



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA

ESTUDI DE LA VISCOSITAT I CAPACITAT DE PENETRACIÓ DE PASTES DE CIMENT ALUMINÓS DOPADES PER AL SEU US COM A MÀTRIU PER A FIBROCIMENTS REFORÇATS AMB NOTEIXITS DE FIBRA VEGETAL

Treball de Fi de Grau

Grau en Enginyeria de Sistemes Biològics

Autor: Arnau Boada Matarín

Tutor: Josep Claramunt Blanes

Setembre de 2017

Resum

La producció del ciment d'aluminat de calci, o CAC, és, actualment, reduïda ja que s'utilitza en aplicacions molt especialitzades i és fins a quatre cops més costós econòmicament que el ciment pòrtland (el més comú). A la indústria del fibrociment no s'han trobat referències d'ús del CAC, no obstant això, aquest ciment té unes característiques que aplicant-les al fibrociment ens poden proporcionar molts beneficis, així com aconseguir evitar certs problemes que té l'ús del ciment pòrtland. En aquest treball de final de grau analitzarem propietats del ciment aluminós tals com la viscositat, la penetració en fibra noteixit i la seva granulometria.

L'objectiu principal és arribar a aconseguir un producte amb millors propietats que el fibrociment produït amb ciment pòrtland, tenir una major durabilitat i intentar superar les febleses de l'ús del CAC.

Per tal de dur a terme l'experiment hem estudiat diferents mostres de CAC amb metacaolí (una addició que ens pot millorar les propietats) des de quantitats 100%-0% fins 50%-50% de la matriu de ciment respectivament. Hem fet assajos per cada mostra amb 3 continguts d'aigua diferents (35%, 40% i 45%) i per cada experiment diferent també s'ha realitzat una repetició afegint fluïdificant i una altra sense afegir-ne.

Els resultats ens indiquen que la pasta de ciment amb metacaolí és un fluid viscoplàstic. La viscositat augmenta a mesura que reduïm la quantitat d'aigua i afegim més metacaolí.

La variació de la penetració del ciment en la fibra de noteixit no té cap relació clara amb presència d'agent superfluïdificant. En canvi, la penetració augmenta subtilment incrementant la quantitat d'aigua de la pasta de ciment sense presència de superfluïdificant.

Resumen

La producción del cemento de aluminato de calcio, o CAC, es, actualmente, reducida debido a que se utiliza en aplicaciones muy especializadas y es hasta cuatro veces más caro económicamente que el cemento portland (el más común). En la industria del fibrocemento no se han encontrado referencias en el uso del CAC, no obstante, este cemento tiene unas características que aplicándolas al fibrocemento nos pueden proporcionar muchos beneficios y también evitar ciertos problemas que tiene el uso del cemento portland. En este trabajo de final de grado analizaremos las propiedades del cemento aluminoso tales como la viscosidad, la penetración en la fibra de no tejido y su granulometría.

El objetivo principal es conseguir un producto con mejores propiedades que el fibrocemento producido con cemento portland, tener una mayor durabilidad e intentar superar las debilidades del uso del CAC.

Para llevar a cabo el experimento hemos estudiado diferentes muestras de CAC con metacaolín (una adición que puede mejorar las propiedades) des de cantidades 100%-0% hasta 50%-50% en la matriz de cemento, respectivamente. Hemos hecho ensayos para cada muestra con 3 contenidos de agua diferentes (35%, 40% i 45%) y para cada experimento diferente se ha realizado una repetición añadiendo fluidificante y otra sin añadirlo.

Los resultados nos indican que la pasta de cemento con metacaolín es un fluido viscoplástico. La viscosidad aumenta a medida que reducimos la cantidad de agua y añadiendo más metacaolín.

La variación de la penetración del cemento en la fibra de no tejido no tiene ninguna relación clara en la presencia de agente superfluidificante. En cambio, la penetración incrementa sutilmente aumentando la cantidad de agua en la pasta de cemento sin la presencia de superfluidificante.

Abstract

The production of calcium aluminate cement, or CAC, is currently reduced as it is used in highly specialized applications and it is up to four times more expensive than Portland Cement (the most common one). In the fiber cement industry, there are no references about the use of CAC, however, this cement has some characteristics that, by applying them to fibrocement, can provide many benefits, as well as avoid certain problems in the use of portland cement. In this Bachelor's thesis we will analyze some properties of the aluminous cement such as viscosity, penetration in nonwoven fiber and granulometry.

The main objective is to achieve a product with better properties than the fibrocement produced with Portland cement, having a greater durability and trying to overcome the weaknesses of the use of CAC.

In order to carry out the experiment we have studied different samples of CAC with metakaolin (an addition that can improve its properties) from quantities 100% -0% up to 50% -50% of the cement matrix. We have done essays for each sample with 3 different water contents (35%, 40% and 45%) and for each different experiment we have done a repetition adding a superplasticizer agent and another without adding it.

The results indicate that the cement paste with metakaolin is a viscoplastic fluid. The viscosity increases as we reduce the amount of water and add more metakaolin. The variation in the penetration of cement on the nonwoven fiber does not follow any relation with the presence of the plasticizer agent. On the other hand, penetration increases a bit by adding more water in the cement paste without the presence of superplasticizer.

Índex

1. Introducció	10
1.1 El ciment.....	10
1.1.1. Ciment pòrtland	10
1.1.2 Ciment d'aluminat de calci.....	14
1.1.3 Millores aplicables al ciment. Addicions i additius.....	19
1.2 Les fibres vegetals.....	21
1.3 El fibrociment.....	22
1.3.1 L'evolució	22
1.3.2 Característiques	24
1.3.3 Comportament del fibrociment.....	24
1.3.4 Problemes en la interacció.....	26
1.3.5 Millores i solucions.....	27
1.4 Noves tecnologies en la fabricació. Els laminats de noteixits.....	27
1.4.1 Els laminats de noteixit	27
1.4.2 Tipus de noteixits.....	28
1.4.3 La producció.....	29
1.4.4 Com obtenir un millor laminat	29
2. Objectius	31
3. Materials i mètodes	32
3.1. Materials.....	32
3.1.1. Ciment d'aluminat de calci.....	32
3.1.2. Metacaolí.....	32
3.1.3. Superfluïdificant.....	33
3.1.4. Noteixit	33
3.2. Mètodes.....	34
3.2.1. Granulometria.....	35
3.2.2. Viscositat	35

3.2.3. Penetració	38
4. Resultats	40
4.1. Granulometria.....	40
4.1.1. Resultats del ciment pòrtland.....	40
4.1.2. Resultats del ciment l'aluminat de calci.....	41
4.1.3. Resultats del metacaolí	42
4.2. Resultats de la viscositat	45
4.2.1. Mostres sense superfluidificant.....	46
4.2.2. Mostres amb superfluidificant	48
4.3. Penetració	52
5. Conclusions	54
6. Referències	55
7. Annexos	59

Índex de Figures

Figura 1. Formació dels diferents hidrats de CAC en funció de la temperatura.[4].....	16
Figura 2. Cobertes amb fibrociment <i>Vivienda Social, cubierta chapa ondulada Peril76® color</i> . [15].....	23
Figura 3. Panells per façanes - EQUITONE Londres - Pabellón Clerkenwell. [16].....	23
Figura 4. Agitador Stirrer LH.....	36
Figura 5. Fases del programa al Software RheoWin 4.1.....	37
Figura 6. Viscosímetre model VT 550 de ThermoHaake.....	37
Figura 7. Material per fer la prova de penetració.	38
Figura 8. Tac de resina amb 6 mostres de noteixit amb ciment.....	39
Figura 9. Penetració en la fibra des de la lupa.....	39
Figura 10. Anàlisi granulomètric del ciment pòrtland.....	40
Figura 11. Anàlisi granulomètric del ciment d'aluminat de calci.....	41
Figura 12. Anàlisi granulomètric del metacaolí.....	42
Figura 13. Gràfic de volum acumulat en funció del diàmetre dels components.....	43

Figura 14. Gràfic de volum acumulat en funció del diàmetre dels components segons dosificacions.....	44
Figura 15. Gràfic de volum acumulat en funció del diàmetre dels components amb les dosificacions més semblants al ciment pòrtland.....	44
Figura 16. Gràfic generat amb les dades obtingudes pel viscosímetre amb la primera mostra.....	45
Figura 17. Els tres valors de tensió de tall màxima de les 5 mostres amb 35% d'aigua i sense superfluïdificant.....	46
Figura 18. Els tres valors de tensió de tall màxima de les 5 mostres amb 40% d'aigua i sense superfluïdificant.....	47
Figura 19. Els tres valors de tensió de tall màxima de les 5 mostres amb 45% d'aigua i sense superfluïdificant.....	47
Figura 20. Els tres valors de tensió de tall màxima de les 6 mostres amb 35% d'aigua i amb superfluïdificant.....	48
Figura 21. Els tres valors de tensió de tall màxima de les 6 mostres amb 40% d'aigua i amb superfluïdificant.....	49
Figura 22. Els tres valors de tensió de tall màxima de les 6 mostres amb 45% d'aigua i amb superfluïdificant.....	50
Figura 23. Correlació de la viscositat amb el model de Bingham (primer cicle de la mostra 1).....	51

Índex de Taules

Taula 1. Aplicacions principals segons el tipus de ciment al RC/16. [2].....	13
Taula 2. Grau d'idoneïtat de cada ciment per a cada ús primari o classe de formigó. [3].....	14
Taula 3. Resistència dels formigons de CAC a diferents temperatures de curat. [5]....	16
Taula 4. Proporcions de cada component de l'experiment.....	34
Taula 5. Penetració de les pastes de ciment sense superfluïdificant al noteixit segons quantitat d'aigua.....	52
Taula 6. Penetració de les pastes de ciment amb superfluïdificant al noteixit segons quantitat d'aigua.....	53

Nomenclatura química

$C_3S = Ca_3SiO_5$ (Silicat tricàlcic)

H = H_2O (Aigua)

CH = $Ca(OH)_2$ (hidròxid de calci)

$C_3S_2H_4 = Ca_3[H_2Si_2O_7](OH)_2$ (silicat tricàlcic hidratat)

CA = $CaAl_2O_4$ (aluminat calci)

AH3 = $Al(OH)_3$ (hidròxid d'alumini)

Abreviacions

CAC = Ciment d'aluminat de calci

CP = Ciment pòrtland

MK = metacaolí

SF = Sense fluïdificant

F = Amb fluïdificant

1. Introducció

Avui en dia el ciment pòrtland, CP, és l'aglomerant més utilitzat en els diferents sectors de la construcció i producció de materials [1]. Les seves propietats i els seu baix cost el fan el més adient per l'ampli ventall d'utilitats que se li pot donar a un material d'aquestes característiques. Ara bé, a l'hora de produir fibrociment amb matriu de CP reforçada amb fibra de cel·lulosa, s'han experimentat problemes de durabilitat i pèrdua de propietats mecàniques. És per això que al nostre estudi utilitzarem el ciment d'aluminat de calci per la producció del fibrociment i n'analitzarem certes propietats.

1.1 El ciment

-Què és?

El ciment és un material en pols que al ser barrejat amb aigua agafa una forma pastosa. En contacte amb l'aire o la mateixa aigua, la pasta s'endureix i es torna sòlida. Aquest enduriment és donat per diferents reaccions químiques amb l'aigua (hidratació), que fan que el mateix ciment endurit pugui mantenir el seu estat en contacte amb diferents condicions ambientals externes.

Els dos tipus de ciments comercials més habituals són el ciment pòrtland i el ciment d'aluminat de calci.

1.1.1. Ciment pòrtland

-Composició

Aquest ciment es basa en un clínquer de pòrtland barrejat amb certes addicions i altres components més minoritaris. El clínquer és la pols resultant d'un procés de cocció, en el cas del pòrtland, roques calcàries i argila, a aproximadament 1500°C de temperatura, amb un posterior refredament i molturació.

El clínquer de pòrtland (K) està compost per mínim un 66% de silicat de calci, tenint també alumini, ferro i altres compostos. La composició final del ciment, tenint en compte les addicions, acabarà fent que les propietats finals del material variïn.

A continuació veurem quines addicions diferents pot tenir el clínquer de ciment pòrtland (K):

Escòria d'alt forn (S): Conté, com a mínim, un 66% d'escòria vítria, residus de processos de la siderúrgia.

Putzolanes (P, Q): Substàncies de composició silícica o silico-aluminosa

Putzolana natural (P): Origen volcànic o roques sedimentàries.

Putzolana natural calcinada (Q): Origen volcànic, pissarres, argiles o roques sedimentàries activades tèrmicament.

Cendres volants (V, W): Obtingudes a partir de substàncies en forma de partícules fines que han sigut arrossegades pels fluxos gasosos de forns, alimentats amb carbó polvoritzat, i que s'han precipitat electrostàticament. Segons el seu origen les cendres volants es poden classificar en naturalesa silícica (V), amb propietats més semblants a les putzolàniques, i naturalesa calcària (W), amb propietats més hidràuliques.

Esquist calcinat (T): L'esquist calcinat, particularment el bituminós, es produeix a un forn a temperatures a prop dels 800°C. Degut a la composició del material natural i al procés de producció, l'esquist calcinat té fases de clínquer i proporcions majors d'òxids amb capacitat de reacció putzolànica. En conseqüència, presenta propietats hidràuliques com les del ciment pòrtland, així com propietats putzolàniques.

Calcària (L, LL): El contingut de carbonat de calci no serà inferior al 75%, el d'argila també té un mínim fixat (1,2g/100g) i per acabar segons el tipus (L o LL) el contingut de carboni orgànic total no serà superior al 0,5% i al 0,2% respectivament.

Fum de sílice (D): Té el seu origen en la reducció de quars bastant pur amb carbó en forn elèctric. Conseqüentment es produeix silici i aliatges de ferrosilici, partícules molt fines amb almenys 85% de diòxid de silici.

-Altres components minoritaris

Els components addicionals minoritaris són materials naturals o derivats del procés de fabricació del clínquer. Estaran correctament seleccionats, homogeneïtzats, assecats i polvoritzats.

Aquests components no han d'augmentar de forma sensible l'aigua necessària pel ciment ni faran disminuir la resistència del formigó o del morter. En general el que aconseguen és millorar les propietats físiques del ciment (retenció d'aigua, docilitat...). Un exemple n'és el Sulfat de Calci, material que serveix per controlar la velocitat d'enduriment del ciment.

A la taula de l'annex A es mostren més àmpliament els tipus de ciments amb clínquer de pòrtland, regulats a la llei RC/16, segons les seves composicions. Els ciments són classificats de la següent manera:

CEM I: Ciment pòrtland.

CEM II: Ciment pòrtland amb escòria, Ciment pòrtland amb fum de sílice, Ciment pòrtland amb putzolana, Ciment pòrtland cendres volants, Ciment pòrtland amb esquistos calcinats, Ciment pòrtland amb calcària, Ciment pòrtland compost.

CEM III: Ciment d'alt forn.

CEM IV: Ciment putzolànic.

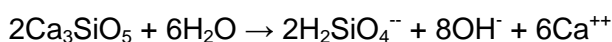
CEM V: Ciment compost.

-Reacció d'hidratació del CP

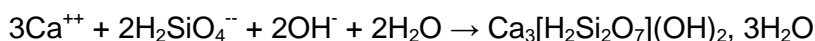
La hidratació és el procés en que l'aigua i els components hidràulics del ciment reaccionen per obtenir un producte sòlid amb propietats mecàniques aptes per a ser utilitzat com a material de construcció.

Els silicat tricàlcic (C_3S) és el component majoritari en el clínquer de ciment pòrtland i el que aporta els compostos principals en els processos d'hidratació. A continuació tenim les seves reaccions:

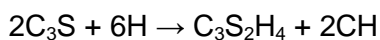
El primer pas és la dissolució dels silicats amb l'entrada de l'aigua:



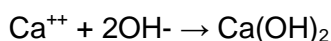
A continuació es produeix la precipitació del silicat càlcic hidratat (C-S-H).



Fent ús de la nomenclatura química de ciment la reacció total seria aquesta:



Els OH⁻ productes de la primera reacció augmenten el pH, i els Ca⁺⁺ la quantitat de calci, ambdós reaccionant i formant més hidròxid de calci (CH):



Aquest hidròxid de calci (CH) és el responsable d'un augment de la dissolució de C₃S provocant una precipitació superior de C-S-H fins que l'aigua s'esgota. L'hidròxid de calci també provoca degradació de la fibra natural en els fibrociments, procés que també veurem en aquest treball.

El silicat càlcic hidratat quan s'endureix genera les resistències que caracteritzen el ciment. La resistència del ciment es deu a que el C-S-H té la capacitat d'unir les seves pròpies molècules a partir de ponts d'hidrogen o d'ions de calci.

-Aplicacions

Anteriorment hem vist la classificació dels ciments a la normativa RC/16 [3]. Segons la mateixa normativa, cada CEM té aplicacions específiques en correlació amb les seves propietats. A la taula de l'annex A podem veure com per cada CEM hi ha diferents varietats segons la composició. A continuació tenim les aplicacions principals segons el tipus de ciments (Taula 1) i el grau d'idoneïtat segons el seu ús (Taula 2):

Taula 1. Aplicacions principals segons el tipus de ciment al RC/16. [2]

Tipus de ciment	Aplicacions principals
CEM I (sense addició principal)	Formigons i prefabricats de resistència alta o molt alta. Obres públiques especials de formigó pretensat.
CEM II/A (Baix contingut d'addició principal)	Formigons, prefabricats i morters en general, de resistència alta o mitjana.
CEM II/B (Moderat contingut d'addició principal)	Formigons i morters en general, especialment de resistència mitjana o baixa.
CEM III (D'alt forn)	Formigons en ambients agressius (sulfats presents en el terreny, aigües agressives i de mar, etc.). Equivalent al tipus SR.
CEM IV (Putzolànic)	Formigons i morters en general, especialment en ambients moderadament agressius per aigües pures, dèbilment àcides o carbòniques agressives. Formigons per a obres hidràuliques. Formigons amb àrids reactius amb els àlcals.
CEM V (Compost)	Estabilització de sòls. Terres de ciment, grava ciment i bases de ferms. Formigó sec i compactat per preses o grans massissos.

Taula 2. Grau d'adequació de cada ciment per a cada ús primari o classe de formigó. [3]

	Ciments comuns (CEM)															Ciments Blancs (BL)			
	I/															II/			
	I	A-S	B-S	A-D	A-P	B-P	A-V	A-L	B-L	A-M	B-M	A	B	A	B	A	I	II	22,5 X
En massa																			
Armat																			
Pretesat																			
Prefabricats estructurals no pretesats																			
Prefabricats no estructurals																			
En massa o armat en grans volums																			
Compactat amb corró																			
D'alta resistència																			
Fonaments en massa																			
Fonaments armats																			
Amb àrids reactius																			
Bases tractades amb ciment																			
Estabilització de sòls																			
Paviments de formigó per a carreteres																			
Enrajolat de paviments																			
Reparacions d'urgència																			
Per a desencofrat, descintrat i desemmotllat ràpids																			
Projectat																			
	I	A-S	B-S	A-D	A-P	B-P	A-V	A-L	B-L	A-M	B-M	A	B	A	B	A	I	II	22,5 X
	I/															II/			
	Ciments comuns (CEM)															Ciments Blancs (BL)			

Molt adequat
 Adequat
 Utilitzable
 No utilitzable
 Prohibit

1.1.2 Ciment d'aluminat de calci

El clínquer de ciment d'aluminat de calci és la barreja homogènia de materials aluminosos i calcaris, contenint elements tals com Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 , i petites quantitats d'altres òxids com SiO_2 , TiO_2 , S , SO_3 , Cl , Na_2O , K_2O , etc. Aquest clínquer de ciment comercialment està disponible sense altres addicions.

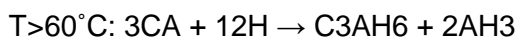
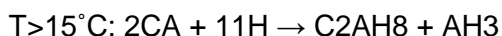
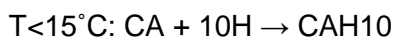
-Composició

Tal i com s'ha especificat a la introducció, el CAC [2] està format per la barreja de bauxites i pedres calcàries i el posterior escalfament a temperatures properes als $1600^\circ C$, compost en una majoria d'òxid d'alumini (mínim 30%), calci, òxids de ferro i sílice. Un cop la barreja s'ha solidificat és triturada fins a obtenir la pols que farem servir.

