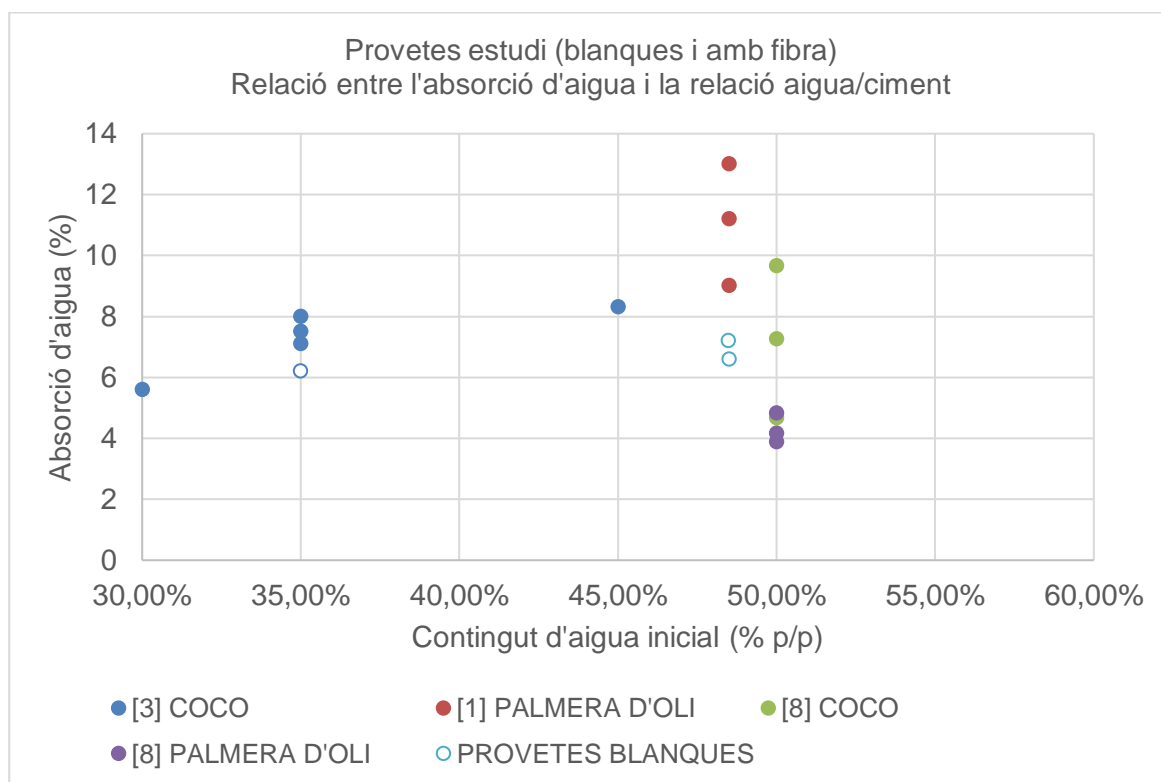


Figura 31.- Relació entre l'absorció d'aigua respecte la relació d'aigua i ciment.

En aquest cas s'obté una dispersió de resultats on no s'accentua cap tendència clara en la relació d'aigua i ciment en els conglomerats. Tot i així, en l'article [3] es podria veure una rellevància del contingut d'ell a mesura que s'afegeix més aigua a les mostres. Com a valors atípics es destaca l'article [1], ja que s'obtenen valors molt elevats respecte a la resta. Això podria esser degut per la substitució parcial d'un 10% de ciment per cendres volants, i podria implicar un augment en el percentatge de buits de les mostres provocant així una que l'absorció d'aigua sigui major. Comparant amb l'article [3] els autors també utilitzen la metodologia de substituir part del ciment d'entre un 65% fins un 76%, el qual es tradueix en valors més inferiors. Per tant aquesta variació del 18,5% del contingut d'aigua entre els dos articles, podria comportar una disminució en els buits de la massa. Així que es podria dir que la variació d'aigua en el moment dels amassats, podria tenir una influència respecte l'absorció d'aigua. Per altra banda, els autors de l'article [8] utilitzen el contingut d'aigua més elevat amb un 50% respecte el ciment, tot i així s'obté una absorció d'aigua inferior comparant els resultats de l'article [3] on s'utilitza una relació d'aigua i ciment d'un 20% inferior.

Tot seguit es procedirà a analitzar l'absorció d'aigua en funció del contingut de fibres utilitzats pels autors en cada una de les mostres.