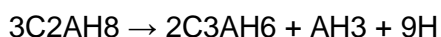
-Reacció d'hidratació del CAC

El ciment aluminós té una composició en que molts dels seus components reaccionen amb l'aigua. En el procés d'hidratació del CAC s'estudia a partir de l'aluminat de calci "CA" (C=CaO i A=Al₂O₃), ja que és el component mineralògic majoritari en el clínquer. El CAC aporta els compostos principals en els processos d'hidratació i per tant és el que acaba formant la majoria de les resistències del ciment.

La temperatura juga un paper molt important en el procés, ja que en la primera de les reaccions d'hidratació es poden obtenir fins a tres productes diferents segons la temperatura ambient a la que estiguem treballant (en aquest cas utilitzem la nomenclatura del ciment):



Els productes de les dues primeres reaccions són molt inestables i amb el temps tendeixen a agafar la forma de C₃AH₆. Una temperatura ambient alta provoca que aquesta transformació sigui més ràpida.



És aquest producte, el C₃AH₆, el que ens permet obtenir les propietats que volem en el ciment.

A la figura següent (Figura 1) tenim el producte obtingut en funció de la temperatura.[4]

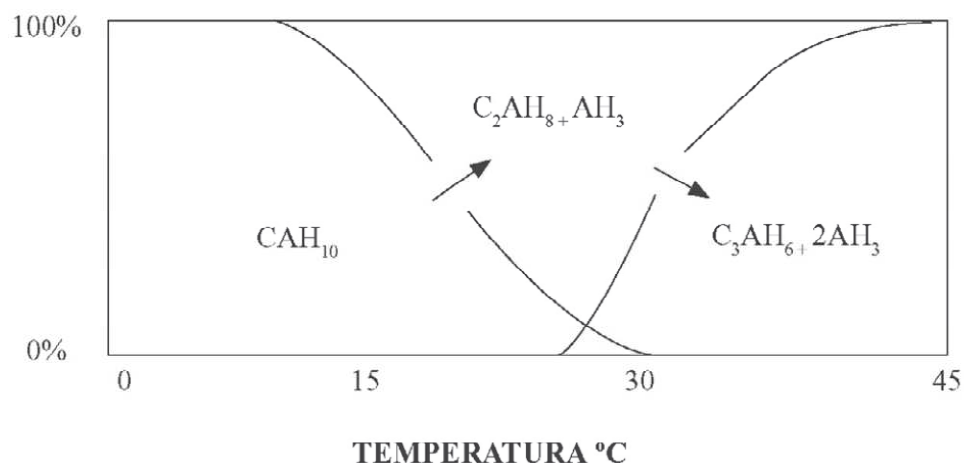


Figura 1. Formació dels diferents hidrats de CAC en funció de la temperatura. [4]

-Propietats

El CAC té diferents propietats força interessants. És un ciment que, respecte la seva capacitat mecànica, té un enduriment molt ràpid. La resistència obtinguda per el CAC depèn molt de la temperatura a que es realitza la pasta de ciment, així com la relació aigua/ciment. Per una menor quantitat d'aigua en el ciment s'obté un producte amb una major resistència. És per això que volem que el nostre producte final sigui obtingut a partir de una relació A/C el més baixa possible i si s'escau farem ús de fluidificant.

Pel que fa a la temperatura a la que hidratem el ciment, podem veure a la taula següent (Taula 3) com a menys temperatura, més resistència a la compressió. Nosaltres realitzarem els experiments a temperatura ambient (20°C). [5]

Taula 3. Resistència dels formigons de CAC a diferents temperatures de curat. [5]

Relació Aigua/Ciment	Temperatura de curat	Resistència a la compressió (MPa)
0,33	10	91
	20	90
	30	88
	50	68
	70	46,5
0,40	10	81,5
	20	77
	30	78
	50	55,5
	70	34,5
0,50	10	70
	20	72
	30	67,5
	50	32
0,67	70	22
	10	60,5
	20	55
	30	50
	50	24
	70	9

Respecte la durabilitat, el CAC és un tipus de ciment que davant de medis agressius respon molt bé i en molts casos millor que el CP. En ambients àcids el CAC té una millor resposta comparat amb el CP. Degut a les respectives composicions, el CP a partir de menys de pH 7 ja comença a tenir un deteriorament a una velocitat moderada. En canvi, els aluminats càlcics hidratats i l'hidròxid d'alumini (majoritaris al CAC), comencen a ser atacats per l'àcid a partir de pH menors a 4 i a una velocitat lenta, tal com exposen S. Chinchón i M. Sanjuán [4].

Pel que fa als cicles gel i desgel s'ha comprovat com el formigó fet de CAC, amb resistències de compressió superiors a 50 MPa i amb porositat de menys del 13%, té un excel·lent comportament. [6]

Diversos estudis demostren la llarga durabilitat del CAC en ambients on hi ha alta concentració de sulfats. Els formigons que hi han conviscut més de 20 anys mantenen les seves propietats intactes.

Per altra banda, tenim que el ciment estudiat és molt vulnerable en medis alcalins. El procés s'inicia amb la penetració d'aquests alcalins a través dels porus del formigó, a continuació reaccionen amb els aluminats de calci del ciment. A conseqüència d'això, els aluminats de calci s'hidrolitzen i a partir de certes reaccions acaben totalment consumits. Aquest procés, anomenat hidròlisi alcalina, té com a conclusió la destrucció del formigó de forma fugaç. [4]

Els alcalins es poden trobar en formigons de CP, en els àrids i a l'aigua amb que hidratem el ciment. Alguns exemples d'aquests tipus de materials són granits, esquists, roques amb molts feldespat i/o miques així com en els materials addicionats al clínquer de ciment pòrtland inicial.

Una altra propietat que té el CAC és la gran resistència a la calor. És capaç de resistir fins a temperatures properes als 1000°C

-Aplicacions

Formigons refractaris

L'aplicació més comuna és la fabricació de morters i formigons refractaris. Aquests materials són capaços de resistir ambients i situacions on tenen contacte amb temperatures molt altes.

Situacions on es necessita enduriment ràpid

Com ja s'ha esmentat anteriorment, el CAC té un enduriment molt ràpid, això fa que el formigó produït pugui ser utilitzat en entre 6 i 24 hores. Aquest fet fa que sigui un bon material a l'hora de ser utilitzat en construccions geotècniques (mines i túnels) ja que es busca una estabilització ràpida. Tots aquells sectors de la construcció que necessiten una ràpida posada en funcionament (ja que són molt freqüentats o necessiten immediatesa) són molt adequats per aplicar-hi el CAC, tals com passos a nivell, interseccions de carreteres, entrades de botigues...[4]

Construccions en medis agressius

La gran resistència química del CAC el fa ideal en la construcció de tancs, col·lectors, sòls i altres sectors on hi poden haver-hi medis agressius. Inclús pot ser aplicat com a material aïllant de reactors atòmics. Hi ha diferents casos on en grans ciutats s'ha aplicat com a material per canonades d'aigües residuals amb una durabilitat superior als 50 anys. [7]

Processos d'innertació

Aquest ciment pot ser utilitzat com a matriu per ser barrejat amb materials tòxics o que desitgem eliminar per tal de transformar-los i que quedin inerts. Aquest procés es pot aconseguir ja sigui mitjançant la reacció química del ciment amb el material a reduir o bé per unió mecànica de la barreja. D'aquesta forma s'aconsegueix que el material tòxic atrapat tingui una disminució de la seva mobilitat, obtenint així un potencial menor de contaminació, per exemple, a partir de lixiviació. Aquesta aplicació és viable gràcies a la llarga durabilitat del ciment d'aluminat de calci.

-Economia i solucions

La problemàtica principal del ciment aluminós és el seu preu, entre 350€ i 400€ cada tona, comparant-lo amb el ciment pòrtland que té un valor d'entre 80 i 100€ per tona (font: Grupo Cementos Molins). El preu del metacaolí és de 35-40 €/tona, és per això

que com més en puguem afegir al clínquer de CAC més abaratirem el producte final. Amb l'addició també buscarem aconseguir una millora de rendiment en el fibrociment.

1.1.3 Millores aplicables al ciment. Addicions i additius.

-Addicions

Les addicions són productes en pols sense propietats hidràuliques que barrejats amb el clínquer de ciment modifiquen algunes de les seves propietats.

Tal com hem vist anteriorment, hi ha diferents addicions: l'escòria d'alt forn, materials putzolònics, cendres volants, esquistos calcinats, calcàries, fum de sílice, sulfats de calci...

Segons el percentatge de composició del ciment compost obtindrem unes propietats concretes, com resistències a l'aigua del mar, als sulfats i per altres usos especials. [2]

Metacaolí (MK)

El metacaolí és una substància en pols (com el ciment) que té un color blanc apagat i que és obtingut de l'argila anomenada Caolinita. Tradicionalment la Caolinita s'ha utilitzat per obtenir porcellana i proporciona al ciment un acabat blanquinós que millora el seu aspecte. Si tractem la Caolinita durant 30 minuts al forn a 850°C s'aconsegueix la transformació dels cristalls d'òxid de sílice que contenen la sílice amorfa convertint-se així en un material putzolànic.

Aquest material és molt important en el nostre estudi degut a la gran quantitat que n'afegirem a la matriu de ciment. Més enllà de les seves propietats, necessitem que l'addició sigui un material molt reactiu amb el ciment. El fet que el MK sigui majoritàriament òxid de sílice ens permet activar les reaccions putzolòniques, sent així un material molt compatible amb el CAC. [7]

Les reaccions putzolòniques són les que tenen lloc entre l'hidròxid de calci del ciment i els materials silícics de l'addició amb presència d'aigua. La combinació del MK amb l'hidròxid de calci forma silicats, sílico-aluminats i aluminats de calci que es dipositen en els porus del ciment conferint-li una sèrie de propietats.

El MK pot ser utilitzat en ciments d'alt rendiment, formigons amb finalitats arquitectòniques, civils, industrials i estructurals, productes fets amb fibrociment, formigó armat de fibra de vidre i altres. [9]

L'addició d'aquest material en diferents proporcions ens pot donar una sèrie d'avantatges si és aplicat correctament:

- Permeabilitat reduïda.
- Més resistència a atacs químics.
- Durabilitat augmentada.
- Augment de la resistència a forces de compressió i flexió.
- Reducció de la reactivitat a medis alcalins i silícis.
- Millora de la funcionalitat i l'acabat del formigó.
- Reducció de la contracció a causa de l'empaquetat de partícules, fent el formigó més dens.
- Disminució de l'efecte de la reactivitat negativa entre l'alcalinitat i els materials silícis d'alguns ciments.
- Reducció de la tendència a l'eflorescència (disminució de la formació de pols provocada per la pèrdua d'aigua).

-Additius

Els additius són components que no estan contemplats als apartats anteriors i que s'afegeixen com a millora de les propietats del producte final. Aquests productes són aplicats quan es forma la pasta de ciment, és a dir, no formen part de la barreja entre el clínquer i les addicions. La quantitat d'additius inorgànics en la mescla no ha de ser superior a l'1% i la dels additius orgànics al 0,2%, en conseqüència augmenten el volum de forma negligible però aporten una millora notable. [2]

Un possible additiu és el material fluïdificant. Els fluïdificants són utilitzats per donar una major fluïdesa a la pasta de ciment, podent reduir de forma bastant interessant la quantitat d'aigua necessària. La reducció en la proporció Aigua/Ciment fent ús d'additius ens permet obtindre un ciment més resistent que no perd la facilitat per manejar-lo. [10]

1.2 Les fibres vegetals

L'ús de les fibres vegetals per reforçar els materials no és cap novetat actual. És un producte amb una alta disponibilitat, econòmicament assequible i amb bona resistència. La combinació de les tres propietats anomenades anteriorment fan que la fibra sigui un gran candidat per ser escollit com a material complementari al ciment.

Tant als països punters com als que estan en vies de desenvolupament hi ha hagut un augment de l'ús de les fibres vegetals. La creixuda de polítiques mediambientals, la senzillesa del procés productiu i la poca energia necessària en la fabricació són factors importants que han ajudat a la l'expansió d'aquest material. Un altre punt positiu és que poden aprofitar les fibres residuals de diverses indústries substituint altres productes no renovables. També pot ser una alternativa a la prohibició de l'ús de l'amiant i altres materials com la fibra de vidre, materials que poden ser perjudicials per la salut i el medi ambient. [11]

Els productes fibrosos obtinguts són materials de baix cost econòmic amb bones propietats mecàniques (com resistència al impacte), però que també tenen desavantatges degut a la fibra, com és la seva debilitat en medis alcalins. Al ser tant assequible econòmicament i necessitar poca tecnologia, la fibra vegetal com a reforç és un candidat ideal com a material de construcció en països poc desenvolupats. Les fibres poden provenir del cotó, del lli, cànem i altres plantes fibroses.[12]

Els materials reforçats amb fibres tenen un ampli ventall d'aplicacions en la indústria de la construcció (com la bio-construcció per exemple) i la indústria del moble.

1.3 El fibrociment

1.3.1 L'evolució

Antigament s'havien fet servir les fibres per tal de complementar els materials de construcció. El material compost de fang i fibra (palla) tenia en el seu moment un ús molt comú a l'hora de construir cabanes i cases. Afegir fibra al material aglomerant (fang, ciment...) de forma adequada dóna certs beneficis, per exemple: més flexibilitat, tenacitat, ductilitat i/o resistència.

L'enginyer austríac Ludwig Hatschek va ser el creador d'aquest material, compost per una fibra anomenada "amiant" juntament amb el ciment. A finals del s. XIX i principis del següent es va començar a estendre l'ús del fibrociment als països més desenvolupats. El fibrociment era un material de construcció amb molt bones resistències a les temperatures i a les traccions. L'ús de l'amiant estava totalment estès a la majoria dels països desenvolupats, quan es va descobrir que el material era molt perjudicial per la salut. L'asbestosi, la malaltia que causava, era deguda a la inhalació de la pols provinent de les fibres d'amiant quan aquestes es trencaven, i podia provocar càncer de pulmó entre altres greus conseqüències. Al ser una malaltia que no es manifestava fins al cap de molts anys (fins a 30 anys en alguns casos) es va tardar molt a actuar contra la producció i utilització d'aquest material. És per això que, des d'aquest mateix segle XXI (2001), a Espanya està prohibit utilitzar amiant.

Des de la prohibició de l'amiant que la recerca sobre fibrociments de fibra natural va augmentar. La fibra natural té l'avantatge de que és un material econòmic, renovable, amb una disponibilitat molt elevada i que no es necessita una tecnologia molt desenvolupada per produir-la. Tot i així, l'alcalinitat del CP deguda al Ca(OH)_2 sempre ha sigut un gran problema amb el contacte amb el material cel·lulòsic, tenint un efecte molt negatiu en la durabilitat del conjunt. [13]

Una altra alternativa que ha prosperat és la producció de fibrociment a partir de fibra sintètica. Amb aquest procés s'obté un material d'excel·lent qualitat, però que econòmicament és poc assequible degut als costos de producció d'aquest tipus de fibres.

Actualment l'aplicació de fibrociment està molt enfocada en la construcció. Es pot trobar en forma de plaques (ondulades o llistes) o en forma de tubs. S'aplica com a material en cobertes, teulats, en sistemes de ventilació, façanes i canonades. [14]

A les Figures 2 i 3 podem veure exemples d'aplicació del fibrociment en materials per la construcció:



Figura 2. Cobertes amb fibrociment *Vivienda Social, cubierta chapa ondulada Peril76® color.* [15]



Figura 3. Panells per façanes - *EQUITONE Londres - Pabellón Clerkenwell.* [16]

1.3.2 Característiques

Hi ha diferents tipus de fibrociment, ja sigui pel procés de fabricació o bé pel tipus de fibra i ciment. Tot i així, el material compost té unes característiques generals que fan que el fibrociment sigui apte per a diferents usos. En aquest apartat veurem les característiques i paràmetres generals de cada component del fibrociment així com la seva funció.

El material bàsic és el ciment, que al ser barrejat amb la fibra també rep el nom de “matriu de ciment” ja que conté la fibra un cop el compost està fet. Així doncs, la matriu de ciment fixa i cohesiona les fibres i les protegeix del desgast extern. Les tensions externes que rep el ciment són transferides a les fibres, que actuaran en conseqüència. [17]

L'altre material que conforma el fibrociment és la fibra. Ja sigui artificial, natural o tingui diferents disposicions, aquesta fibra modifica la densitat de la matriu de ciment conferint-li una major lleugeresa. A més a més, aquesta fibra actua de forma mutualista, ja que, si està ben protegida i fixada per la matriu ciment, ajuda a que el ciment tingui més resistència a les tensions i flexions. Addicionalment les fibres ajuden a reduir l'aparició d'esquerdes al ciment, ja que uneix les dues parts separades de l'estructura per l'esquerda.

1.3.3 Comportament del fibrociment

- La matriu de ciment

El mòdul d'elasticitat i la resistència són dues propietats claus a l'hora d'avaluar la qualitat del fibrociment. És per això que és molt important analitzar la variació d'aquests dos paràmetres quan obtenim el fibrociment comparant-ho amb un ciment sense fibra.

Una altra propietat que també és molt interessant és la granulometria del ciment i la seva relació amb la immersió de les fibres un cop fem la barreja dels dos materials. La plasticitat de la pasta obtinguda al mesclar ciment i fibra també és modificada.

- Les fibres

Pel que fa a les fibres, també és molt important tenir en compte algunes de les seves propietats a l'hora d'aplicar-les en la producció del fibrociment. Aquests paràmetres poden variar en funció del material de procedència de les fibres i de la forma en que les utilitzem (en el nostre cas en forma de noteixit):

-La resistència i el mòdul d'elasticitat de les fibres ens indicarà fins a quin límit les podem portar, tenint molta importància a l'hora d'escollir la finalitat que el fibrociment tindrà.

-Tipus de trencament que experimenten degut a traccions, ja que això afecta en com reacciona el fibrociment després que es produeixi.

-La possible afecció a l'aigua i sensibilitat a la humitat també s'han de tenir en compte ja que són problemes potencials que pot tenir el fibrociment. [18]

- Comportament conjunt

Pel que fa a la relació entre la fibra i la matriu de ciment és molt important tenir en compte la adherència, la porositat i les possibles interaccions químiques entre els dos materials, al haver-hi moltes combinacions diferents segons la varietat de fibra i de ciment.

Les diferències entre processos de fabricació del material també fan que les propietats del fibrociment obtingut arribin a ser diferents, des de la seva formació (emmotllat, extrusió, laminació, etc), passant per la disposició de les fibres (laminar, homogènia, etc), el procés de compactació escollit i el curat final.

1.3.4 Problemes en la interacció

A continuació veurem diferents problemes que poden sorgir com a resultat de la interacció entre la matriu de ciment i la fibra.

-Degradació de la fibra degut a l'alcalinitat

El principal problema del fibrociment amb fibra natural i Ciment pòrtland és el producte anomenat l'hidròxid de calci (Ca(OH)_2). Aquest component, molt present en el ciment pòrtland, provoca que els components de la fibra, com són la cel·lulosa, la hemicel·lulosa i la lignina, hi reaccionin i acabin descomponent-se i degradant-se. El resultat del procés és l'aparició d'altres compostos (com àcid isosacàric) solubles en l'aigua i, a més a més, redueixen el grau de polimerització afectant a la resistència de la fibra. L'augment de la humitat en el fibrociment per circumstàncies ambientals accelera el procés de degradació ja que el Ca(OH)_2 es dissol en l'aigua i penetra més fàcilment en la fibra. El resultat d'aquest procés és la pèrdua de resistència del material. [19]

-Pèrdua d'adherència

Les variacions d'humitat en que els fibrociments poden estar exposats són un altre dels problemes. Al ser un material de construcció, si la superfície del fibrociment no està impermeabilitzat i protegit de forma adient pot donar-se la penetració d'humitat dins dels porus del material, així com el seu posterior assecatge quan l'ambient o les condicions canvien. [20]

Aquest procés natural s'aniria repetint de forma continuada i provocaria canvis en el volum de la fibra, ja que l'aigua ompliria l'espai interior (els porus) i s'arribaria a un punt en què es saturaria. A continuació hi hauria un asseccament que faria disminuir el volum de la fibra i apareixeria una tensió entre la matriu i la fibra. La tensió finalment provoca que es perdi adherència entre els dos components del fibrociment.

El resultat d'aquest procés seria la desunió de la fibra amb el ciment, degut a aquests "moviments" de dilatació-contracció de la fibra, acabant amb una menor resistència del fibrociment. [12]

-Pèrdua de resistència de la matriu degut als components solubles de la fibra

Durant el procés d'hidratació del ciment es pot produir una degradació química de la fibra. Quan la fibra conté força quantitat d'hemicel·lulosa, pectines, midons i/o glucoses pot ser que aquests productes es solubilitzin a l'aigua. Quan l'aigua que conté tots els productes anteriors participa en el procés d'hidratació del ciment poden donar-se interferències en les reaccions degut a la presència dels components provinents de la fibra.

La conseqüència d'aquestes interferències en la reacció d'hidratació és una pèrdua de la resistència de la matriu de ciment. [21]

1.3.5 Millores i solucions

S'han estudiat diferents tècniques i procediments per tal d'augmentar la durabilitat del fibrociment, com el tractament de les fibres, l'addició de materials putzolànics i el recobriment del material. Totes aquestes estratègies de millora no han obtingut resultats destacables.

Una nova tècnica pot ser el canvi del tipus de ciment, com l'ús del CAC. Aquest, és un procés que forma part de la nova línia d'investigació del grup de recerca TecTex i que estudiarem en aquest treball final de grau.

1.4 Noves tecnologies en la fabricació. Els laminats de noteixits

1.4.1 Els laminats de noteixit

Una nova variant en la producció de fibrociment és utilitzar la fibra en forma de noteixit. Aquest tipus de material està compost per fibra que no està filada sinó que s'aconsegueix mitjançant processos físics i mecànics obtenint així un material en forma de tela. Es pot fer tan amb fibres naturals com amb artificials i el tipus de fibra i la forma de fabricació del noteixit seran punts clau per definir les propietats del nou producte. [22]

Utilitzant aquest tipus de material, el fibrociment adquireix unes propietats interessants en termes de porositat, elasticitat, absorbència, lleugeresa, resiliència i duresa. [18]

1.4.2 Tipus de noteixits

Les diferents tècniques de producció de noteixits són bastant variades, des d'afegir un agent adhesiu o bé fonent les fibres amb calor, inclús dissolent les fibres i solidificant després la superfície. El procediment utilitzat en noteixits de fibres naturals és el de punxament per assegurar la posició dels diferents filaments i així acaba formant la unió de les fibres.

Hi ha quatre tipus de noteixits principals:

- Els noteixits vertaders són els fabricats a partir de fibres escollides i que s'han format a partir de planxes que les han adherit unes amb les altres.
- El feltre de base de pèls i llana, amb un mecanisme de mescla que acaba formant una làmina sense estar comprimida.
- Napes formades amb fibres de diferents qualitats que han sigut entrellaçades (poden haver sigut encolades o no)
- Noteixit de "paper" amb fibres artificials. Un producte amb fibres curtes que són sostingudes per una base.

Actualment la producció de noteixit experimenta un increment en la seva producció a tot el món, la seva versatilitat i propietats fan que cada cop s'hi trobin més aplicacions a l'indústria.

Econòmicament és un producte molt assequible de fabricar i obtenir ja que és un teixit que no requereix que es fili. A conseqüència d'aquest fet els costos de producció es redueixen molt. A més a més, l'ús de materials com les fibres residuals de diferents indústries, com pot ser la del paper, encara fa que el producte obtingut sigui més econòmic i inclús tingui una bona imatge respecte el medi ambient.

1.4.3 La producció

El procés de fabricació del fibrociment a partir de fibres en format noteixit és un procés sense gaire complicació tecnològica. Actualment no hi ha cap fabricant que estigui produint aquest tipus de material sinó que s'està fent a escala laboratori.

Per començar es necessita la utilització d'un motlle amb la capacitat de filtrar aigua i amb plaques per poder compactar a compressió el material final.

Aplicant una primera capa de ciment ben prima, es procedeix a fer una següent capa de noteixit que ocupa tota la superfície també i amb un gruix uniforme, aquesta primera capa de noteixit és protegida per la primera de ciment.

A continuació, es van intercalant diferents capes d'ambdós materials fins a obtenir el gruix desitjat. Un cop fet tot aquest procés es segueix fent una compactació, i per acabar es desemmotlla i es deixa madurar la mostra.

Els noteixits poden haver rebut un tractament previ a aquest procés. Aquests tractaments són empleats per tal de millorar les prestacions del material fibrós, tenint en compte el context i la utilitat final que té en el fibrociment.

1.4.4 Com obtenir un millor laminat

Hi ha diferents tècniques per obtenir un millor laminat de noteixit en el fibrociment.

-Nombre de capes

Si en comptes d'aplicar poques capes de noteixit n'apliquem més, però de gruix reduït, s'aconsegueix un material on la penetració del ciment és més fàcil tot i tenir el mateix volum de fibres. Amb aquesta tècnica també aconseguim una millor adhesió de la matriu de ciment amb la fibra.

A més a més, augmentar el nombre de capes també ens proveeix d'una major flexibilitat del material. Aquest fet que es pot aprofitar en certes aplicacions, ja que dona més versatilitat i el fibrociment pot recuperar la forma inicial més fàcilment després de patir tensions.

La tenacitat i el mòdul de ruptura tenen un augment percentual força elevat al passar de 3 a 4 capes de noteixit [23].

-Tractament d'aigua

Un dels altres processos que augmenten la qualitat del laminat és fer un tractament d'aigua a la fibra. El procés consisteix en aplicar diferents cicles sec-humit al noteixit, l'objectiu d'això és millorar l'estabilitat del noteixit en ambients humits i augmentar la seva adhesió a la matriu de ciment. Al rebre aquest tractament, el fibrociment final té una millora de les propietats com la tenacitat i el mòdul de ruptura i, en definitiva, un augment de la durabilitat de la fibra en el fibrociment. [24]

2. Objectius

Aquest treball final de grau és una de les parts d'un projecte més gran dut a terme per el grup TecTex i la UPC.

L'objectiu general és obtenir un fibrociment reforçat amb noteixit vegetal basat en ciment d'aluminat de calci i que tingui una elevada durabilitat. A més a més es vol aconseguir un fibrociment competitiu atès que el cost del ciment és 4 vegades superior al ciment pòrtland convencional, mitjançant la incorporació de material putzolànic compatible (el metacaolí en aquest treball).

Objectius específics d'aquest treball:

- Estudiar el comportament de la pasta de ciment, quin tipus de fluid és?
- Analitzar la viscositat de la pasta de ciment per diferents dosificacions de ciment aluminós, metacaolí i aigua.
- Observar quina és la pasta de ciment que millor penetra en el noteixit.
- Observar les diferències en la granulometria dels components relacionant-ho amb els paràmetres anteriors.
- Comparar els resultats obtinguts amb o sense la presència d'un material superfluidificant.

3. Materials i mètodes

3.1. Materials

En aquest apartat veurem les característiques dels materials utilitzats en els experiments realitzats:

3.1.1. Ciment d'aluminat de calci

Utilitzarem el CAC tipus Electroland de Ciments Molins. A l'annex B tenim la Taula de característiques que ens dona el fabricant.

Sent un 100% de clínquer, veiem com els components majoritaris d'aquest ciment són l'òxid d'alumini i l'òxid de calci, formant aproximadament un 80% del material. A la taula també es troben especificades altres característiques com la resistència a la compressió al cap de 6h (55 MPa) i 24h (75 MPa), així com els temps d'inici i final d'enduriment (200 i 220 minuts respectivament). Hi ha informació d'altres característiques addicionals com per exemple la densitat aparent (1,1 g/cm³). L'anàlisi granulomètric d'aquest material es pot veure a l'annex C tenint una mida de partícula mitjana de 10,62 µm.

3.1.2. Metacaolí

El fabricant de metacaolí ens indica diferents característiques i propietats del material en la taula a l'annex B. Aquest producte està format per un 54,71% d'òxid de silici i un 39,37% d'òxid d'alumini. També tenim la densitat aparent (550 kg/m³ per mostra airejada i 750 kg/m³ per mostra compactada) i altres propietats com el pes específic, superfície específica, etc. El metacaolí té partícules laminars d'elevada finor, aquesta és una característica important de cara a la seva interacció amb el ciment i l'aigua.

3.1.3. Superfluidificant

A la fitxa del producte (Annex B) se'ns indica que és un líquid incolor sense clorurs. Com podem veure les dosis recomanades estan entre 0,2 i 1,7% (respecte el pes de la pasta de ciment) en funció de la treballabilitat que vulguem. Un excés en la dosis de superfluidificant al material pot produir exsudació, és a dir, que hi hagi una segregació entre l'aigua i els components del ciment durant la barreja. No s'especifiquen mesures de seguretat especials en l'ús d'aquest material.

3.1.4. Noteixit

Hem utilitzat un noteixit de 9mm de gruix i 680g/m². Aquest material ha estat obtingut a partir de fibres de lli i cotó (longitud mitjana de 5,9 cm) proporcionades per l'Institut Wlokien Naturalnych (Polònia).

El noteixit ha estat produït a partir del mètode de punxament i fent ús de la màquina DILO OUG-II-6. Un cop obtingut el noteixit s'hi ha realitzat un tractament d'aigua. Aquest tractament consisteix en dos passos repetits 4 cops: humitejar les mostres durant una nit a temperatura ambient i a continuació assecar-les a un forn amb recirculació d'aire a una temperatura de 60 °C durant 4 hores. [23]

3.2. Mètodes

Analitzarem la viscositat i penetració d'un total de 36 tipus diferents de ciments, la taula següent (Taula 4) mostra les proporcions de cada component en cada repetició. S'ha de tenir en compte que s'ha fet l'experiment dos cops, un amb l'ús de fluidificant i l'altre sense.

Taula 4. Proporcions de cada component de l'experiment.

Pastes de ciment			Número de la mostra	
CAC(%)	MK(%)	Aigua(%)	Sense SF	Amb SF
100	0	35	1	19
100	0	40	2	20
100	0	45	3	21
90	10	35	4	22
90	10	40	5	23
90	10	45	6	24
80	20	35	7	25
80	20	40	8	26
80	20	45	9	27
70	30	35	10	28
70	30	40	11	29
70	30	45	12	30
60	40	35	13	31
60	40	40	14	32
60	40	45	15	33
50	50	35	16	34
50	50	40	17	35
50	50	45	18	36

Podem relacionar la viscositat del ciment amb la penetració, ja que, com més fluida és la pasta, més facilitat té a l'hora de penetrar en la fibra. És per això que ens interessa analitzar les mateixes mostres per els dos experiments.

Durant l'anàlisi de la viscositat ens hem trobat amb què les mostres amb un 50% de CAC i MK tenen una viscositat molt elevada. Com a conseqüència d'aquesta alta viscositat, el viscosímetre no pot mesurar les mostres, ja que supera el seu valor de mesura màxim, i per tant hem omès les 3 mostres d'aquest tipus de pasta de ciment.

Per cada tipus de mostra s'ha realitzat l'assaig un sol cop (una rèplica). Per tal d'estimar la variabilitat i poder confirmar les conclusions extretes caldria realitzar algunes rèpliques més.

3.2.1. Granulometria

Per tal de conèixer una mica més les característiques dels components utilitzats hem realitzat un anàlisi granulomètric del ciment pòrtland, del ciment aluminós i del metacaolí. Aquest procés ens permet conèixer les diferents mides que tenen les partícules de cada material i entre quins rangs de valors oscil·len. Posteriorment podrem relacionar les dades granulomètriques aconseguides amb els resultats obtinguts en la viscositat i la penetració.

L'assaig ha sigut encarregat a la Universitat de Barcelona i s'ha fet amb un analitzador de mida de partícules Beckman Coulter LS. La màquina mesura la mida de les partícules a partir d'un raig làser que difracta en les partícules del material analitzat.

3.2.2. Viscositat

-Què és la viscositat?

És la característica que tenen els fluids de resistir-se a fluir o a la deformació degut a la fricció entre les seves molècules. La viscositat està determinada per la viscometria, que forma part d'una ciència més àmplia anomenada reologia, la qual estudia la relació entre l'esforç i la deformació dels fluids. [32]

En termes científics, els materials sòlids s'especifiquen com a elàstics i els líquids com a viscosos. Tot i així la majoria de materials no són purament elàstics o viscosos sinó "viscoelàstics", és per això que els podem classificar en sòlids viscoelàstics (com els gels) o líquids viscoelàstics (com el xampú de cabells). La viscometria tracta bàsicament amb fluids viscosos i líquids viscoelàstics (substàncies viscoses amb una porció elàstica). Si un fluid flueix amb facilitat, té una resistència de deformació baixa, és un fluid de baixa viscositat i el cas contrari a l'inrevés. [30]

-Com mesurarem la viscositat?

Amb el viscosímetre de rotació realitzarem mesures de la tensió de tall de la pasta de ciment aplicant una velocitat de tall variable.

La tensió de tall és mesurada en Pascals (força per unitat de superfície) i representa la força que el viscosímetre realitza per fer girar el cilindre interior davant l'oposició de la pasta de ciment. Els valors de la tensió de tall es veuran incrementats si la viscositat del ciment és alta.

La velocitat de tall representa la velocitat de rotació del cilindre interior del viscosímetre. En el nostre experiment volem que hi hagi una variació controlada d'aquest valor per analitzar-ne les conseqüències.

S'ha de tenir en compte que el ciment és un fluid no Newtonià i la seva viscositat varia amb la temperatura i la tensió de tall. Per tant aquests dos paràmetres experimentals faran variar molt el resultat final del procés.

-Procediment

Un cop tenim els 150g totals de CAC i MK preparats i la corresponent quantitat d'aigua, procedim a fer ús d'un agitador Stirrer LH (Figura 4) per mesclar, durant 3 minuts, els components i obtenir la pasta de ciment.

A continuació anem directes al viscosímetre i 5 minuts després d'acabar la mescla, i havent-hi introduït la pasta iniciem el procés. El Viscosímetre és de cilindres coaxials, model VT 550 de ThermoHaake (Figura 6).



Figura 4. Agitador Stirrer LH

Aquest viscosímetre té una camisa tèrmica per mantindre la temperatura constant (20°C), fet molt important en l'estudi de la viscositat. Fent ús del programa introduït, el viscosímetre va recollint les dades de tensió de tall demanades a partir de la velocitat de tall que la mateixa màquina aplica.

El programa introduït serà el següent:

1		ID 2: 205	CR 100,0 1/s	t 60,00 s	#5	T 20,00 °C
2		ID 3: 202 (cont)	CR 10,00 1/s - 100,0 1/s lin	t 150,00 s	#100	T 20,00 °C
3		ID 4: 202 (cont)	CR Anterior 1/s - 10,00 1/s lin	t 150,00 s	#100	T 20,00 °C
4		ID 5: 202 (cont)	CR 10,00 1/s - 100,0 1/s lin	t 150,00 s	#100	T 20,00 °C
5		ID 6: 202 (cont)	CR Anterior 1/s - 10,00 1/s lin	t 150,00 s	#100	T 20,00 °C
6		ID 7: 202 (cont)	CR Anterior 1/s - 100,0 1/s lin	t 150,00 s	#100	T 20,00 °C
7		ID 8: 202 (cont)	CR Anterior 1/s - 10,00 1/s lin	t 150,00 s	#100	T 20,00 °C

Figura 5. Fases del programa al Software RheoWin 4.1

El primer pas consisteix en aplicar una velocitat de tall de 100 s^{-1} durant 60 segons per trencar petites coagulacions que s'hagin pogut produir. A continuació, i fins a tres cops, es produeix una acceleració i desacceleració de la velocitat de 10 s^{-1} a 100 s^{-1} tornant a 10 s^{-1} , cada pas amb una durada de 150 segons.

En la part de l'experiment on hem fet ús del fluïdificant se n'ha afegit un 0,33% respecte el pes de la pasta de ciment. Prèviament es va provar d'afegir més quantitat d'additiu però vam observar que hi havia segregació entre el ciment i l'aigua, és a dir, que la pasta no es mesclava bé.



Figura 6. Viscosímetre model VT 550 de ThermoHaake

3.2.3. Penetració

En aquesta part del treball s'analitza com penetren les diferents pastes de ciment que hem obtingut a la fibra. L'experiment consisteix en veure quina és la distància recorreguda per l'aglomerant dins del noteixit, fent ús de les 36 composicions diferents que tenim. La penetració que té la matriu de ciment en la fibra és molt important ja que determina el grau d'adhesió entre matriu i fibra. Volem aconseguir que la fibra estigui el més impregnada possible per la pasta de ciment.

Els materials utilitzats en aquesta part seran els mateixos que en l'experiment dut a terme en l'apartat de viscositat, ja que ens interessa fer ús de les mateixes composicions de la pasta de ciment.

-Procediment

El primer pas en la preparació de la mostra és el mateix que hem fet en l'anàlisi de la viscositat, mesclarem els components de la pasta de ciment durant 3 minuts amb l'agitador. Prèviament a aquest pas haurem preparat un matràs Kitasato amb una bomba del buit. El matràs tindrà embut Büchner on hi haurem disposat diferents capes de fibra en forma de noteixit que cada una ocupi tota la circumferència de l'embut. Fent ús d'un pot de plàstic perforat just a sobre de la fibra (Figura 7), podrem ficar-hi la pasta de ciment al per tal de tenir una area de penetració ben definida.



Figura 7. Material per fer la prova de penetració.

Quan dipositem la matriu de ciment fresc al pot de plàstic podem accionar la bomba del buit. Durant 5 minuts deixarem que es faci el buit en el Kitasato (a una pressió de 80 kPa) aconseguint l'absorció del ciment per part de la fibra i amb la filtració de l'aigua que conté. Un cop han passat aquests 5 minuts, deixarem en repòs la mostra perquè s'endureixi durant 7 dies, a 20°C i amb el màxim d'humitat possible (immersa en aigua destil·lada).

Per tal de veure el resultat final de la penetració necessitem observar amb una lupa binocular el tall transversal de la capa de noteixit on ha penetrat el ciment. És per això que tallarem la fibra i l'emmagatzemem en conjunts de 6 mostres. Un cop obtinguts els tacs de resina, seran polits (Figura 8) per tal d'obtenir una imatge més nítida a la lupa binocular i, consegüentment, en les fotografies que hi fem per analitzar els resultats (Annex F).



Figura 8. Tac de resina amb 6 mostres de noteixit amb ciment.

Hem analitzat les fotografies dels talls transversals dels noteixits fent ús del programa ImageJ. Aquest programa ens permet mesurar àrees i longituds de la fibra de les fotografies coneixent-ne l'escala.

El procés d'anàlisi consisteix en mesurar l'àrea que té cada fibra en 0,25 cm d'alçada (per fer-ho amb els mateixos valors per totes les mostres). A continuació hem mesurat la mateixa àrea descartant la zona on no es veu penetració de la fibra per així poder calcular el percentatge de penetració del ciment en cada mostra (Figura 9).

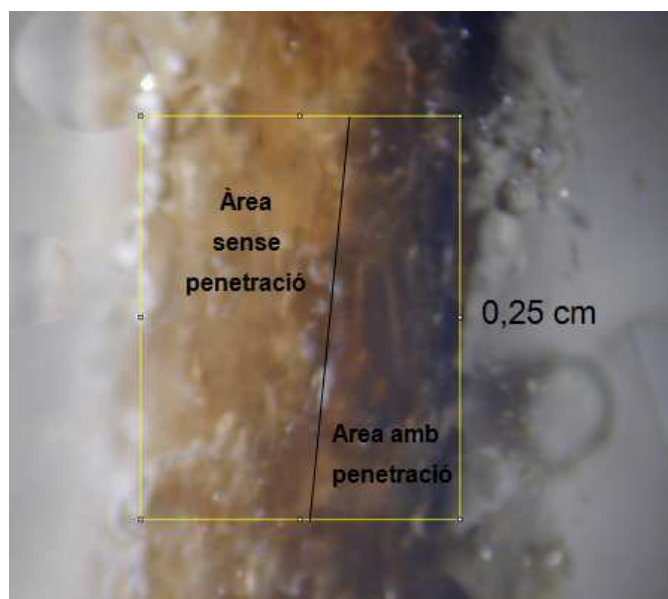


Figura 9. Penetració en la fibra des de la lupa

4. Resultats

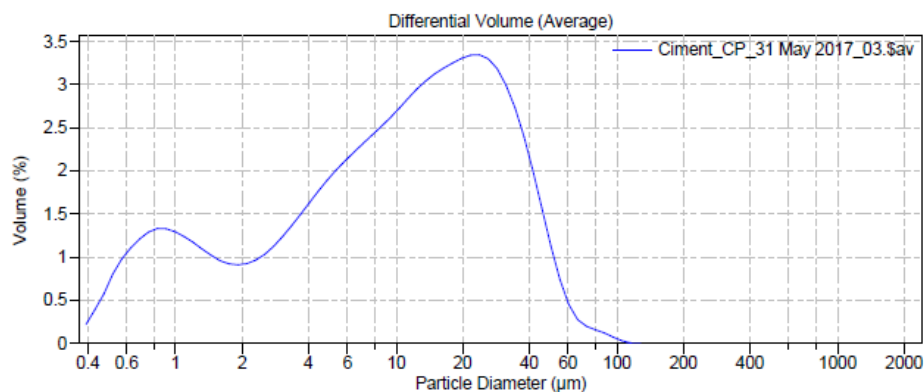
4.1. Granulometria

Els resultats són interpretats a partir de la corba granulomètrica. El gràfic de la corba té a l'eix horitzontal el diàmetre de les partícules, en escala logarítmica, i a l'eix vertical el % del volum total de la mostra que significa cada diàmetre.