Conductivitat tèrmica respecte el volum de fibres utilitzat

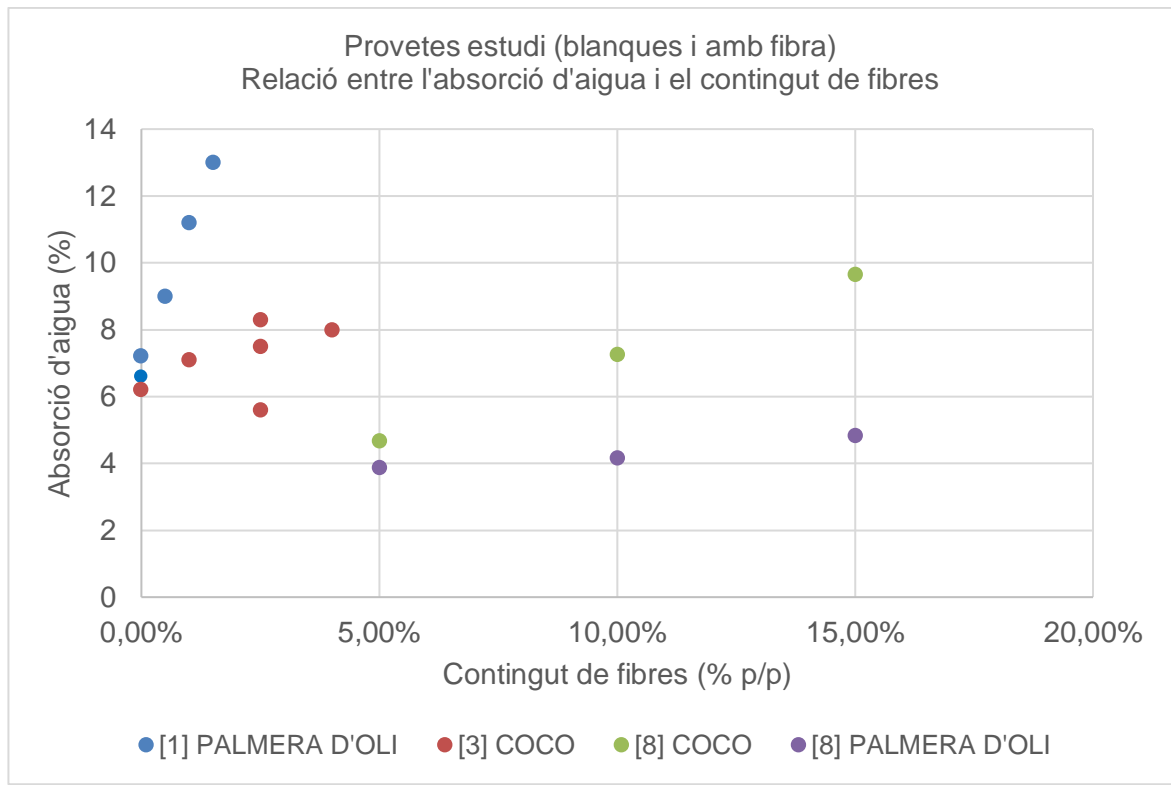


Figura 32.- Relació de l'absorció d'aigua respecte el contingut de fibres naturals.

A partir dels valors representats en la gràfica, s'observa una tendència en l'augment de l'absorció d'aigua a mesura que s'afegeix fibres naturals a la massa. Com a valors destacables s'obtenen els resultats dels articles [1] i [3], dels quals substitueixen parcialment el ciment amb cendres volants. En el cas de l'article [3] s'observa que amb poc percentatge de fibres aplicades, els valors d'absorció d'aigua són molt inferiors als de l'article [1]. En aquest punt, no tenim prou informació dels autors perquè es pugui determinar quin és l'element que influeix alhora de tenir aquests resultats tant variats. Per part de l'article [1], els autors utilitzen una metodologia per incorporar les fibres naturals a la massa, de manera que abans de ser aplicada en els motllos amassen la barreja manualment. D'aquesta manera s'asseguren la distribució uniforme de les fibres. Tot i això aquesta metodologia podria semblar inapropiada, ja que en poc percentatge de fibres, els valors d'absorció d'aigua en les mostres són molt elevats.