4.1.1. Resultats del ciment pòrtland

La mida de les partícules del ciment pòrtland té un diàmetre mitjà de 15,01 μm . Mirant la corba granulomètrica es pot veure com entre els diàmetres de 0,6 i 2 μm tenen més d'un 1% del volum total de la mostra. Una part interessant de la corba també és que la majoria de les partícules tenen un diàmetre concentrat entre 4 i 40 μm (Figura 10).

Analizant els percentatges acumulats veiem com aproximadament menys d'un 25% del volum de la mostra té un diàmetre de partícula inferior als 3,6 μm . Podem trobar que un 50% del volum té partícules d'aproximadament 10 μm o més petites i que finalment es veu com la gran majoria de les partícules (95%) tenen un diàmetres de 43,18 μm o menys.



Volume Statistics (Arithmetic) Ciment_CP_31 May 2017_03.sav

Calculations from 0.375 μm to 2000 μm

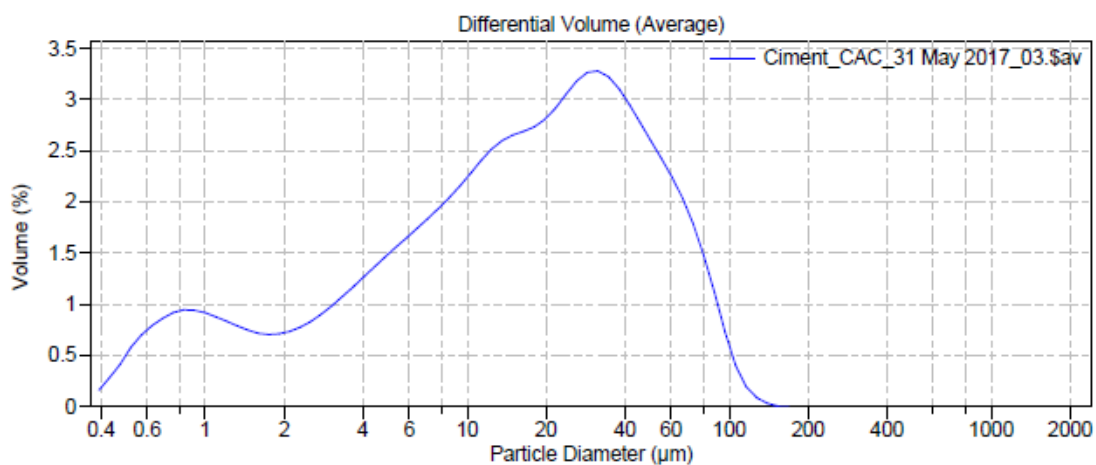
Volume:	100%	S.D.:	14.47 μm
Mean:	15.01 μm	C.V.:	96.3%
Median:	10.69 μm	Skewness:	1.501 Right skewed
D(3,2):	3.357 μm	Kurtosis:	3.033 Leptokurtic
Mode:	23.81 μm		
d_{10} :	1.008 μm	d_{50} :	10.69 μm
		d_{90} :	35.22 μm
<10%	<25%	<50%	<75%
1.008 μm	3.632 μm	10.69 μm	22.55 μm
		<95%	43.18 μm
<1 μm	<10 μm	<100 μm	<1000 μm
9.89%	48.0%	99.96%	100%

Figura 10. Anàlisi granulomètric del ciment pòrtland

4.1.2. Resultats del ciment l'aluminat de calci

Pel que fa al ciment aluminós veiem com la mida mitjana del diàmetre de les partícules és de 23,81 μm , superior al del CP. Aquesta corba granulomètrica segueix certs patrons que es poden assimilar a l'anterior, com una davallada del % en volum de les partícules de 1-2 μm respecte les més petites i també un augment gradual del % de volum que ocupen les partícules amb diàmetres cada cop més grans. Tot i així, tot i seguir certs patrons semblants, aquesta corba acaba tenint diferències que acaben marcant aquesta diferència de la mida mitjana de les partícules (Figura 11).

Els valors més petits de diàmetres de partícula ocupen menys percentatge de volum, el 25% del volum està format per partícules de 5,594 μm o menys. La diferència queda totalment descrita quan mirem la mida de les partícules del 95% del volum total, i és que arriben fins als 72,76 μm de diàmetre, força més gran que els 43,18 μm del CP.



Volume Statistics (Arithmetic) Ciment_CAC_31 May 2017_03.\$av

Calculations from 0.375 μm to 2000 μm

Volume:	100%				
Mean:	23.81 μm				
Median:	16.29 μm				
D(3,2):	4.431 μm				
Mode:	31.50 μm				
	S.D.:	23.28 μm			
	C.V.:	97.8%			
	Skewness:	1.357 Right skewed			
	Kurtosis:	1.632 Leptokurtic			
d ₁₀ :	1.383 μm	d ₅₀ :	16.29 μm	d ₉₀ :	58.04 μm
<10%	1.383 μm	<25%	5.594 μm	<50%	16.29 μm
<75%	35.21 μm	<95%	72.76 μm		
<1 μm	7.04%	<10 μm	36.8%	<100 μm	99.2%
		<1000 μm	100%		

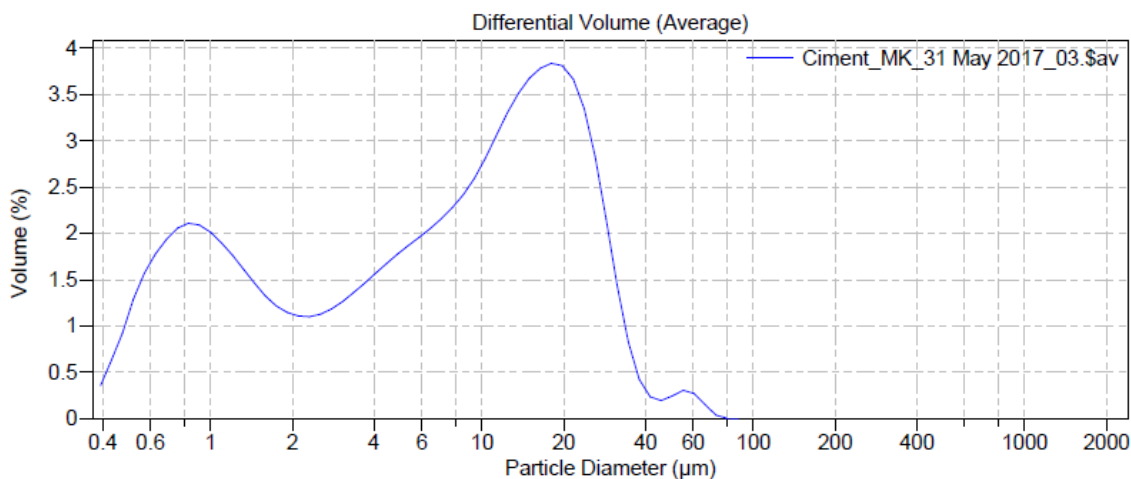
Figura 11. Anàlisi granulomètric del ciment d'aluminat de calci

4.1.3. Resultats del metacaolí

Com ja hem vist el metacaolí és un material que addicionem al clínquer de ciment, és de gran interès conèixer la seva granulometria ja que pot afectar bastant en la viscositat i penetració del material final.

El MK té un percentatge de volum força elevat en els valors de 10-40 μm . També segueix el mateix patró que els anteriors materials tenint un pic en el percentatge de volum pels diàmetres propers a 1 μm (Figura 12).

El diàmetre de partícula mitjà és de 10,62 μm , inferior respecte els dos ciments i també es veu com el 95% del volum de la mostra està format per partícules de 29 μm o menys. Les dues dades esmentades anteriorment ens indiquen que la mida de les partícules de metacaolí és significativament menor comparant-la amb el CP i el CAC.



Volume Statistics (Arithmetic)

Ciment_MK_31 May 2017_03.\$av

Calculations from 0.375 μm to 2000 μm

Volume:	100%	S.D.:	10.39 μm
Mean:	10.62 μm	C.V.:	97.8%
Median:	7.797 μm	Skewness:	1.537 Right skewed
D(3,2):	2.424 μm	Kurtosis:	3.683 Leptokurtic
Mode:	18.00 μm		
d ₁₀ :	0.773 μm	d ₅₀ :	7.797 μm
		d ₉₀ :	24.37 μm
<10%	<25%	<50%	<75%
0.773 μm	1.693 μm	7.797 μm	16.68 μm
		<95%	29.00 μm
<1 μm	<10 μm	<100 μm	<1000 μm
15.7%	56.6%	100%	100%

Figura 12. Anàlisi granulomètric del metacaolí

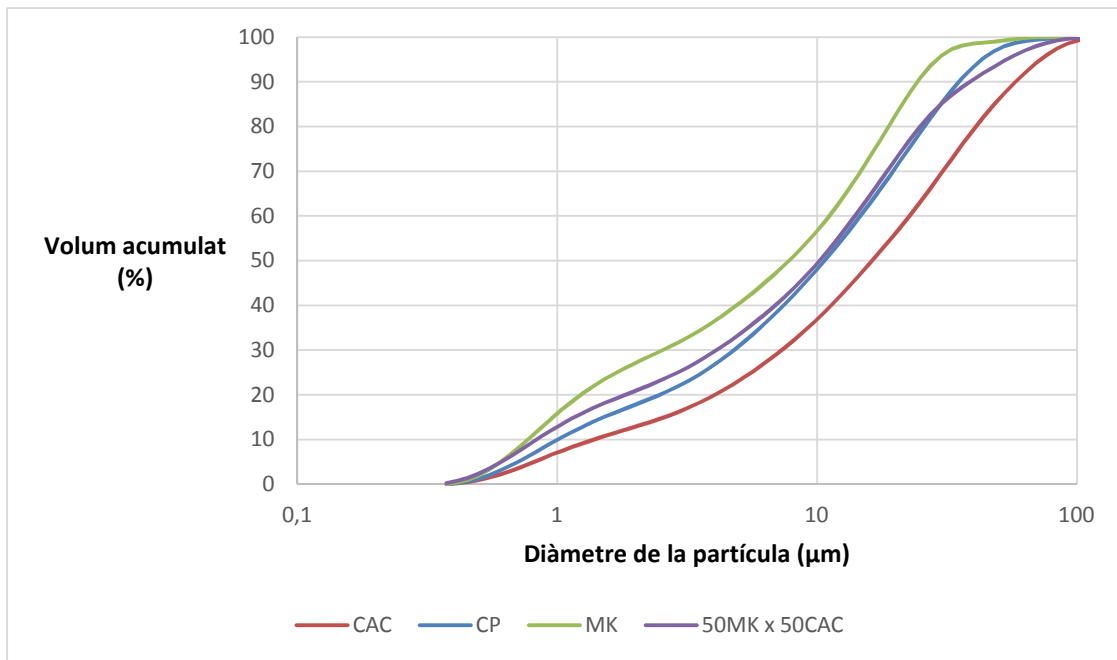


Figura 13. Gràfic de volum acumulat en funció del diàmetre dels components.

Amb l'anàlisi granulomètric també s'obté el gràfic de % de volum acumulat en funció de la mida de la partícula. Es pot veure com el MK arriba abans al 100% amb diàmetres menors. El CAC en canvi es veu com tendeix a tenir una mida de partícula superior abans de tenir al 100% del volum. Entre les corbes del CAC i del MK hi tenim el CP i una barreja de 50% metacaolí i 50% Ciment aluminós, és a dir, que podem afirmar que barrejant el MK i el CAC a parts iguals obtenim una granulometria que s'assembla bastant al Ciment pòrtland.

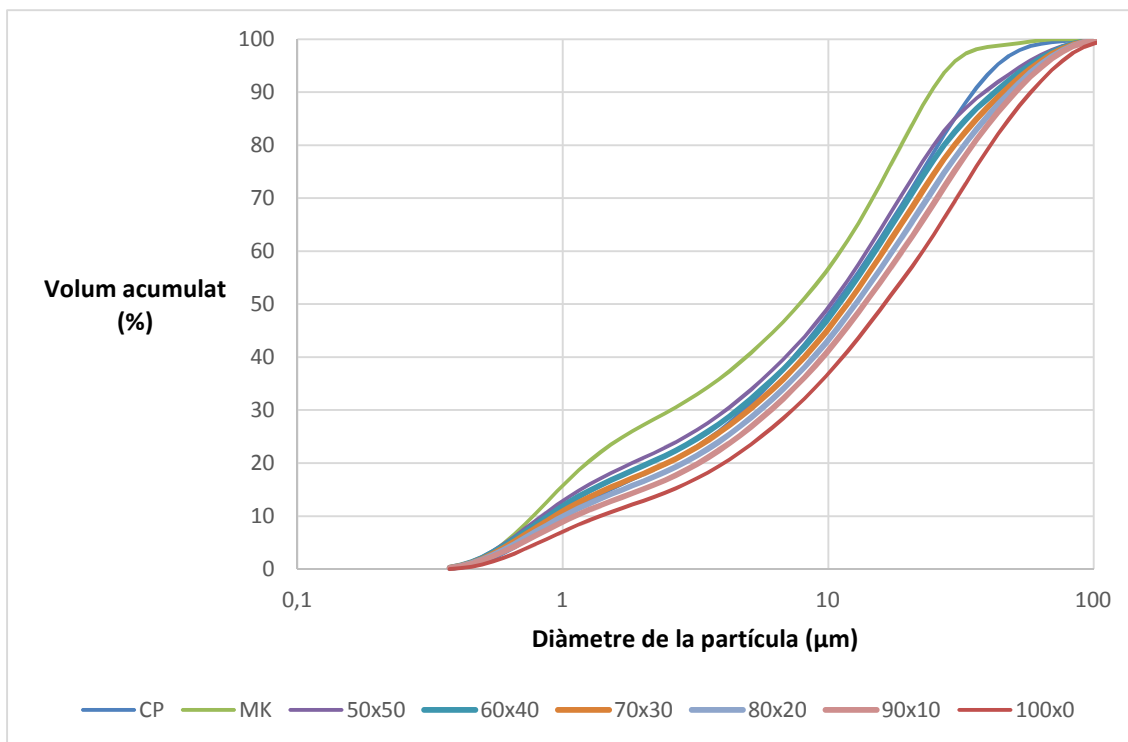


Figura 14. Gràfic de volum acumulat en funció del diàmetre dels components segons dosificacions.

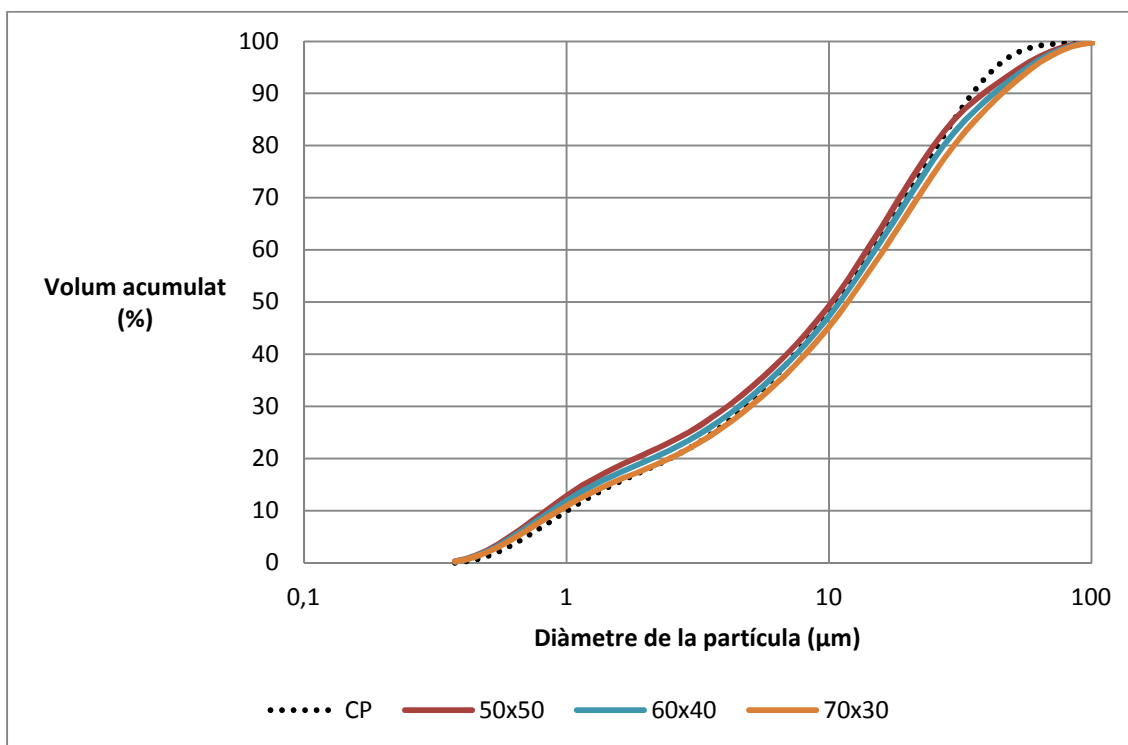


Figura 15. Gràfic de volum acumulat en funció del diàmetre dels components amb les dosificacions més semblants al ciment portland.

Si ampliem una mica la informació del gràfic (Figura 14), podem veure com les barreges de ciment de 50/50, 60/40, 70/30 en CAC/MK tenen una granulometria (mida de les partícules) molt semblant a la del CP en la major part del gràfic (Figura 15). Tot i així, no tenim perquè obtenir la mateixa viscositat que el CP ja que la forma de les partícules del MK és diferent (aplanada) respecte al ciment pòrtland i això fa variar la interacció que té amb l'aigua.

4.2. Resultats de la viscositat

Amb les dades obtingudes de tensió de tall i de velocitat de rotació del cilindre obtenim un gràfic com el següent:

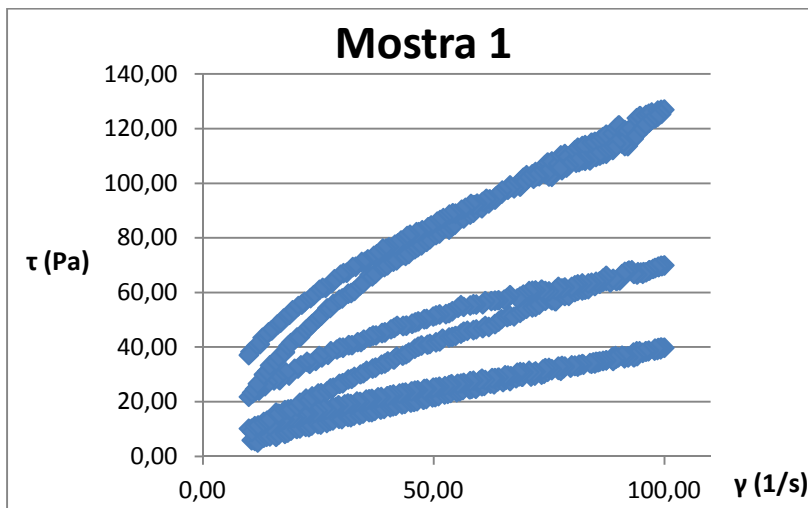


Figura 16. Gràfic generat amb les dades obtingudes pel viscosímetre amb la primera mostra.

Veient el gràfic (Figura 16), es poden veure les tres repeticions d'acceleració i desacceleració. A mesura que avança el temps i els canvis de velocitat ($\dot{\gamma}$ en $1/s$), els punts de tensió de tall (τ en Pa) màxims van augmentant (en el punt on tenim $100 s^{-1}$). Per analitzar els resultats obtinguts ens fixarem en els punts on la tensió de tall és màxima per cada pic de velocitat. Compararem els diferents màxims entre les varies mostres obtingudes per tal d'acabar relacionant-ho amb les diferents dosificacions que tenim.

4.2.1. Mostres sense superfluïdificant

Els resultats obtinguts en les mostres sense fluïdificant les dividirem segons la quantitat d'aigua que tenen, que poden ser d'un 35%, 40% o 45% del pes de la matriu de ciment. Com veureu, no es mostren els resultats quan el ciment està format per 50% de CAC i 50% de MK ja que la viscositat és tant elevada que supera el valor màxim al qual el viscosímetre pot treballar.

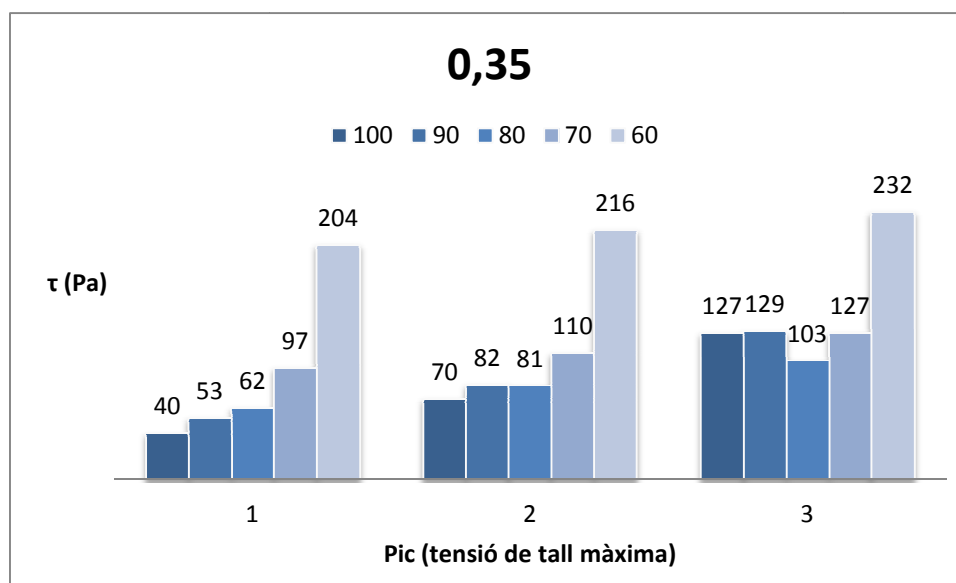


Figura 17. Els tres valors de tensió de tall màxima de les mostres 5 amb 35% d'aigua i sense fluïdificant.

Amb un contingut d'aigua del 35% veiem com la tendència general de les 5 dosificacions diferents de ciment/metacaolí és d'anar augmentant a mesura que passen els punts de tensió màxima. Aquest fet pot ser degut a l'enduriment de la mostra amb el pas del temps. També s'observa com hi ha un augment aproximadament exponencial de la tensió de tall a mesura que s'augmenta la dosi de metacaolí, la mostra que hi ha un 100% de CAC té valors inferiors que la que en té un 90%, i així gradualment fins a arribar a un 60% de CAC i 40% de MK. També s'observa com la relació esmentada anteriorment no es dona al pic 2 i 3 de les mostres 100%, 90% i 80% però considerem que els valors de pressió de tall són tant propers entre ells que les diferències són negligibles.

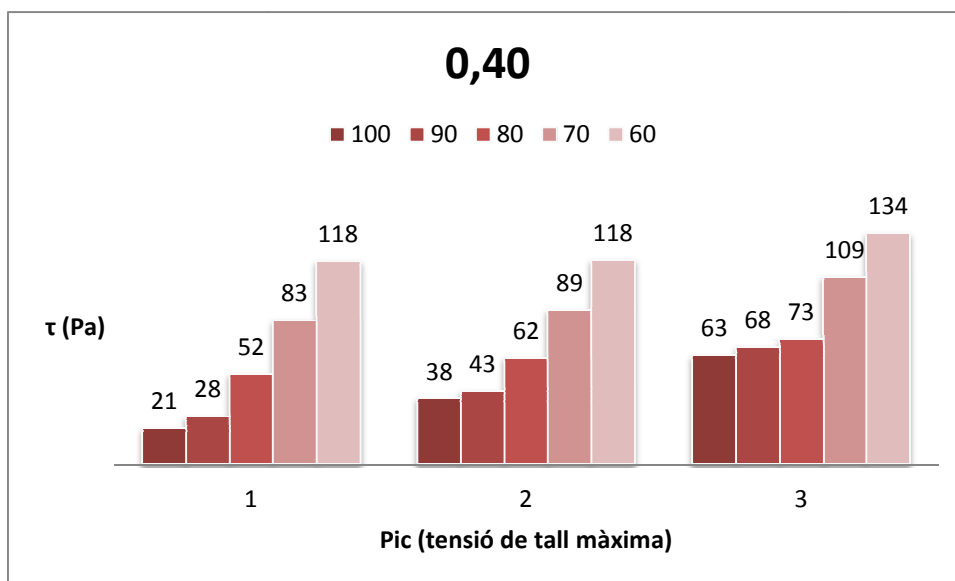


Figura 18. Els tres valors de tensió de tall màxima de les 5 mostres amb 40% d'aigua i sense superfluïdificant.

Pel que fa a les mostres amb un contingut d'aigua del 40% veiem com la relació esmentada a l'apartat anterior també descriu perfectament els resultats obtinguts. Hi ha un augment de la viscositat gradual, per cada pic de cada mostra i també al tenir mostres amb més contingut de MK. L'altre fet destacable és que les pressions de tall obtingudes en aquest apartat tenen valors notablement inferiors a les mostres amb un 35% d'aigua. Aquesta davallada en la viscositat és deguda, doncs, a la major quantitat d'aigua de les mostres.

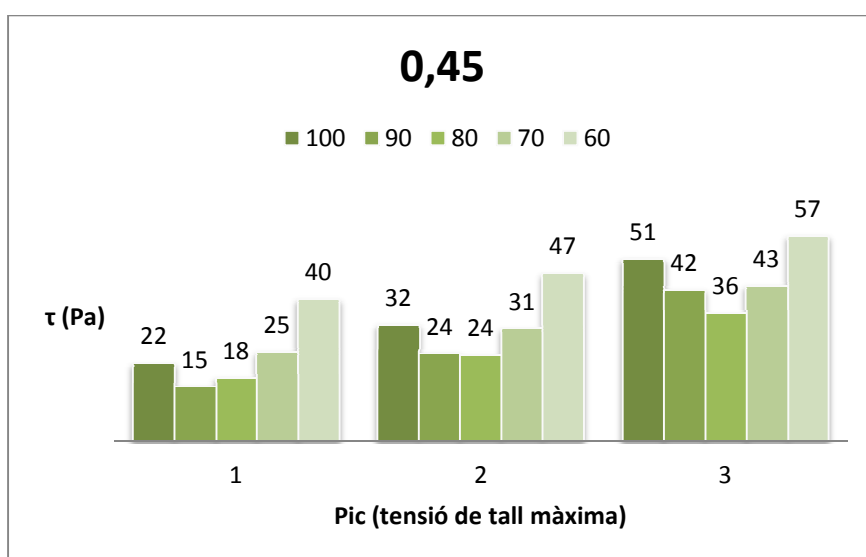


Figura 19. Els tres valors de tensió de tall màxima de les 5 mostres amb 45% d'aigua sense i superfluïdificant.

En el cas de les dosificacions amb 45% d'aigua veiem com les relacions dels apartats anteriors no són tant clares. Es veu com a partir d'un 80% de CAC fins a la mostra del 60% hi ha un augment considerable de la viscositat pels 3 pics estudiats. En canvi, la mostra amb un 100% de CAC té una viscositat superior que la de 90%. La del 90% de CAC té una viscositat en el primer pic inferior a la del 80% de CAC però té un creixement superior i en el tercer pic acaba sent superior. En general però, una quantitat d'aigua superior provoca que la viscositat sigui inferior en la gran majoria dels casos si ho comparem amb els valors dels gràfics anteriors.

4.2.2. Mostres amb superfluidificant

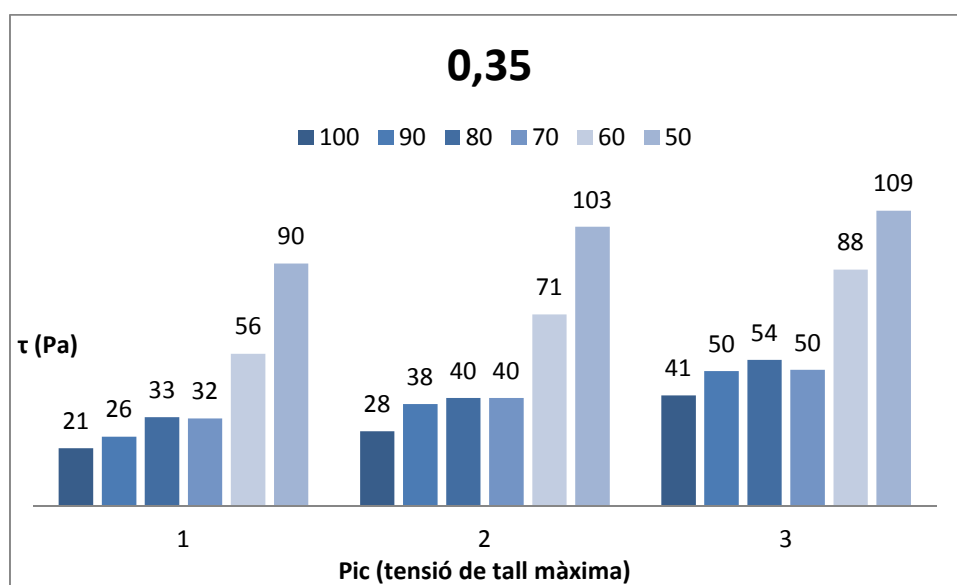


Figura 20. Els tres valors de tensió de tall màxima de les 6 mostres amb 35% d'aigua i superfluidificant.

Els resultats de les mostres que contenen fluidificant i tenen un 35% d'aigua ens indiquen que les viscositats augmenten a mesura que es van produint els pics. Com hem dit abans aquest fet és degut a l'enduriment de la pasta de ciment.

També es pot observar com a mesura que disminueix la quantitat de CAC en la mostra també hi ha un augment de la viscositat, primer de forma poc marcada i de forma més dràstica quan s'arriba a valors de 60% i 50% de MK.

La diferència que s'aconsegueix amb l'addició de la substància fluidificant és la reducció de la viscositat (aproximadament del 50%) respecte les mostres que no tenen l'additiu.

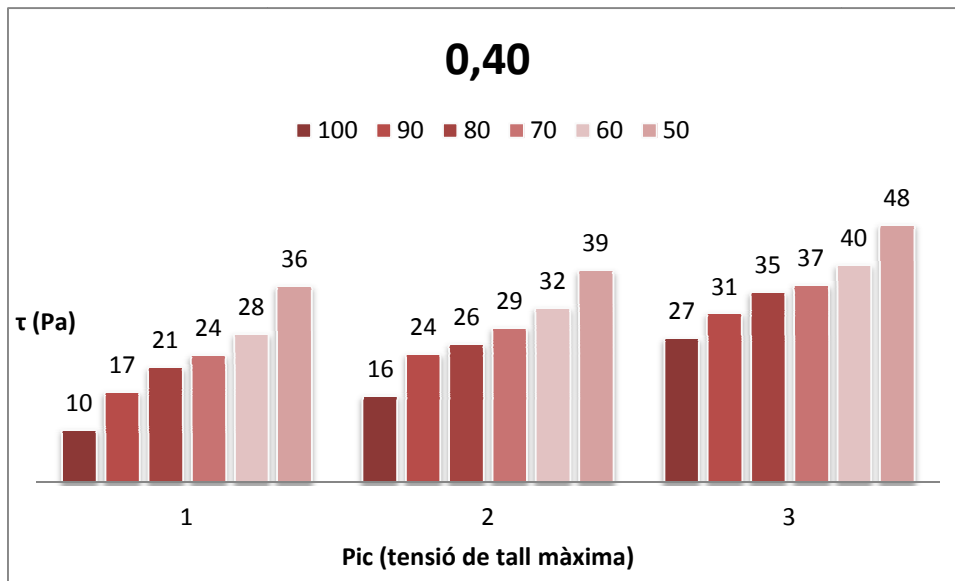


Figura 21. Els tres valors de tensió de tall màxima de les 6 mostres amb 40% d'aigua i superfluïdificant.

El gràfic de les mostres amb fluïdificant i un 40% d'aigua segueix perfectament el patró esmentat anteriorment, s'observa un augment de la viscositat a mesura que augmenta la quantitat de metacaolí present a la pasta de ciment. Com en les mostres anteriors el gràfic també denota una pujada en la viscositat en els tres cicles que el viscosímetre realitza.

En aquest cas les diferències entre els diferents valors de la velocitat són força petites, fet que podem relacionar amb l'augment de la quantitat d'aigua i amb la presència de fluïdificant.

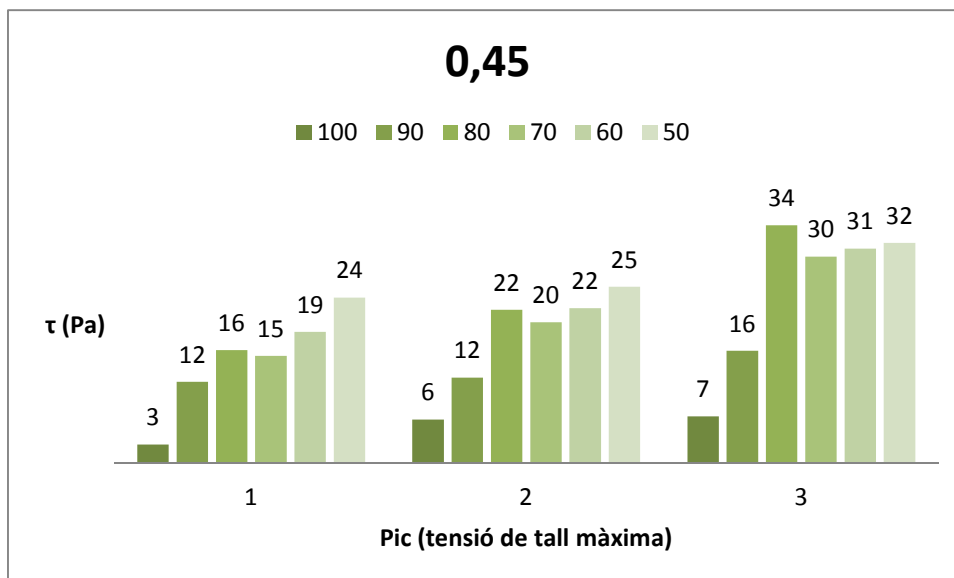


Figura 22. Els tres valors de tensió de tall màxima de les 6 mostres amb 45% d'aigua i superfluidificant.

Per acabar, veiem com un augment de la quantitat d'aigua (ara del 45%) resulta en una disminució de la viscositat també quan hi ha fluidificant.

Analitzant els valors de viscositat obtinguts per les pastes amb 45% d'aigua veiem com els dos (amb SF i sense) tenen més irregularitat a l'hora de seguir els patrons esmentats. Fixant-nos en la mostra que té un 80% de CAC, veiem com té més viscositat que la que té un 70% del ciment utilitzat. Excepte per els valors anteriors, la resta de mostres també tenen un augment en la viscositat a mesura que augmenta la quantitat de MK.

Tot i així, la resta de valors segueixen la tendència dels resultats dels gràfics anteriors, menys viscositat per més quantitat d'aigua i més viscositat a mesura que els cicles d'acceleració i desacceleració passen (i en conseqüència, el temps).

Hi ha un altre factor que pot condicionar la fluïdesa de la pasta, la mida de les partícules. El pes específic del MK és bastant inferior al del CAC, això es relaciona amb que la mida de les partícules de l'addició és menor. També, com es pot veure a la fitxa tècnica (Annex B), la superfície específica de la partícula de MK és molt major. En conclusió, les partícules del MK són més fines i planes, això fa que necessiti més aigua que la partícula més esfèrica del ciment, augmentant-ne la viscositat de la pasta. En determinades proporcions de MK i CAC es podrien donar valors de viscositat mínims degut a la relació entre els dos components. Aquest fet es dona quan hi ha més quantitat d'aigua (45%), que podria ser l'aigua suficient perquè aquest fenomen es donés.

Quan hi ha poc metacaolí l'aigua reacciona amb el CAC sense problemes i el ciment es va endurint visiblement en els gràfics. En canvi, a mesura que augmentem la quantitat de MK a la pasta, els pics de viscositat no augmenten tant marcadament, ja que l'aigua reacciona més tard amb el material putzolànic i l'enduriment s'alenteix.

Segons Papo (1988), les pastes de ciment presenten un comportament viscoplàstic i entre un contingut d'aigua de 0,3 i 0,5 segueixen el model de Bingham. [25]

El model de Bingham (Equació 1) per a fluids no newtonians defineix la fluïdesa del material a partir de la tensió de tall i la viscositat:

$$\text{Equació 1: } T = T_0 + \eta \gamma$$

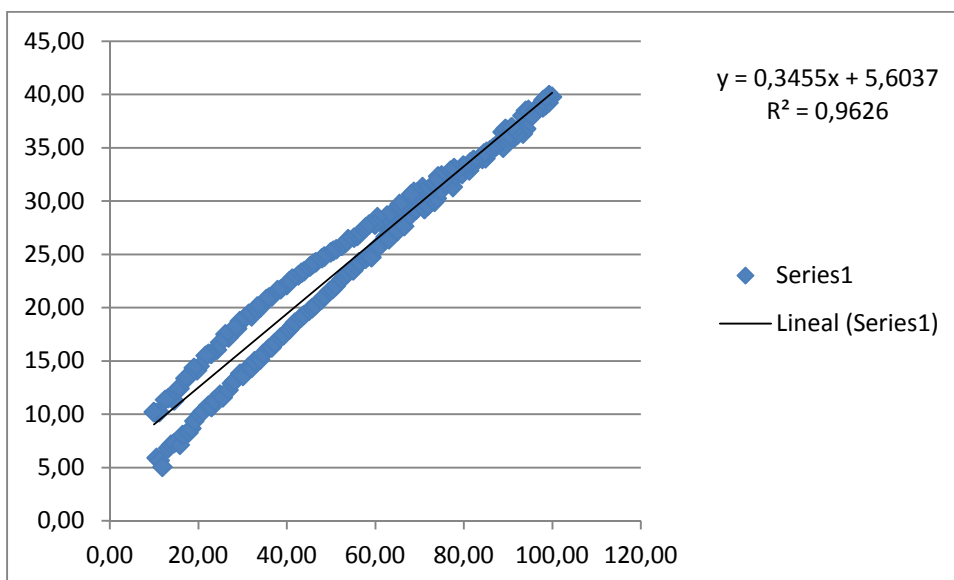


Figura 23. Correlació de la viscositat amb el model de Bingham (primer cicle de la mostra 1).

Podem veure com per cada cicle es compleix la equació de Bingham amb una alta correlació ($R^2 > 90\%$) a partir de la Figura 23, on hem agafat el primer cicle de la mostra 1 de viscositat. Amb aquests resultats podem assegurar que la pasta de ciment té un comportament no newtonià i viscoplàstic igual que la resta de ciments més comuns.

4.3. Penetració

Les dades resultants de l'assaig de penetració seran mostrades en percentatge de penetració en les mostres. Els resultats són els exposats a les taules següents (Taules 5 i 6).

Taula 5. Penetració de les pastes de ciment sense superfluidificant al noteixit segons quantitat d'aigua.

Pastes de ciment sense SF					
Aigua (%)	CAC (%)	MK (%)	Penetració (%)	Mitjana(%)	Desviació estàndard
35	100	0	42	53	14,85
	90	10	68		
	80	20	33		
	70	30	59		
	60	40	63		
40	100	0	84	58,4	19,14
	90	10	71		
	80	20	47		
	70	30	36		
	60	40	54		
45	100	0	38	55,4	20,09
	90	10	53		
	80	20	48		
	70	30	48		
	60	40	90		
Mitjana Total (%)			55,60		

Com es pot veure, la penetració mitjana de cada proporció diferent CAC/MK no té una variació que segueixi algun patró, segons cada quantitat d'aigua. S'observa com en aquesta part de l'experiment la variació del percentatge d'aigua no condiona la penetració, els tres percentatges de cada contingut d'aigua són tots molt semblants.

Taula 6. Penetració de les pastes de ciment amb superfluïdificant al noteixit segons quantitat d'aigua

Pastes de ciment sense SF					
Aigua (%)	CAC (%)	MK (%)	Penetració (%)	Mitjana(%)	Desviació estàndard
35	90	10	42	33,20	9,12
	80	20	20		
	70	30	28		
	60	40	36		
	50	50	40		
40	90	10	36	47,40	17,52
	80	20	32		
	70	30	76		
	60	40	42		
	50	50	51		
45	90	10	37	62,40	25,58
	80	20	54		
	70	30	100		
	60	40	45		
	50	50	76		
Mitjana Total (%)			47,67		

En les mostres amb superfluïdificant es veu com la penetració és inferior a la de les mostres sense l'additiu. Hi ha un augment de la penetració poc perceptible en les mostres on hi ha més quantitat de metacaolí i un notable augment en les mostres amb més aigua.