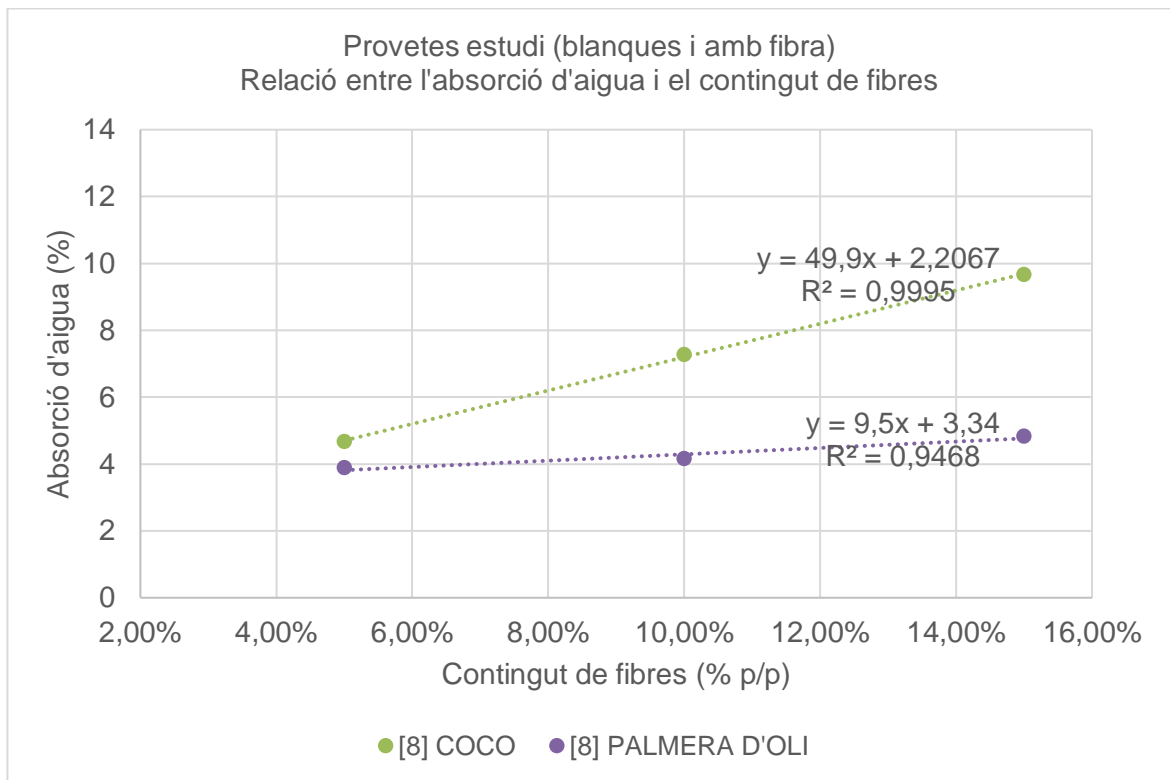


Figura 33.- Relació de l'absorció d'aigua respecte el contingut de fibres naturals de coco i palmera d'oli.

Entre els articles científics analitzats, es destaca l'article [8] per obtenir uns resultats d'absorció d'aigua inferiors dels articles [1] i [3] tenint percentatges de fibres significativament més elevats. S'observa que els resultats tendeixen a seguir una progressió lineal a mesura que s'afegeixen fibres naturals a la mostra. A través d'aquesta gràfica, es pot observar que la fibra de palmera d'oli té unes capacitats d'absorció d'aigua clarament inferiors a la fibra de coco. Aquesta diferència podria ésser deguda per les propietats físiques de cada una de les fibres naturals. S'ha utilitzat la  $R^2$  per verificar la fiabilitat d'aquests resultats, on es podria demostrar que a mesura que s'afegeixen fibres a la proveta els resultats siguin proporcionals. El fet que els  $R^2$  obtinguts tinguin valors superiors al 90% i fins aproximar-se el 100%, podria indicar que a partir de la fórmula lineal es podria preveure el comportament de l'absorció d'aigua del conglomerat en aquesta dosificació i metodologia escollida pels autors d'aquest article.

### 5.2.7 Porositat

La propietat de porositat és una de les propietats físiques que caracteritzen els elements de revestiments. Aquesta característica determina la capacitat d'intrusió d'aigua dintre de les mostres, el qual és important determinar-la ja que pot generar diferents patologies. En el procediment general, es determina conjuntament amb l'absorció d'aigua.

La porositat és determinada mitjançant la següent expressió:

$$P = \frac{V_e}{V} \times 100 \quad (Eq. 8)$$

on **P** és la porositat de la mostra en %

**V<sub>e</sub>** és el volum dels buits

**V** és el volum en sec

La normativa que han seguit els diferents articles que s'han analitzat en el present treball, són les següent:

- **ASTM C373-88:**

Aquest test defineix la prova per determinar l'absorció d'aigua, la densitat de la massa, la porositat aparent i la gravetat específica per a ceràmica cuita.

- **ASTM C20 [21]:**

Aquest test defineix la prova per determinar la porositat aparent, l'absorció d'aigua, la gravetat específica aparent i la densitat aparent dels maons refractaris cremats, utilitzant aigua bullint.

A partir d'aquí, es procedirà a realitzar gràfiques generals i específiques per tal de veure la influència que pugui tenir la relació d'aigua i ciment respecte a la porositat de l'element, de la mateixa manera amb el contingut de fibres aplicades en cada un dels conglomerats. D'aquesta manera es podrà observar quin impacte tenen aquestes variacions.

Porositat de l'element respecte la relació d'aigua/ciment

La primera gràfica generada es relaciona la porositat obtinguda de les provetes blanques realitzades per els diferents articles, en relació al contingut d'aigua aplicada a la massa.