Si comparem les mostres amb i sense superfluïdificant podem veure que, en general, hi ha més penetració a les mostres sense l'additiu excepte als valors 70/30. Pels valors amb proporcions 70/30 hi ha una penetració excessivament elevada en les pastes amb 0,4 i 0,45 parts d'aigua i superfluïdificant, aquest fet pot ser degut a errors experimentals. El motiu més probable d'aquest error pot ser la falta de pressió entre les diferents làmines de noteixit al realitzar la filtració de la pasta de ciment.

Una explicació per aquesta disminució en la penetració quan hi ha superfluïdificant és que, quan l'aigua és filtrada, pot ser que el SF deixi de fer efecte degut a que no es manté unit a l'aigua i, en conseqüència, no aconsegueix travessar la capa de noteixit.

Tot i així, fent l'anàlisi de la variància dels resultats de penetració (Annex G), obtenim que, agafant un interval de confiança del 95%, no hi ha diferències significatives entre els diferents grups. Ni per la quantitat d'aigua ni proporció de ciment/metacaolí podem dir estadísticament que la penetració varia, així que convindria repetir l'experiment per tal de confirmar els resultats.

5. Conclusions

-Fent la barreja entre CAC i metacaolí s'obté una mida mitjana de les partícules semblant al CP en els casos on les proporcions de CAC/MK són de 50/50, 60/40 i 70/30.

-La pasta de ciment amb metacaolí i/o amb superfluïdificant segueix sent un fluid viscoplàstic que s'ajusta al model de Bingham.

-El metacaolí augmenta la viscositat de la pasta de ciment, però no necessàriament fa que hi hagi una penetració menor de la pasta al noteixit.

-A mesura que augmentem la quantitat d'aigua disminueix la viscositat del fluid. També augmenta la penetració al noteixit a les mostres amb superfluïdificant, però no de forma significativa.

-El superfluïdificant disminueix considerablement la viscositat de la pasta de ciment però no aconsegueix augmentar la penetració en la fibra.

6. Referències

- [1] Instituto Español del Cemento y sus aplicaciones. *Componentes y propiedades del cemento*. [Online]. Available: https://www.ieca.es/gloCementos.asp?id_rep=179. [Accessed: 22-Aug-2017].
- [2] Ministerio de la presidencia. *RC-16: RD 256/2016 Instrucción para la recepción de cementos*. *Bol. Of. Del Estado*, vol. 153, no. 1, p. 45755, 2016.
- [3] Ciment Català. *Aplicaciones del cemento y sus clases*. [Online]. Available: <https://ciment-catala.org/ca/aplicacions-del-ciment/>. [Accessed: 22-Aug-2017].
- [4] Chinchón S. and Sanjuán M., 2008. *El cemento de aluminato de calcio y sus prefabricados*. no. January 2008
- [5] George C.M., 1975. *The structural use of high alumina cement concrete*. Neully-sur-Seine, France, Lafarge Fondu International. 16 pp.
- [6] Capmas A. and George C.M., 1994. *Durability of calcium aluminate cement concretes* *Advances in cement and concrete*. Proceedings of engineering foundation conference, DURHAM N.H. Materials engineering division, ASCE pp 377-405
- [7] Scrivener K.L. and Capmas A., 2008. *Calcium aluminate cements in Lea's Chemistry of cement and concrete*. ed P.C. Hewlett pp 710-778.
- [8] Arciresa. Arcillas Refractarias S.A. *Ficha del producto: METACAOLÍN N*.
- [9] Asbridge AH, Page CL and Page M.M., 2002. *Effects of metacaolín, water/binder ratio and interfacial transition zones on the micro hardness of cement mortars*. *Cement and Concrete Research* 32: 1365–1369.
- [10] Rosales W., *Aditivos químicos y adiciones en el Hormigón elaborado: Aditivos químicos y adiciones*. [Online]. Available: <http://aditivoshormigon.blogspot.com.es/2012/03/aditivos-quimicos-y-adiciones.html>. [Accessed: 22-Aug-2017].

- [11] Savastano J.H., Warden P.G. and Coutts R.S.P., 2000. *Brazilian waste Fibres as reinforcement for cement-based composites*. *Cem. Concr. Compos.* 22, 379-384.
- [12] Bellido L.L., 2003. *Cultivos Industriales*. Ediciones Mundi-Prensa. 1a edition.
- [13] Construpedia, enciclopedia construcción. *Fibroemento* [Online]. Available: <http://www.construmatica.com/construpedia/Fibroemento>. [Accessed: 22-Aug-2017].
- [14] San Juan R.D., *Fibroemento, ¿qué es?*. [Online]. Available: <http://www.rdsanjuan.com/que-es-el-fibroemento/>. [Accessed: 22-Aug-2017].
- [15] Eternit. *Cubiertas - Chapas Onduladas de Fibroemento* [Online]. Available: <http://www.eternit.com.ar/cont/Chapas-Onduladas-de-Fibroemento-C25/#top>. [Accessed: 22-Aug-2017].
- [16] Equitone. *Fibre cement facade materials*. [Online]. Available: <http://soam.equitone.com/ar>. [Accessed: 22-Aug-2017].
- [17] Claramunt J., 2011. *Utilització de fibres vegetals per a l'elaboració de morters de ciment d'altres prestacions (SHCC)*. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya, Departament d'Enginyeria de la construcció. Barcelona, 299fulles.
- [18] Sabanes M. A., 2013. *Uso de no Tejidos de fibras vegetales en matrices de cemento para materiales de construcción*. Máster en sostenibilidad. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, 60fulles.
- [19] Palme, Anna, Idström A., Nordstierna L., and Brelid H., 2014. *Chemical and Ultrastructural Changes in Cotton Cellulose Induced by Laundering and Textile Use*. *Cellulose*. 21 (6): 4681–91. doi:10.1007/s10570-014-0434-9.
- [20] Weise,U., & Paulapuro, H., 1999. *Effect of drying and rewetting cycles on fibre swelling*. *Journal of Pulp and Paper Science*, 25(5), 163–166
- [21] Ardanuy M., Claramunt J., García-Hortal J.A., and Barra M., 2011. *Fiber-Matrix Interactions in Cement Mortar Composites Reinforced with Cellulosic Fibers*. *Cellulose*. 18 (2): 281–89. doi:10.1007/s10570-011-9493-3.

- [22] NPTEL. *Textile Engineering - Nonwoven Technology*. [Online]. Available: <http://nptel.ac.in/courses/116102014/1>. [Accessed: 23-Aug-2017].
- [23] Claramunt J., Ventura H., Fernández-Carrasco L. J., Ardanuy M., 2017. *Tensile and Flexural Properties of Cement Composites Reinforced with Flax Nonwoven Fabrics*.
- [24] Claramunt J., Ardanuy M., García-Hortal J.A., Toledo Filho R.D., 2011. *The hornification of vegetable fibers to improve the durability of cement mortar composites*. *Cement & Concrete Composites*. 33, p. 586–595.
- [25] Papo A., 1988. *Rheological models for cement pastes*. *Matériaux et Constructions*, 21, 41 -46.
- [26] George C.M., 1990. *Manufacture and performance of aluminous cement: A new perspective*. *Calcium aluminate cements*. Ed. R.J.Mangabhai. London, E & FN Spon, pp.181-207.
- [27] Sika Corporation. U.S. *Sika ViscoCrete*. [Online]. Available: http://usa.sika.com/en/home-page-features/product-finder/iframe_and_dropdown/viscocrete.html. [Accessed: 24-Aug-2017].
- [28] Grupo Cementos Molins. *Productos / Cementos Molins Industrial* — [Online]. Available: <https://www.cmi.cemolins.es/es/productos/electroland>. [Accessed: 24-Aug-2017].
- [29] Arcillas Refractarias S.A. (ARCIRESA). *Metacaolines Puzolánicos*. [Online]. Available: <http://www.arciresa.es/metacaolines-puzolanicos.html>. [Accessed: 24-Aug-2017].
- [30] Caufm B. and Papo A., 1984. *Rheological behaviour of cement pastes*. *Zement-Kalk-Gips*, 37 656-661.
- [31] Quanji Z., 2010. *Thixotropic behavior of cement-based materials: effect of clay and cement types*. Iowa State University.

[32] Viscopedia. *Defining viscosity*. [Online]. Available: <http://www.viscopedia.com/basics/defining-viscosity/>. [Accessed: 24-Aug-2017].

Estudi de la viscositat i capacitat de penetració de pastes de ciment aluminós dopades per al seu us com a matrius per a fibrociments reforçats amb noteixits de fibra vegetal

7. Annexos

ANNEX A

-Composició dels ciments comuns segons la norma RC/16 del BOE

Tabla Al.1.1a Cements comuns

Tipus	Denominación	Designación	Composición (proporción en masa ¹⁾²⁾											Componente minoritarios		
			Componentes principales													
			Clinker K	Escoria de horno alto S	Humo de silice D ³⁾	Puzolana Natural P	Natural calcinada Q	Silíceas V	Calciúreas W	Esquistos calcinados T	Caliza ⁴⁾		L		LL	
CEM I	Cemento p ^o rtland	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Cemento p ^o rtland con escoria	CEM I/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Cemento p ^o rtland con humo de silice	CEM I/B-D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Cemento p ^o rtland con puzolana	CEM I/A-P	80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM I/B-P	65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM I/A-Q	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM I/B-Q	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM I/A-V	80-94	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM I/B-V	65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	CEM II	Cemento p ^o rtland con ceniza volante	CEM I/A-W	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5
		CEM I/B-W	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5	
		Cemento p ^o rtland con esquistos calcinados	CEM I/A-T	80-94	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5
CEM I/B-T			65-79	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5	
CEM I/A-L			80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5	
Cemento p ^o rtland con caliza		CEM I/B-L	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	0-5	
	CEM I/A-LL	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5		
	CEM I/B-LL	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	0-5		
Cemento p ^o rtland compuesto ⁵⁾	CEM I/A-M	80-88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
	CEM I/B-M	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
CEM III	Cemento de horno alto	CEM IIIA	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM IIIB	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM IIIC	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM IIIV	65-89	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
CEM IV	Cemento puzolánico ³⁾	CEM IVB	45-64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5		
		CEM IVA	40-64	18-30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5		
CEM V	Cemento compuesto ³⁾	CEM V/A	20-38	31-49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5		
		CEM V/B	20-38	31-49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5		

1) Los valores de la tabla se refieren a la suma de los componentes principales y minoritarios (núcleo de cemento).
 2) El porcentaje de humo de silice está limitado al 10%.
 3) En cementos p^ortland compuestos, CEM I/A-M y CEM I/B-M, en cementos puzolánicos, CEM IV/A y CEM IV/B, y en cementos compuestos, CEM V/A y CEM V/B, los componentes principales diferentes del clinker deben ser declarados en la designación del cemento (véase el apartado A1.2).
 4) El contenido de carbono orgánico total (TOC), determinado conforme a la norma UNE-EN 13639, será inferior al 0,20% en masa para calizas LL, o inferior al 0,50% en masa para calizas L.
 5) Los requisitos para la composición se refieren a la suma de todos los componentes principales y minoritarios adicionales. Se sobreentiende que el cemento final es la suma de los componentes principales y minoritarios adicionales más el sulfato de calcio necesario y cualquier aditivo.

ANNEX B

-Full de dades del producte Sika® ViscoCrete®-3425 (superfluïdificant)

Construcció

Hoja de Datos de Producto
Edición 01/10/2012
Identificación n.º 1.1.5
Versión n.º 1
Sika® ViscoCrete®-3425

1.1.5



Sika® ViscoCrete®-3425

Superplastificante de alto rendimiento

Descripción del Producto	Sika® ViscoCrete®-3425 es un superplastificante de altas prestaciones para hormigones.
Usos	<p>Sika® ViscoCrete®-3425 se utiliza para la confección de hormigones con gran necesidad de reducción de agua y de excelente fluidez</p> <p>Sika® ViscoCrete®-3425 se utiliza principalmente para las siguientes aplicaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Hormigón prefabricado. ■ Hormigón autocompactante.
Características/Ventajas	<p>Sika® ViscoCrete®-3425 es un poderoso superplastificante que combina diferentes mecanismos de actuación.</p> <p>Debido a la adsorción superficial y al efecto estérico, que separan las partículas de cemento, se consiguen las siguientes propiedades :</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Reducción muy importante de agua de amasado dando hormigones de alta densidad, altas resistencias y gran impermeabilidad. ■ Excelente plasticidad, mejorando la fluidez, la colocación y la compactación. ■ Bajo coste de energía en elementos prefabricados curados al vapor. ■ Especialmente indicado para la preparación de hormigón autocompactante. ■ Disminuye la retracción <p>No contiene cloruros ni sustancias que puedan provocar o favorecer la corrosión del acero y por lo tanto pueden utilizarse sin restricciones en hormigones armados o pretensados.</p>
Ensayos	
Certificados/Normas	Cumple las especificaciones de la norma UNE-EN 934-2. Tablas 3.1 y 3.2: superplastificante / reductor de agua.
Datos del Producto	
Forma	
Apariencia/Color	Líquido incoloro
Presentación	Contenedores de m ³ y bajo pedido puede suministrarse a granel
Almacenamiento	
Condiciones de Almacenamiento/Conservación	12 meses desde su fecha de fabricación, en sus envases de origen bien cerrados y no deteriorados entre + 5°C y +35°C. Proteger de la acción directa de la luz solar y de las heladas.
Datos Técnicos	
Composición química	Policarboxilato modificado en base acuosa
Densidad	1,05 kg/l ± 0,01
Valor de pH	4 ± 1.



Estudi de la viscositat i capacitat de penetració de pastes de ciment aluminós dopades per al seu us com a matrius per a fibrociments reforçats amb noteixits de fibra vegetal

Construcción

Contenido en Cloruros	Exento de cloruros	(EN 934-2)
Efecto del fraguado	No retardante	
Efecto de sobre-dosificación	Puede producir exudación	
Información del Sistema		
Detalles de Aplicación		
Consumo/Dosificación	Dosificación recomendada: Para media trabajabilidad: 0,2-0,8% del peso del cemento Para una alta trabajabilidad, con baja relación agua/cemento y para hormigón autocompactante: 1,0-1,7 % del peso del cemento.	
Condiciones de Aplicación/Limitaciones		
Compatibilidad	Sika® ViscoCrete®-3425 se puede combinar con otros aditivos de la gama Sika. Se recomienda hacer ensayos antes de combinar los productos.	
Instrucciones de Aplicación		
Incorporación al hormigón	Sika® ViscoCrete®-3425 se añadirá al agua de amasado o a la mezcla de hormigón durante el proceso de mezclado.	
Método de aplicación/ Herramientas	Se deben seguir las reglas de buena práctica del hormigonado en cuanto a producción y colocación. El hormigón debe curarse adecuadamente.	
Notas de aplicación/ Limitaciones	<i>Hormigón autocompactante (HAC):</i> Para la realización de hormigones autocompactantes con Sika® ViscoCrete®-3425 se deben hacer diseños del hormigón específicos <i>Heladas:</i> Si Sika® ViscoCrete®-3425 se helase, puede utilizarse sin que se vea disminuida ninguna de sus propiedades después de deshelarse lentamente a temperatura ambiente y agitado cuidadosamente.	
Notas	Todos los datos técnicos indicados en esta Hoja de Datos de Producto están basados en ensayos de laboratorio. Las medidas reales de estos datos pueden variar debido a circunstancias más allá de nuestro control.	
Instrucciones de Seguridad e Higiene	Para cualquier información referida a cuestiones de seguridad en el uso, manejo, almacenamiento y eliminación de residuos de productos químicos, los usuarios deben consultar la versión más reciente de la Hoja de Seguridad del producto, que contiene datos físicos, ecológicos, toxicológicos y demás cuestiones relacionadas con la seguridad.	
Notas Legales	Esta información y, en particular, las recomendaciones relativas a la aplicación y uso final del producto, están dadas de buena fe, basadas en el conocimiento actual y la experiencia de Sika de los productos cuando son correctamente almacenados, manejados y aplicados, en situaciones normales, dentro de su vida útil, de acuerdo a las recomendaciones de Sika. En la práctica, las posibles diferencias en los materiales, soportes y condiciones reales en el lugar de aplicación son tales, que no se puede deducir de la información del presente documento, ni de cualquier otra recomendación escrita, ni de consejo alguno ofrecido, ninguna garantía en términos de comercialización o idoneidad para propósitos particulares, ni obligación alguna fuera de cualquier relación legal que pudiera existir. El usuario de los productos debe realizar las pruebas para comprobar su idoneidad de acuerdo al uso que se le quiere dar. Sika se reserva el derecho de cambiar las propiedades de sus productos. Los derechos de propiedad de terceras partes deben ser respetados. Todos los pedidos se aceptan de acuerdo a los términos de nuestras vigentes Condiciones Generales de Venta y Suministro. Los usuarios deben de conocer y utilizar la versión última y actualizada de las Hojas de Datos de Productos local, copia de las cuales se mandarán a quien las solicite, o también se puede conseguir en la página «www.sika.es».	



OFICINAS CENTRALES Y FABRICA

Madrid 28108 - Alcobendas
 P. I. Alcobendas
 Carretera de Fuencarral, 72
 Tels.: 916 57 23 75
 Fax: 916 62 19 38

OFICINAS CENTRALES Y CENTRO LOGISTICO

Madrid 28108 - Alcobendas
 P. I. Alcobendas
 C/ Aragoneses, 17
 Tels.: 916 57 23 75
 Fax: 916 62 19 38



Sika® ViscoCrete®-3425

2/2

-Full de dades del producte metacaolí



METACAOLÍN N



1. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

El **metacaolín N** es un producto con elevadas propiedades puzolánicas obtenido mediante activación térmica de caolines (calcinación a temperatura controlada en horno rotativo) y posterior micronización o molienda ultrafina del producto obtenido.

El **metacaolín N** es un silicato de aluminio deshidroxilado, de composición general $2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, de estructura amorfa, no cristalina, constituido por partículas laminares de elevada finura.

2. CAMPO DE APLICACIÓN

El **metacaolín N** se utiliza principalmente como **aditivo puzolánico de morteros y hormigones basados en cementos Portland o de cal**.

El **metacaolín N** se combina químicamente con el hidróxido de calcio del proceso de hidratación del cemento para formar silicatos, silicoaluminatos y aluminatos de calcio hidratados adicionales, los cuales se depositan en los espacios existentes en el cemento, originando la densificación de la matriz (menor porosidad) y contribuyendo al incremento de la resistencia, la reducción de la permeabilidad y de la reactividad álcali-sílice, al control de la eflorescencia, al aumento de resistencia al ataque químico y al ciclo hielo/deshielo, mejorando así la durabilidad del hormigón.

Dosificación habitual: sustitución del 5 – 15 % del peso total de cemento por metacaolín.

3. PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS Y GRANULOMÉTRICAS

Propiedades físicas*

Aspecto/Color.....	Polvo ligeramente beige
Pérdida por calcinación.....	< 1,50
Puzolanidad (Ensayo Chapelle).....	983 g Ca(OH) ₂ /g
Superficie específica.....	10.150 cm ² /g
Demanda de agua.....	104,4 %
Índice actividad resistente 28 días.....	117,0 %
Densidad aparente:	
– Aireada.....	550 kg/m ³
– Compactada.....	750 kg/m ³
Peso específico.....	2,5 – 2,6 g/cm ³



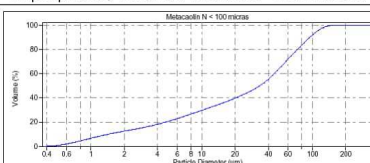
Análisis químico

% Al ₂ O ₃	39,37
% SiO ₂	54,71
% Fe ₂ O ₃	1,36
% TiO ₂	2,77
% CaO.....	0,12
% MgO.....	< 0,10
% Na ₂ O.....	0,04
% K ₂ O.....	< 0,10

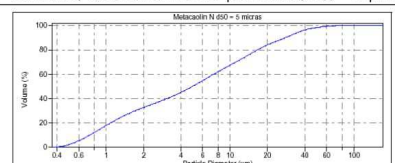
* Valores correspondientes al material con d₅₀ = 5 micras.

Distribuciones granulométricas

Impalpable, 100% de material < 100 micras



Ultrafino, diámetro medio partícula, d₅₀ = 5 µm



4. PRESENTACIÓN Y SUMINISTRO

El **metacaolín N** de ARCIRESA se suministra en los siguientes formatos:

- Big – bags de 500 kg y de 1.000 kg.
- Sacos de papel, de 20 kg, en pallets de 5 sacos en 10 alturas con un peso de 1.000 kg.