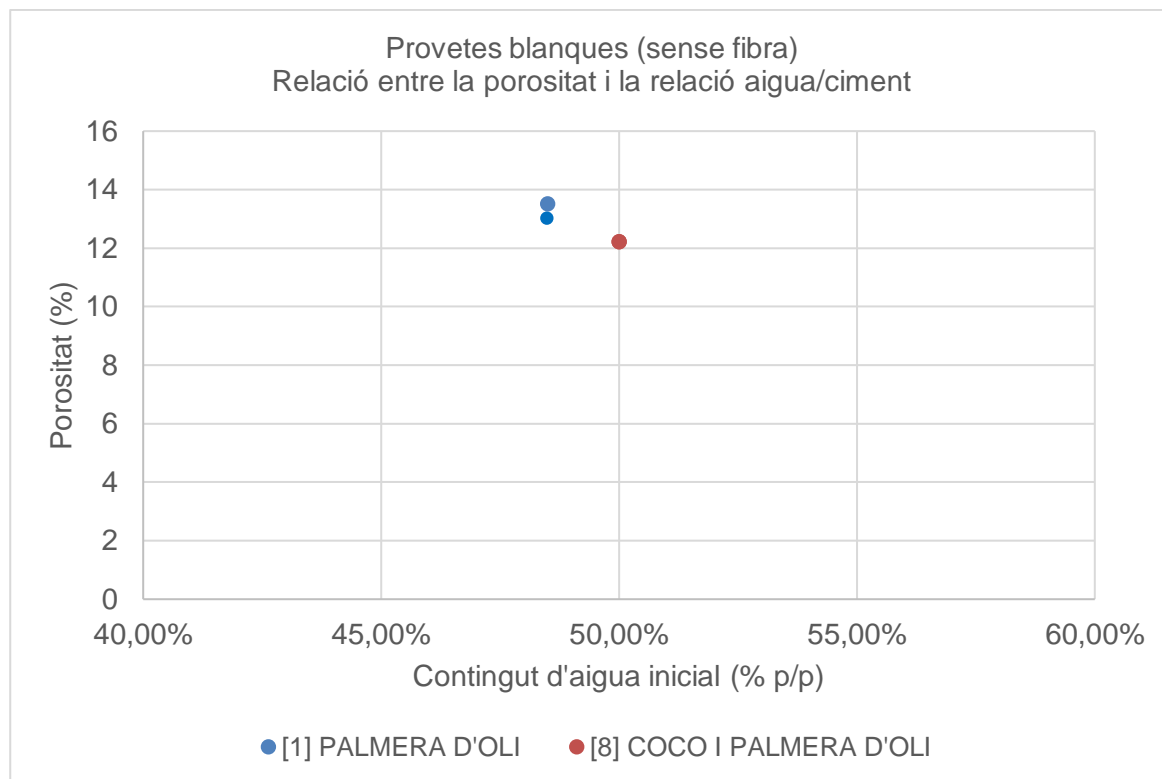


Figura 34.- Relació entre la porositat en provetes blanques, respecte la relació d'aigua i ciment.

Tot i no tenir moltes dades relacionades en la propietat de porositat, la gràfica mostra que les provetes blanques es veuen afectada respecte a la quantitat d'aigua afegida a la massa. Els autors dels articles [1] i [8] utilitzen el mateix conglomerant de Ciment Portland Tipus I, i l'única variància entre ells és la incorporació de components on substitueixen part ciment. En el cas de l'article [1] realitza dos provetes blanques on una d'elles aplica un 10% de cendres volants dintre de la barreja. Al tractar-se de cendres volants i disposar aquesta d'una densitat més baixa, aquesta proveta acaba tenint un pes més baix que l'altra proveta blanca. Per altra banda, els autors de l'article [8] utilitzen pols de pedra calcària amb el mateix contingut de ciment. Tot i no tenir una segona proveta comparable com en l'article [1], es podria determinar que la dosificació escollida per aquests autors és més densa.

Tot seguit, s'analitzen les dades obtingudes de cada una de les provetes amb diferents incorporacions d'aigua respecte el ciment.



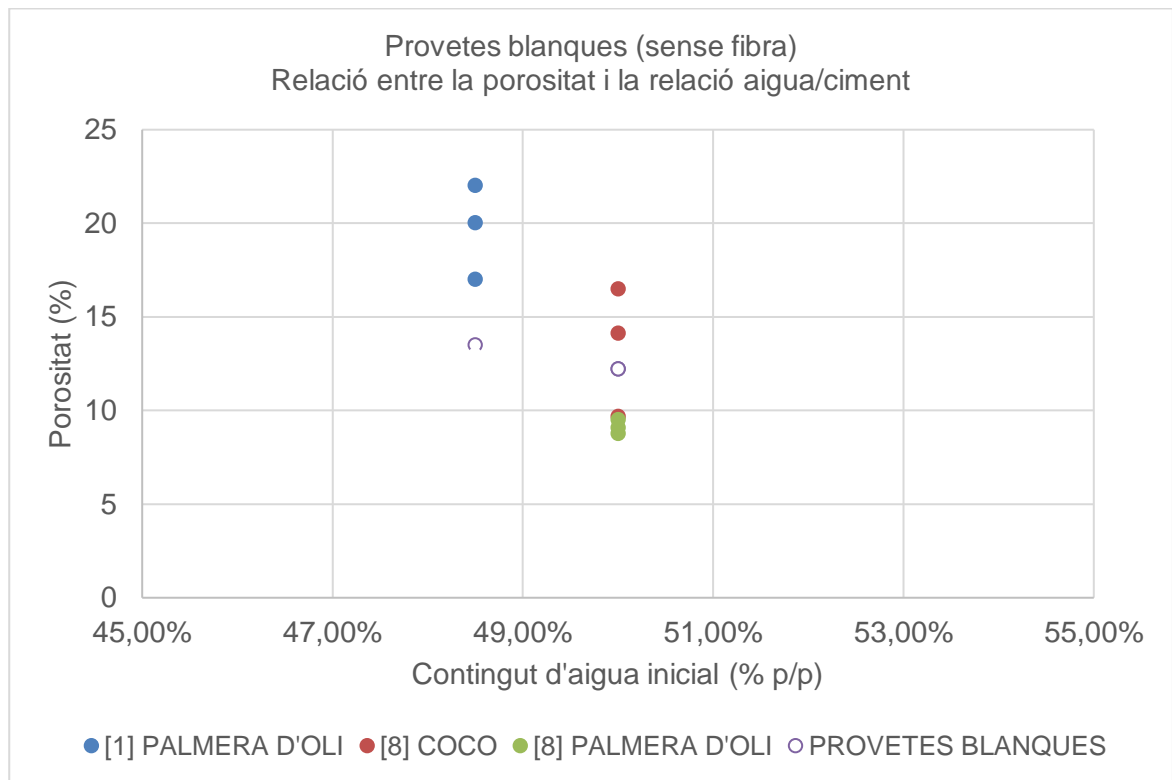


Figura 35.- Relació entre la porositat respecte la relació d'aigua i ciment.

En aquest cas, es segueix observant una clara tendència a la baixa tal com hem esmentat a la Figura 34.- Relació entre la porositat en provetes blanques, respecte la relació d'aigua i ciment.. Com a valors destacables obtindríem els resultats del coco i la palmera d'oli de l'article [8]. Aquestes dues mostres s'han realitzat utilitzant els mateixos components en la dosificació, i s'obtenen valors molt diferents entre ells. La diferència que es genera podria provenir per la tipologia de fibres utilitzada. Per tant la fibra de palmera d'oli semblaria esser menys porosa que la fibra de coco. Tot i així en l'article [1] els autors mencionen que la fibra de palmera d'oli té una estructura irregular al llarg del tram d'ella, on això podria comportar augments de buits en la massa.

Un cop s'ha analitzat l'impacte ocasionat en la variació d'aigua respecte el ciment, es procedirà a comparar els resultats en la porositat en relació el contingut de fibres aplicades dintre de la massa.