Arcillas Refractarias, S. A. (ARCIRESA)
Barrio Castiello, s/n
33690 Lugo de Llanera (Asturias) – España
☎ 985770129 ☎ 985772327
✉ arciresaid@arciresa.es
www.arciresa.es

Revisión: 2

Fecha de la revisión: 13/04/2012

-Full de dades del material ciment d'aluminat de calci



EN 14647 CAC

DESCRIPCIÓN:

Por sí solo, **Electroland** ya aporta endurecimiento rápido a las pocas horas y elevadas resistencias a la abrasión, incluso al choque mecánico. El importante calor de hidratación liberado durante las primeras horas convierte a **Electroland** en un cemento recomendado en climas muy fríos. **Electroland** no libera hidróxido de calcio durante su hidratación y, por consiguiente, tiene excelente resistencia a los ataques químicos y bacteriológicos, incluso cuando ambos actúan a la vez. **Electroland** es un ligante hidráulico con versátiles propiedades utilizados en la química construcción. Por ejemplo, en combinación apropiada con cemento Pórtland se obtiene un fraguado y endurecimiento extremadamente rápido. En mezclas ternarias, **Electroland**-Pórtland-sulfato de calcio se regula a voluntad la rapidez del tiempo de secado y el control dimensional tanto por retracción como por expansión. **Electroland** también es un cemento altamente refractario (1.300°C).

CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO:

Clinker: 100 %					
Valor habitual	Especificación	Valor habitual	Especificación	Valor habitual	Especificación
Al ₂ O ₃ 41,5%	35%≤Al ₂ O ₃ ≤58%	FeO 1,9%	-	S ²⁻ 0,02%	≤0,10%
CaO 38,1%	-	SiO ₂ 3,7%	-	SO ₃ 0,01%	≤0,5%
Fe ₂ O ₃ 13,2%	-	Cl ⁻ 0,01%	≤0,10%	Álcalis 0,14%	≤0,4%
Valor habitual	Especificación	Valor habitual	Especificación		
Resistencia compresión 6h(MPa): 55	≥18,0	Resistencia compresión 24h(MPa): 75	≥40,0		
Tiempo inicio fraguado (min): 200	≥90	Tiempo fin fraguado (min): 220	≤720		
Superficie específica Blaine (cm ² /g): 3200					
Características adicionales:					
Componente mineralógico mayoritario: CaAl ₂ O ₄ Cono Seger: 9 (1315°C)					
Componentes mineralógicos secundarios: Ca ₂ FeAlO ₅ , Ca ₂ Al ₄ O ₁₃ , β-Ca ₂ SiO ₄ , Ca ₃ TiFe ₂ O ₈ , FeO					
Granulometría láser D (v,0.9)(µm) inferior a 70 micras					
Densidad aparente (g/cm ³): 1,1			Peso específico (g/cm ³): 3,2		

AENOR certifica el cumplimiento de este cemento con las especificaciones de la norma UNE-EN 14647, evaluándolo según lo establecido en el Reglamento Particular RP 15.01 (Marca N). Por lo tanto, dispone también del correspondiente certificado CE. Este cemento no necesita la adición de un agente reductor del cromo (VI). AENOR certifica también el cumplimiento del límite reglamentario del contenido en Cr (VI) soluble en agua según la norma UNE-EN 196-10.





EXPEDICIÓN Y ALMACENAMIENTO:

- Disponible a granel, en big-bags de 1.200 y 1.500 kg y en sacos de 25 kg.
- Los sacos y big-bags deben almacenarse en lugares secos y ventilados.
- El almacenamiento a granel debe realizarse en silos estancos.

RECOMENDADO PARA MORTEROS Y HORMIGONES:

- De endurecimiento rápido, incluso en tiempo frío.
- Resistentes al ataque por sulfatos y por ciertos ácidos ($\text{pH} \geq 4$). Resistencia química bacteriológica.
- Resistentes a la abrasión y al impacto mecánico.
- En productos formulados por la industria de la química de la construcción con propiedades de fraguado y endurecimiento rápido (tapa-vías de agua, adhesivos, morteros reparadores, grouts, autonivelantes, etc.) y de endurecimiento y secado rápido con control dimensional (autonivelantes, grouts, etc.).
- Refractarios, refractarios-aislantes e incluso resistente al choque térmico.

NO INDICADO PARA:

- Hormigón armado estructural o pretensado.
- Hormigones en masa o armado de grandes volúmenes.
- Estabilización de suelos o bases tratadas con cementos para carreteras.
- Morteros y hormigones en contacto con medios que puedan liberar álcalis.
- Prohibido para hormigón pretensado, según la Instrucción del Hormigón Estructural (EHE)

PRECAUCIONES DE PUESTA EN OBRA:

- Dada su alta reactividad, los morteros y hormigones con **Electroland** deben curarse durante las primeras 24 horas.
- Dosificación mínima de cemento de 400 kg/m³.
- Máxima relación agua/cemento de 0,40, contando con el agua que aportan los áridos.
- Áridos limpios, con pocos finos menores de 0,2 mm, y no susceptibles de liberar álcalis.
- Asegúrese una buena compactación de hormigón.



Si necesita más información, solicitenosla o consulte el Anexo A de la norma UNE-EN 14647 y la normativa sobre hormigones estructurales de cada país.

Ed. 01/14

ANNEX C

Informes complets dels resultats de la granulometria

-Ciment d'Aluminat de Calci

Beckman Coulter LS Particle Size Analyzer

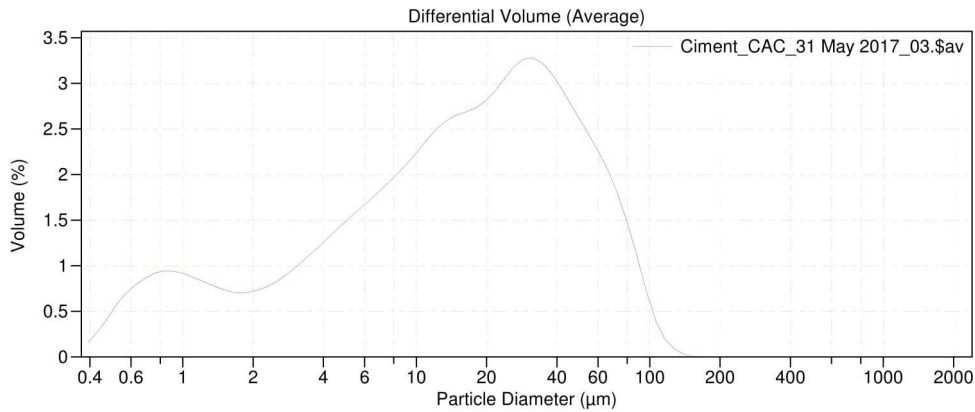


UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Page 1
31 May 2017

Centres Científics i Tecnològics - Universitat de Barcelona

File name: D:\Resultados 2017\P290\P290_2017050882\Ciment_CAC_31 May 2017_03.\$av
Ciment_CAC_31 May 2017_03.\$av
File ID: Ciment
Sample ID: CAC
Operator: Maria Serrano
Reg CCiT: 2017050882
Optical model: Fraunhofer.rfd
LS 13 320 Dry Powder System
Average of 3 files
Ciment_CAC_31 May 2017_01.\$ls
Ciment_CAC_31 May 2017_02.\$ls
Ciment_CAC_31 May 2017_03.\$ls



Volume Statistics (Arithmetic) Ciment_CAC_31 May 2017_03.\$av

Calculations from 0.375 µm to 2000 µm

Volume:	100%	S.D.:	23.28 µm
Mean:	23.81 µm	C.V.:	97.8%
Median:	16.29 µm	Skewness:	1.357 Right skewed
D(3,2):	4.431 µm	Kurtosis:	1.632 Leptokurtic
Mode:	31.50 µm		
d ₁₀ :	1.383 µm	d ₅₀ :	16.29 µm
		d ₉₀ :	58.04 µm
<10%	<25%	<50%	<75%
1.383 µm	5.594 µm	16.29 µm	35.21 µm
<1 µm	<10 µm	<100 µm	<1000 µm
7.04%	36.8%	99.2%	100%

Beckman Coulter LS Particle Size Analyzer



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Page 2
31 May 2017

Centres Científics i Tecnològics - Universitat de Barcelona

Ciment_CAC_31 May 2017_03.\$sav

Channel Diameter (Lower) μm	Diff. Volume %	Cum. < Volume %	Channel Diameter (Lower) μm	Diff. Volume %	Cum. < Volume %
0.375124	0.15922	0	194.222	0	100
0.411798	0.282356	0.15922	213.21	0	100
0.452057	0.410948	0.441576	234.054	0	100
0.496252	0.574797	0.852524	256.936	0	100
0.544768	0.698084	1.42732	282.056	0	100
0.598027	0.791703	2.1254	309.631	0	100
0.656493	0.862287	2.91711	339.902	0	100
0.720675	0.917656	3.77939	373.132	0	100
0.791132	0.945175	4.69705	409.611	0	100
0.868477	0.942488	5.64223	449.657	0	100
0.953383	0.917378	6.58471	493.617	0	100
1.04659	0.878769	7.50209	541.876	0	100
1.14891	0.836794	8.38086	594.852	0	100
1.26123	0.790847	9.21765	653.008	0	100
1.38454	0.748945	10.0085	716.849	0	100
1.5199	0.716978	10.7574	786.932	0	100
1.66849	0.704437	11.4744	863.866	0	100
1.83161	0.710604	12.1789	948.322	0	100
2.01068	0.735109	12.8895	1041.03	0	100
2.20725	0.776293	13.6246	1142.81	0	100
2.42304	0.833723	14.4009	1254.54	0	100
2.65993	0.905893	15.2346	1377.19	0	100
2.91998	0.988995	16.1405	1511.83	0	100
3.20545	1.07986	17.1295	1659.63	0	100
3.51883	1.17446	18.2093	1821.88	0	100
3.86284	1.27161	19.3838	2000	0	100
4.24049	1.36896	20.6554			
4.65506	1.46503	22.0244			
5.11017	1.55863	23.4894			
5.60976	1.65086	25.048			
6.1582	1.74364	26.6989			
6.76025	1.83839	28.4425			
7.42117	1.93691	30.2809			
8.14669	2.04148	32.2178			
8.94315	2.15526	34.2593			
9.81748	2.27817	36.4146			
10.7773	2.40335	38.6927			
11.8309	2.5164	41.0961			
12.9876	2.60224	43.6125			
14.2573	2.65649	46.2147			
15.6512	2.69149	48.8712			
17.1813	2.73305	51.5627			
18.861	2.80529	54.2958			
20.705	2.91657	57.101			
22.7292	3.05284	60.0176			
24.9513	3.18133	63.0704			
27.3906	3.26641	66.2518			
30.0685	3.28321	69.5182			
33.0081	3.22636	72.8014			
36.2352	3.109	76.0278			
39.7777	2.95205	79.1368			
43.6665	2.77776	82.0888			
47.9356	2.60128	84.8666			
52.622	2.42515	87.4678			
57.7666	2.24327	89.893			
63.4141	2.03872	92.1363			
69.6138	1.78708	94.175			
76.4196	1.47733	95.9621			
83.8907	1.11646	97.4394			
92.0923	0.728187	98.5559			
101.096	0.402081	99.284			
110.979	0.192092	99.6861			
121.829	0.0854318	99.8782			
133.74	0.0302534	99.9637			
146.815	0.00567748	99.9939			
161.168	0.000416544	99.9996			
176.925	0	100			



Estudi de la viscositat i capacitat de penetració de pastes de ciment aluminós dopades per al seu us com a matrius per a fibrociments reforçats amb noteixits de fibra vegetal

-Ciment pòrtland

Beckman Coulter LS Particle Size Analyzer

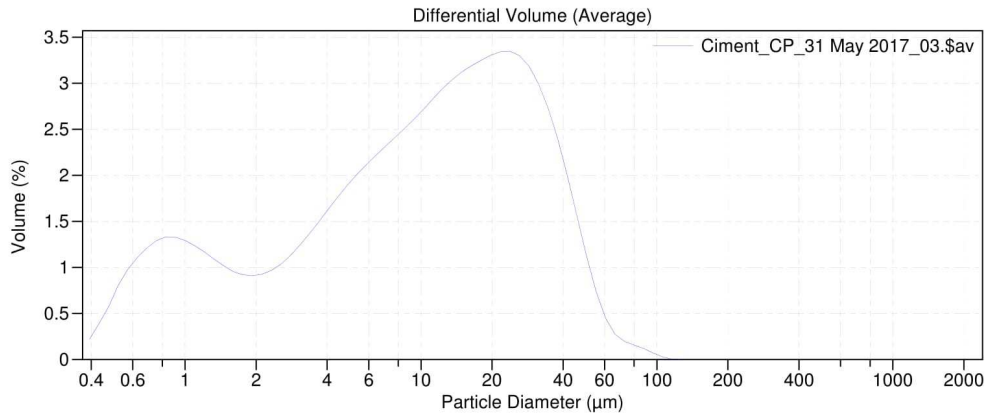


UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Page 1
31 May 2017

Centres Científics i Tecnològics - Universitat de Barcelona

File name: D:\Resultados 2017\P290\P290_2017050882\Ciment_CP_31 May 2017_03.\$av
 Ciment_CP_31 May 2017_03.\$av
 File ID: Ciment
 Sample ID: CP
 Operator: Maria Serrano
 Reg CCiT: 2017050882
 Optical model: Fraunhofer.rfd
 LS 13 320 Dry Powder System
 Average of 3 files
 Ciment_CP_31 May 2017_01.\$ls
 Ciment_CP_31 May 2017_02.\$ls
 Ciment_CP_31 May 2017_03.\$ls



Volume Statistics (Arithmetic) Ciment_CP_31 May 2017_03.\$av

Calculations from 0.375 µm to 2000 µm

Volume:	100%				
Mean:	15.01 µm	S.D.:	14.47 µm		
Median:	10.69 µm	C.V.:	96.3%		
D(3,2):	3.357 µm	Skewness:	1.501 Right skewed		
Mode:	23.81 µm	Kurtosis:	3.033 Leptokurtic		
d ₁₀ :	1.008 µm	d ₅₀ :	10.69 µm	d ₉₀ :	35.22 µm
<10%	<25%	<50%	<75%	<95%	
1.008 µm	3.632 µm	10.69 µm	22.55 µm	43.18 µm	
<1 µm	<10 µm	<100 µm	<1000 µm		
9.89%	48.0%	99.96%	100%		

Beckman Coulter LS Particle Size Analyzer



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Page 2
31 May 2017

Centres Científics i Tecnològics - Universitat de Barcelona

Ciment_CP_31 May 2017_03.\$sav

Channel Diameter (Lower) μm	Diff. Volume %	Cum. < Volume %	Channel Diameter (Lower) μm	Diff. Volume %	Cum. < Volume %
0.375124	0.221207	0	194.222	0	100
0.411798	0.392809	0.221207	213.21	0	100
0.452057	0.572818	0.614016	234.054	0	100
0.496252	0.802645	1.18683	256.936	0	100
0.544768	0.976125	1.98948	282.056	0	100
0.598027	1.10939	2.9656	309.631	0	100
0.656493	1.21116	4.075	339.902	0	100
0.720675	1.29207	5.28616	373.132	0	100
0.791132	1.33274	6.57823	409.611	0	100
0.868477	1.33014	7.91097	449.657	0	100
0.953383	1.29431	9.24111	493.617	0	100
1.04659	1.23693	10.5354	541.876	0	100
1.14891	1.17085	11.7724	594.852	0	100
1.26123	1.09489	12.9432	653.008	0	100
1.38454	1.02114	14.0381	716.849	0	100
1.5199	0.958796	15.0592	786.932	0	100
1.66849	0.922308	16.018	863.866	0	100
1.83161	0.910895	16.9403	948.322	0	100
2.01068	0.925763	17.8512	1041.03	0	100
2.20725	0.966243	18.777	1142.81	0	100
2.42304	1.03383	19.7432	1254.54	0	100
2.65993	1.12657	20.7771	1377.19	0	100
2.91998	1.23889	21.9036	1511.83	0	100
3.20545	1.36506	23.1425	1659.63	0	100
3.51883	1.498	24.5076	1821.88	0	100
3.86284	1.63407	26.0056	2000	0	100
4.24049	1.76776	27.6396			
4.65506	1.89506	29.4074			
5.11017	2.01245	31.3025			
5.60976	2.12077	33.3149			
6.1582	2.22237	35.4357			
6.76025	2.31974	37.6581			
7.42117	2.41546	39.9778			
8.14669	2.51255	42.3933			
8.94315	2.61507	44.9058			
9.81748	2.7247	47.5209			
10.7773	2.83867	50.2456			
11.8309	2.94866	53.0843			
12.9876	3.04617	56.0329			
14.2573	3.12689	59.0791			
15.6512	3.19384	62.206			
17.1813	3.25285	65.3998			
18.861	3.30504	68.6527			
20.705	3.34276	71.9577			
22.7292	3.34791	75.3005			
24.9513	3.30048	78.6484			
27.3906	3.18527	81.9489			
30.0685	2.99423	85.1341			
33.0081	2.72908	88.1284			
36.2352	2.3947	90.8574			
39.7777	1.99996	93.2521			
43.6665	1.56781	95.2521			
47.9356	1.13396	96.8199			
52.622	0.742971	97.9539			
57.7666	0.450095	98.6968			
63.4141	0.27537	99.1469			
69.6138	0.196206	99.4223			
76.4196	0.157577	99.6185			
83.8907	0.120182	99.7761			
92.0923	0.0711505	99.8963			
101.096	0.0271638	99.9674			
110.979	0.00508141	99.9946			
121.829	0.000340234	99.9997			
133.74	0	100			
146.815	0	100			
161.168	0	100			
176.925	0	100			



-Metacaolí

Beckman Coulter LS Particle Size Analyzer

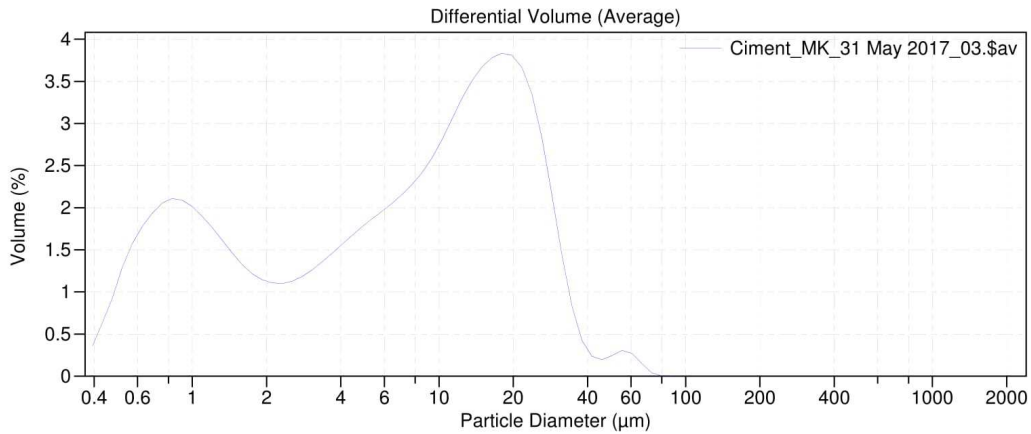


UNIVERSITAT DE BARCELONA

Page 1
31 May 2017

Centres Científics i Tecnològics - Universitat de Barcelona

File name: D:\Resultados 2017\P290\P290_2017050882\Ciment_MK_31 May 2017_03.\$av
 Ciment_MK_31 May 2017_03.\$av
 File ID: Ciment
 Sample ID: MK
 Operator: Maria Serrano
 Reg CCiT: 2017050882
 Optical model: Fraunhofer.rfd
 LS 13 320 Dry Powder System
 Average of 3 files
 Ciment_MK_31 May 2017_01.\$ls
 Ciment_MK_31 May 2017_02.\$ls
 Ciment_MK_31 May 2017_03.\$ls



Volume Statistics (Arithmetic) Ciment_MK_31 May 2017_03.\$av

Calculations from 0.375 µm to 2000 µm

Volume: 100%	S.D.: 10.39 µm
Mean: 10.62 µm	C.V.: 97.8%
Median: 7.797 µm	Skewness: 1.537 Right skewed
D(3,2): 2.424 µm	Kurtosis: 3.683 Leptokurtic
Mode: 18.00 µm	

d ₁₀ : 0.773 µm	d ₅₀ : 7.797 µm	d ₉₀ : 24.37 µm
----------------------------	----------------------------	----------------------------