Porositat de l'element respecte el volum de fibres utilitzat

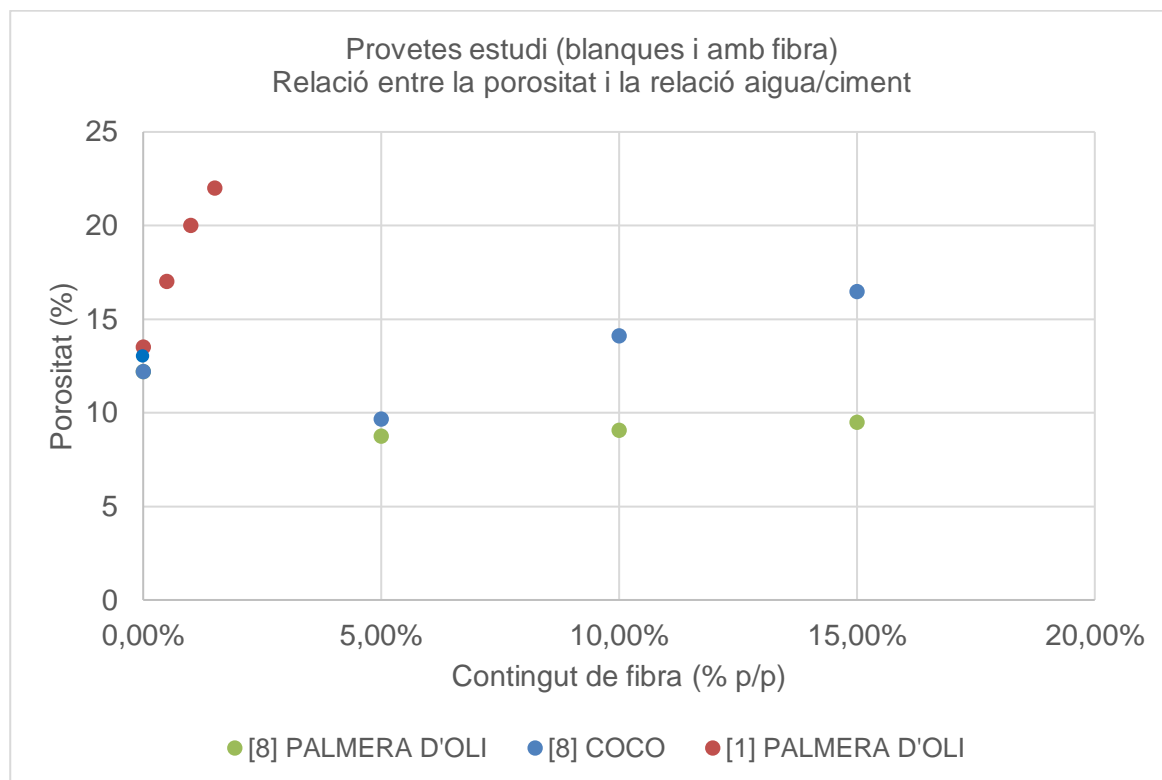


Figura 36.- Relació la porositat respecte el contingut de fibres naturals.

Es pot observar que les dades obtingudes en els articles científics, tendeixen a augmentar la seva porositat quan s'afegeixen fibres naturals a la mostra. Tal com s'ha esmentat a la Figura 35.- Relació entre la porositat respecte la relació d'aigua i ciment., entre les fibres utilitzades en l'article [8], es manté el mateix criteri on la fibra de coco demostra una porositat més elevada que la fibra de palmera d'oli. També es destaca els valors obtinguts per les provetes blanques d'aquests mateix article, ja que la porositat és molt superior a les provetes amb continguts d'un 5% en les fibres naturals. Aquesta variació podria ésser deguda a la metodologia d'execució dels conglomerats, tot i així no es podria verificar per la falta d'informació aportada pels autors. En el cas de l'article [1], s'observa uns resultats de porositats molt elevats tenint en compte que utilitza uns percentatges de fibres entre el 0,5% i 1,5%. El grau de porositat que s'obté en els resultats, podria ésser degut per la incorporació de les cendres volants que generen més buits en les mostres. Com a dades destacables es mencionen els articles [1] i [8] on utilitzen la mateixa tipologia de fibres i s'obtenen valors molt desiguals amb continguts de fibres molt diferents. En l'article [1] els autors realitzen un tractament d'Hidròxid de Sodi per eliminar els components d'Hemicel·lulosa i Lignina, on

això podria comportar un canvi físic en la fibra i alhora un augment de porositat que es reflecteix en el conjunt. També cal esmentar que l'addició de cendres volants en la mostra, generen part de porositat en l'element. En canvi els autors de l'article [8] no realitzen cap tractament previ en les fibres naturals.

## **6 CONCLUSIONS**

En aquest treball de fi de grau s'ha extret les següents conclusions:

1. La majoria dels autors no creuen important realitzar tractaments químics a les fibres naturals abans de ser introduïdes a la massa. S'ha trobat que la majoria d'ells es limiten a realitzar un rentat superficial en les fibres, mitjançant el procés d'ebullició i assecat, per eliminar qualsevol impuresa que pugui perjudicar en les propietats físiques i mecàniques. Només en pocs casos s'aplica un tractament amb Hidròxid de Sodi (NaOH) a les fibres naturals per eliminar els components d'Hemicel·lulosa i Lignina. Així doncs, es pot afirmar el següent:
  - a. El tractament no aporta millores en les propietats mecàniques del conglomerat, ja que s'ha observat resultats similars en la resta;
  - b. El tractament provoca canvis físics en les fibres de manera que la seva superfície es danya per l'eliminació dels components esmentats. Conseqüentment la porositat del material resulta augmentar.
2. Pel que fa al treball dels diferents autors que s'han analitzat s'ha pogut observar que aquests no consideren rellevant la relació entre la longitud de les fibres utilitzades i la mida de l'àrid. El motiu d'aquesta consideració és que els materials que es generen són destinats a usos no estructurals i per tant la relació esmentada anteriorment no està dins els paràmetres que es podrien esperar d'altres materials compostos com per exemple el formigó.
3. L'augment en la quantitat de fibres naturals que s'afegeixen als diferents materials compostos perjudica a la majoria dels comportament mecànic dels conglomerats. Tal com s'ha observat a la resistència a flexió s'observa un lleuger increment en els resultats aplicant un contingut de fibres fins el 4%. Per altra banda genera resultats favorables en la conductivitat tèrmica (millorant-ne la capacitat aïllant de les provetes).
4. L'addició d'aigua durant la conformació de les pastes de ciment afecta als resultats mecànics. L'increment en el contingut d'aigua en la preparació de la pasta de ciment, té com a conseqüència una reducció en algunes propietats mecàniques dels compostos finals (disminució de la resistència a compressió, i tracció). En canvi, per a propietats tals com la resistència a flexió, mòdul de Young i conductivitat tèrmica no s'observa una

relació clara entre l'addició d'aigua durant la conformació de les pastes de ciment i aquestes propietats.

5. La incorporació del 50% de components argilosos com el metacaolí o com els blocs triturats enlloc de part del ciment aporten grans millores mecàniques pel que fa a la resistència a compressió, flexió i mòdul elàstic.
6. La substitució de part del ciment per cendres volants influeix de manera negativa als comportaments mecànics (en disminueix la resistència a tracció, a compressió, a flexió i el mòdul elàstic) a excepció del comportament tèrmic on s'observen resultats favorables (n'augmenta la seva capacitat d'aïllament tèrmic). Es pot afirmar doncs que les cendres volants amb un contingut del 10% proporcionen un bon component per elaborar un conglomerat amb propietats tèrmiques i per tant utilitzar-se com a revestiment aïllant.
7. No s'observen discrepàncies en les propietats mecàniques dels conglomerats resultants fruit de la utilització de *Ciment Portland Tipus I* i *Ciment Portland Tipus II* tot i aquests tenir d'origen propietats mecàniques diferents.
8. S'observa que el procés de formació de les provetes per part dels diferents autors en cap cas pot considerar-se estàndard ja que molts dels processos i/o tractaments utilitzats són de caire manual i en alguna ocasió manca informació rellevant sobre el procés en sí i els equips utilitzats.

## 7 BIBLIOGRAFIA

- [1] A. N. Raut i C. P. Gomez, «Thermal and mechanical performance of oil palm fiber reinforced mortar utilizing palm oil fly ash as a complementary binder», *Constr. Build. Mater.*, vol. 126, p. 476-483, 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.09.034.
- [2] H. Tian, Y. X. Zhang, L. Ye, i C. Yang, «Mechanical behaviours of green hybrid fibre-reinforced cementitious composites», *Constr. Build. Mater.*, vol. 95, p. 152-163, 2015, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.07.143.
- [3] C. L. Hwang, V. A. Tran, J. W. Hong, i Y. C. Hsieh, «Effects of short coconut fiber on the mechanical properties, plastic cracking behavior, and impact resistance of cementitious composites», *Constr. Build. Mater.*, vol. 127, p. 984-992, 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.09.118.
- [4] K. M. Sadiq, D. K. H. Bzeni, i F. U. A. Shaikh, «Deflection hardening behaviour of jute strands reinforced lightweight cementitious composite», *Constr. Build. Mater.*, vol. 96, p. 102-111, 2015, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.08.004.
- [5] J. A. O. Barros, F. D. A. Silva, i R. D. Toledo Filho, «Experimental and numerical research on the potentialities of layered reinforcement configuration of continuous sisal fibers for thin mortar panels», *Constr. Build. Mater.*, vol. 102, p. 792-801, 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.11.018.
- [6] M. Khorami i E. Ganjian, «Comparing flexural behaviour of fibre-cement composites reinforced bagasse: Wheat and eucalyptus», *Constr. Build. Mater.*, vol. 25, núm. 9, p. 3661-3667, 2011, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2011.03.052.
- [7] M. Boumhaout, L. Boukhattem, H. Hamdi, B. Benhamou, i F. Ait Nouh, «Thermomechanical characterization of a bio-composite building material: Mortar reinforced with date palm fibers mesh», *Constr. Build. Mater.*, vol. 135, p. 241-250, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.217>.
- [8] P. Lertwattanakul i A. Suntijitto, «Properties of natural fiber cement materials containing coconut coir and oil palm fibers for residential building applications», *Constr. Build. Mater.*, vol. 94, p. 664-669, 2015, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.07.154.
- [9] M. E. Ali i A. Alabdulkarem, «On thermal characteristics and microstructure of a new insulation material extracted from date palm trees surface fibers», *Constr. Build. Mater.*, vol. 138, p. 276-284, 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.02.012.
- [10] A. P. Fantilli, S. Sicardi, i F. Dotti, «The use of wool as fiber-reinforcement in cement-based mortar», *Constr. Build. Mater.*, vol. 139, p. 562-569, 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.10.096.

- [11] F. Matalkah *et al.*, «Development of sandwich composites for building construction with locally available materials», *Constr. Build. Mater.*, vol. 147, p. 380-387, 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.04.113.
- [12] Comisión Permanente del Hormigón, «Instrucción de Hormigón Estructural EHE-2008», *Boe Nº 203*, p. 704, 2008.
- [13] ASTM:C494/C494M-13, «Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete», *ASTM Int.*, vol. 04, p. 10, 2013.
- [14] I. Kett, «Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (C 109)», *Eng. Concr.*, p. 29-31, 2009, doi: 10.1201/9781420091175-c5.
- [15] ASTM International, «Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens 1 This standard is for EDUCATIONAL USE ONLY .», *Annu. B. ASTM Stand.*, vol. 04, núm. C, p. 1-7, 2010, doi: 10.1520/C0039.
- [16] S. T. Methods, T. N. F. F. Sheet, i S. Shingles, «Standard Test Methods for Sampling and Testing Non-Asbestos Fiber-Cement Flat Sheet, Roofing and Siding Shingles, and Clapboards».
- [17] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM), «Astm C78/C78M - 02»:., *Stand. Test Method Flexural Strength Concr. (Using Simple Beam with Third-Point Loading)ASTM Int. USA*, vol. 04.02, p. 1-3, 2002, doi: 10.1520/C0078\_C0078M-16.
- [18] ASTM C496-96, «Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens», *ASTM Int. West Conshohocken, PA*, vol. 04, núm. March, p. 1-4, 1996.
- [19] T. Insulation, «Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus 1», vol. 04.
- [20] O. Mass, S. Mass, A. Immersion, S. Mass, A. Boiling, i I. A. Mass, «Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete», p. 11-13, 2008.
- [21] ASTM C20-00, «Standard Test Methods for Apparent Porosity , Water Absorption , Apparent Specific Gravity , and Bulk Density of Burned Refractory Brick and Shapes by Boiling Water», *Am. Soc. Test. Mater.*, vol. 00, núm. Reapproved 2015, p. 1-3, 2015, doi: 10.1520/C0020-00R10.2.
- [22] J. Claramunt, L. J. Fernández-Carrasco, H. Ventura, i M. Ardanuy, «Natural fiber nonwoven reinforced cement composites as sustainable materials for building envelopes», *Constr. Build. Mater.*, vol. 115, p. 230-239, 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.04.044.
- [23] B. W. Jo, S. Chakraborty, i Y. S. Lee, «Hydration study of the polymer modified jute fibre reinforced cement paste using analytical techniques», *Constr. Build. Mater.*, vol. 101, p. 166-173, 2015, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.10.086.
- [24] V. D. C. Correia, S. F. Santos, G. Mármol, A. A. D. S. Curvelo, i H. Savastano, «Potential of

- bamboo organosolv pulp as a reinforcing element in fiber-cement materials», *Constr. Build. Mater.*, vol. 72, p. 65-71, 2014, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.09.005.
- [25] M. Bołtryk i E. Pawluczuk, «Properties of a lightweight cement composite with an ecological organic filler», *Constr. Build. Mater.*, vol. 51, p. 97-105, 2014, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.10.065.
- [26] M. Chabannes, J. C. Bénézet, L. Clerc, i E. Garcia-Diaz, «Use of raw rice husk as natural aggregate in a lightweight insulating concrete: An innovative application», *Constr. Build. Mater.*, vol. 70, p. 428-438, 2014, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.07.025.
- [27] N. Banthia, C. Zanotti, i M. Sappakittipakorn, «Sustainable fiber reinforced concrete for repair applications», *Constr. Build. Mater.*, vol. 67, núm. PART C, p. 405-412, 2014, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.12.073.
- [28] S. Chakraborty, S. P. Kundu, A. Roy, R. K. Basak, B. Adhikari, i S. B. Majumder, «Improvement of the mechanical properties of jute fibre reinforced cement mortar: A statistical approach», *Constr. Build. Mater.*, vol. 38, p. 776-784, 2013, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2012.09.067.
- [29] M. A. S. Mohamed, E. Ghorbel, i G. Wardeh, «Valorization of micro-cellulose fibers in self-compacting concrete», *Constr. Build. Mater.*, vol. 24, núm. 12, p. 2473-2480, 2010, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2010.06.009.
- [30] R. D. Toledo Filho, F. de A. Silva, E. M. R. Fairbairn, i J. de A. M. Filho, «Durability of compression molded sisal fiber reinforced mortar laminates», *Constr. Build. Mater.*, vol. 23, núm. 6, p. 2409-2420, 2009, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2008.10.012.
- [31] F. Kesikidou i M. Stefanidou, «Natural fiber-reinforced mortars», *J. Build. Eng.*, vol. 25, núm. March, p. 100786, 2019, doi: 10.1016/j.job.2019.100786.
- [32] N. Benmansour, B. Agoudjil, A. Gherabli, A. Kareche, i A. Boudenne, «Thermal and mechanical performance of natural mortar reinforced with date palm fibers for use as insulating materials in building», *Energy Build.*, vol. 81, p. 98-104, 2014, doi: 10.1016/j.enbuild.2014.05.032.
- [33] P. R. L. Lima, R. D. Toledo Filho, i J. A. Melo Filho, «Compressive stress-strain behaviour of cement mortar-composites reinforced with short sisal fibre», *Mater. Res.*, vol. 17, núm. 1, p. 38-46, 2014, doi: 10.1590/S1516-14392013005000181.
- [34] A. Abbass, P. B. Lourenço, i D. V. Oliveira, «The use of natural fibers in repairing and strengthening of cultural heritage buildings», *Mater. Today Proc.*, núm. xxxx, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.02.206.