<10%	<25%	<50%	<75%	<95%
0.773 µm	1.693 µm	7.797 µm	16.68 µm	29.00 µm

<1 µm	<10 µm	<100 µm	<1000 µm
15.7%	56.6%	100%	100%

Beckman Coulter LS Particle Size Analyzer



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Page 2
31 May 2017

Centres Científics i Tecnològics - Universitat de Barcelona

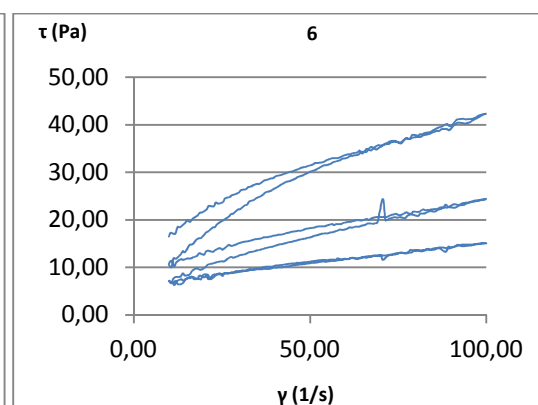
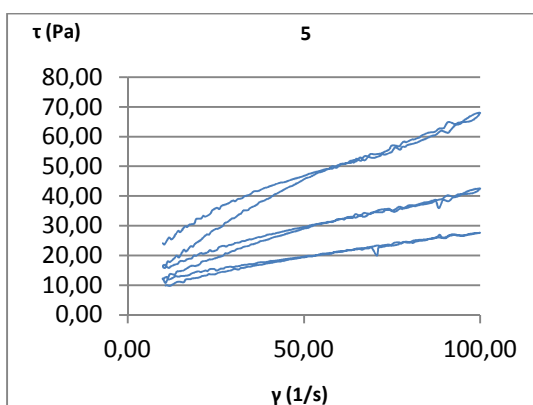
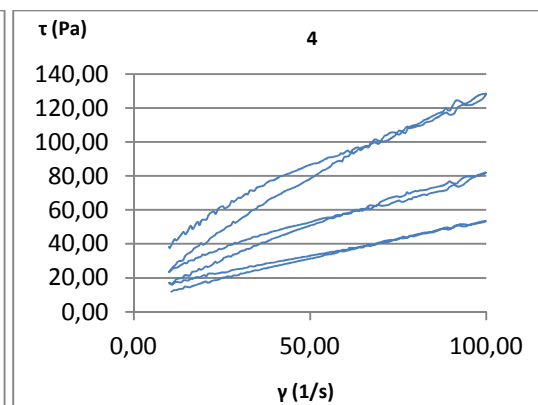
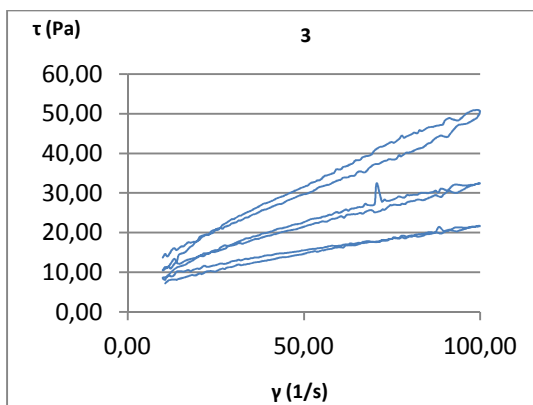
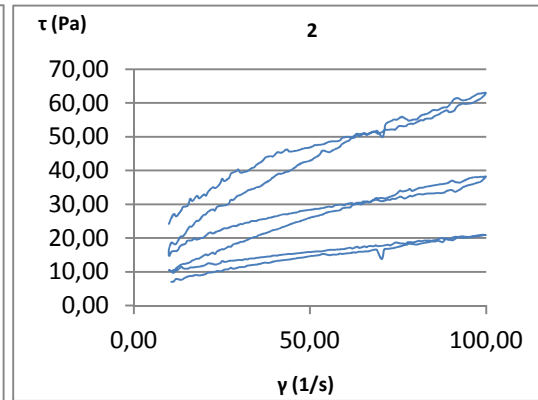
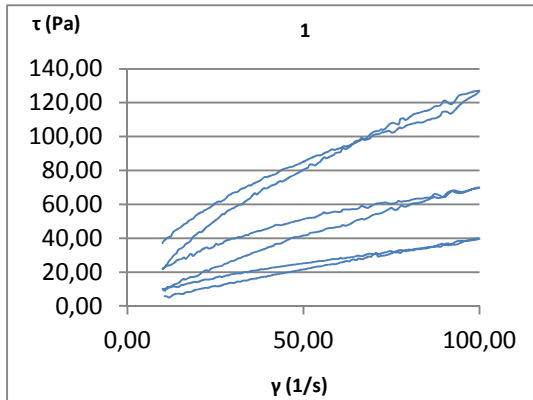
Ciment_MK_31 May 2017_03.\$sav

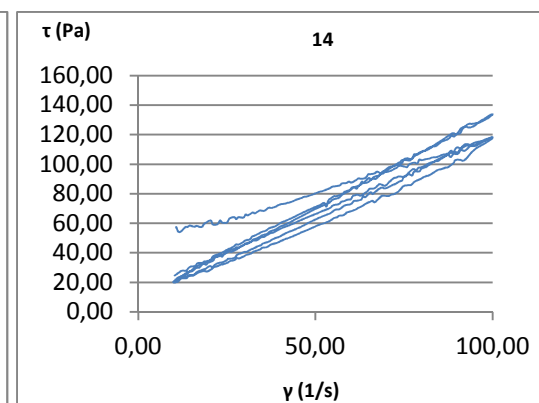
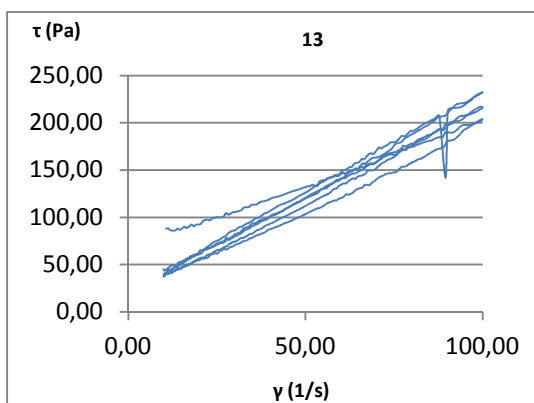
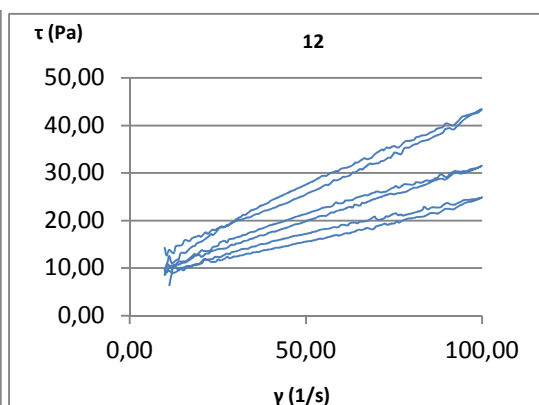
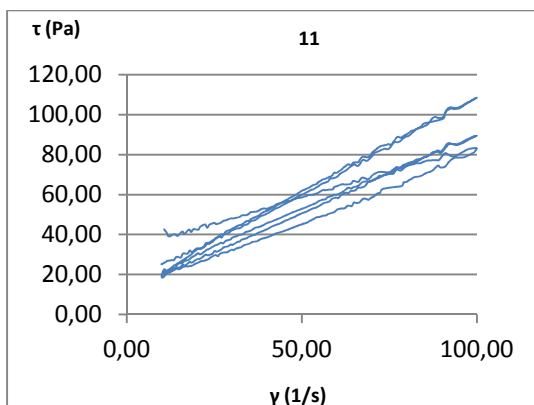
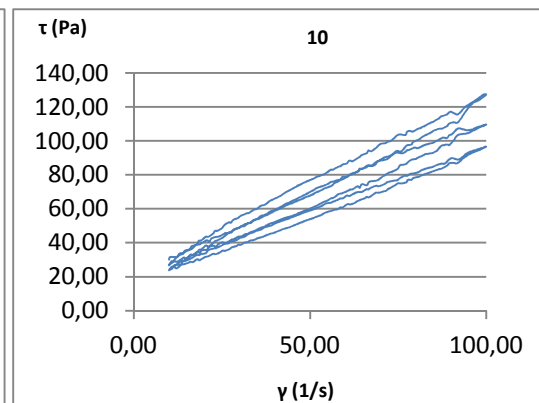
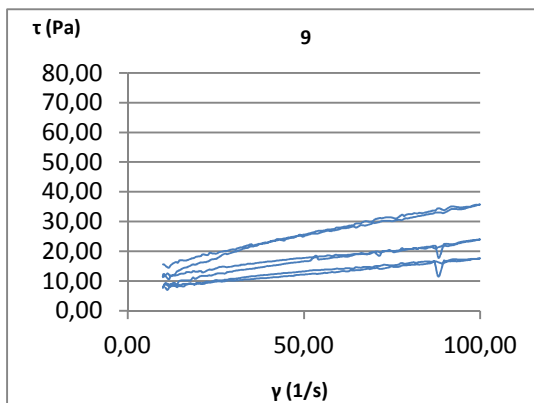
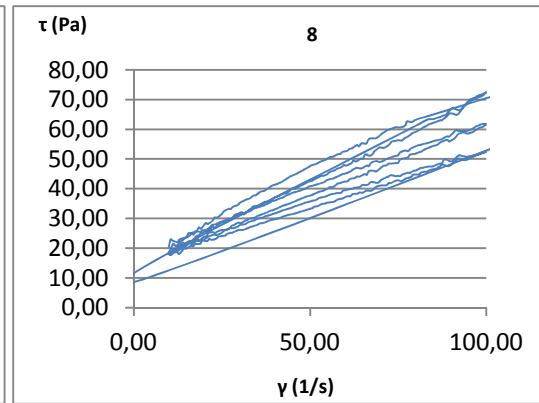
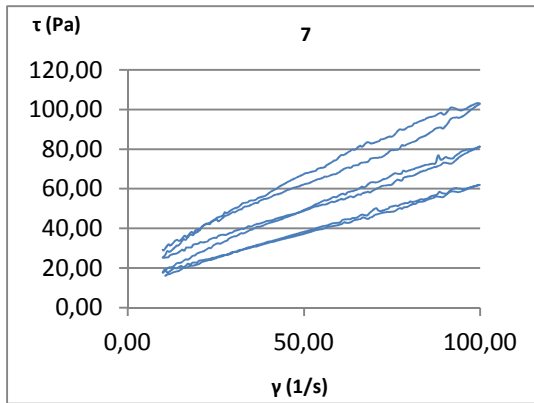
Channel Diameter (Lower) μm	Diff. Volume %	Cum. < Volume %	Channel Diameter (Lower) μm	Diff. Volume %	Cum. < Volume %
0.375124	0.357651	0	194.222	0	100
0.411798	0.634167	0.357651	213.21	0	100
0.452057	0.923135	0.991818	234.054	0	100
0.496252	1.29162	1.91495	256.936	0	100
0.544768	1.56897	3.20657	282.056	0	100
0.598027	1.77857	4.77554	309.631	0	100
0.656493	1.93469	6.55411	339.902	0	100
0.720675	2.05428	8.4888	373.132	0	100
0.791132	2.10832	10.5431	409.611	0	100
0.868477	2.08941	12.6514	449.657	0	100
0.953383	2.01322	14.7408	493.617	0	100
1.04659	1.89802	16.754	541.876	0	100
1.14891	1.7657	18.6521	594.852	0	100
1.26123	1.61427	20.4178	653.008	0	100
1.38454	1.46197	22.032	716.849	0	100
1.5199	1.32245	23.494	786.932	0	100
1.66849	1.21697	24.8164	863.866	0	100
1.83161	1.14509	26.0334	948.322	0	100
2.01068	1.10719	27.1785	1041.03	0	100
2.20725	1.10123	28.2857	1142.81	0	100
2.42304	1.12702	29.3869	1254.54	0	100
2.65993	1.18282	30.514	1377.19	0	100
2.91998	1.26144	31.6968	1511.83	0	100
3.20545	1.35672	32.9582	1659.63	0	100
3.51883	1.4596	34.3149	1821.88	0	100
3.86284	1.56665	35.7745	2000	0	100
4.24049	1.67212	37.3412			
4.65506	1.77289	39.0133			
5.11017	1.86736	40.7862			
5.60976	1.95907	42.6536			
6.1582	2.05377	44.6126			
6.76025	2.15654	46.6664			
7.42117	2.27451	48.8229			
8.14669	2.41637	51.0974			
8.94315	2.59321	53.5138			
9.81748	2.80878	56.107			
10.7773	3.05262	58.9158			
11.8309	3.29723	61.9684			
12.9876	3.51032	65.2657			
14.2573	3.67306	68.776			
15.6512	3.78098	72.449			
17.1813	3.83357	76.23			
18.861	3.81046	80.0636			
20.705	3.66374	83.874			
22.7292	3.34289	87.5378			
24.9513	2.82529	90.8807			
27.3906	2.15343	93.706			
30.0685	1.44236	95.8594			
33.0081	0.827921	97.3018			
36.2352	0.423895	98.1297			
39.7777	0.237061	98.5536			
43.6665	0.196129	98.7906			
47.9356	0.244409	98.9868			
52.622	0.304697	99.2312			
57.7666	0.270573	99.5359			
63.4141	0.151548	99.8064			
69.6138	0.0378693	99.958			
76.4196	0.00413496	99.9959			
83.8907	0	100			
92.0923	0	100			
101.096	0	100			
110.979	0	100			
121.829	0	100			
133.74	0	100			
146.815	0	100			
161.168	0	100			
176.925	0	100			



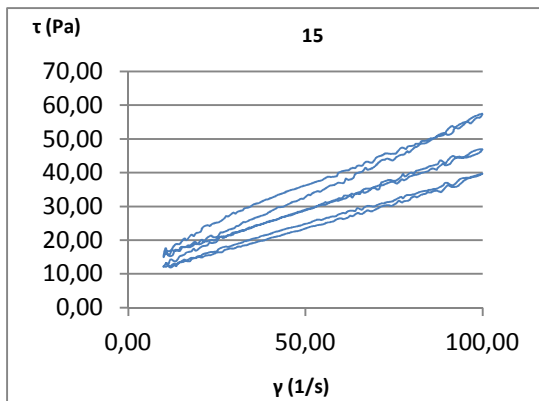
ANNEX D

-Corbes de l'assaig de viscositat sense superfluidificant (el títol és el número de la mostra)

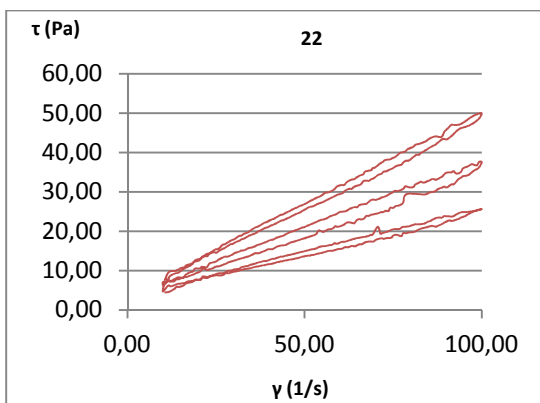
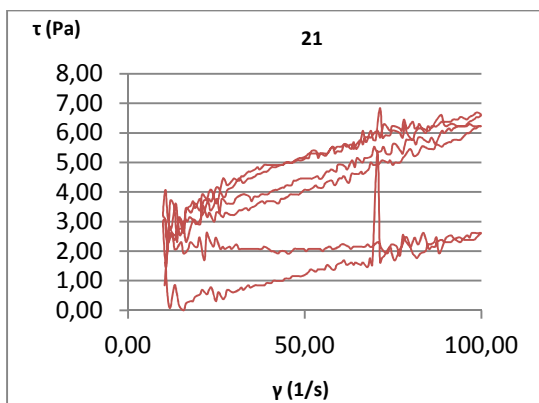
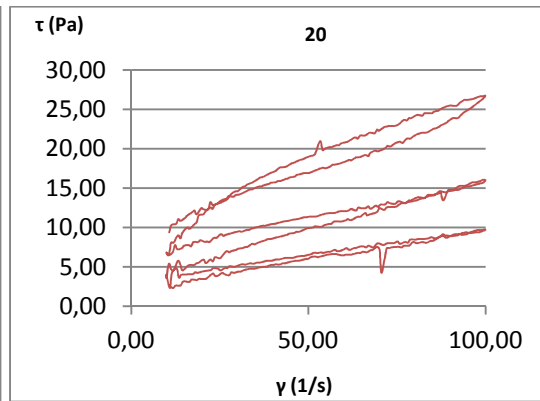
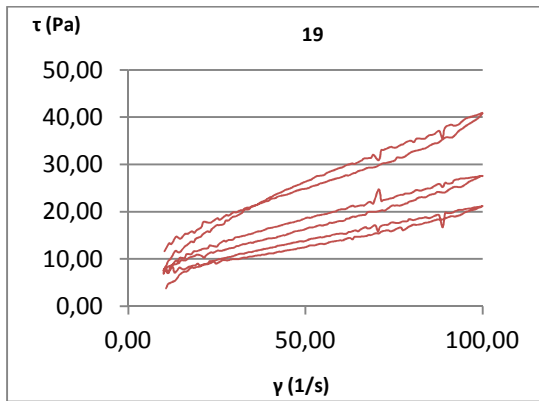


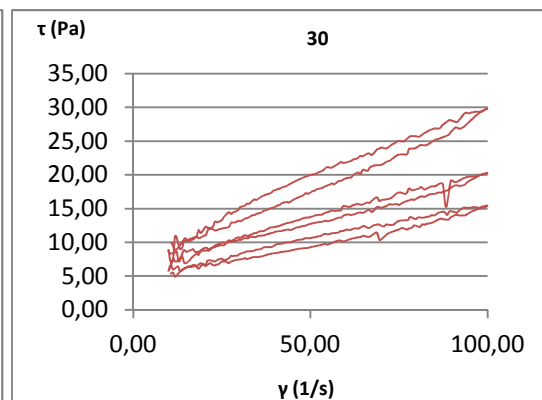
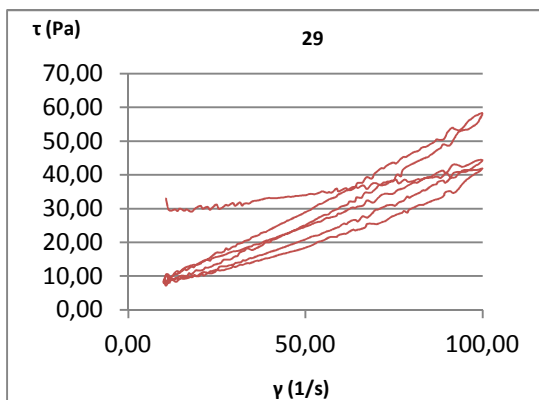
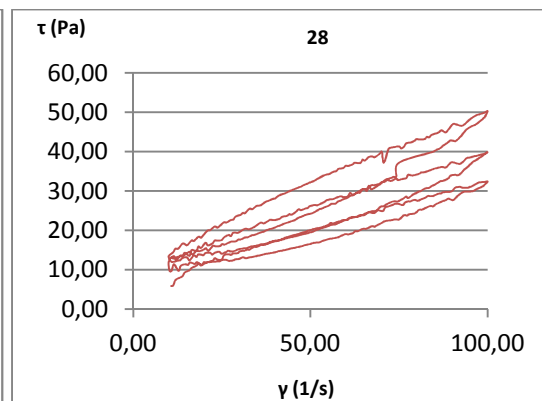
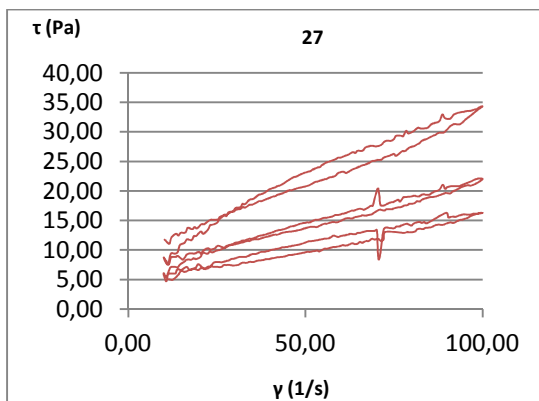
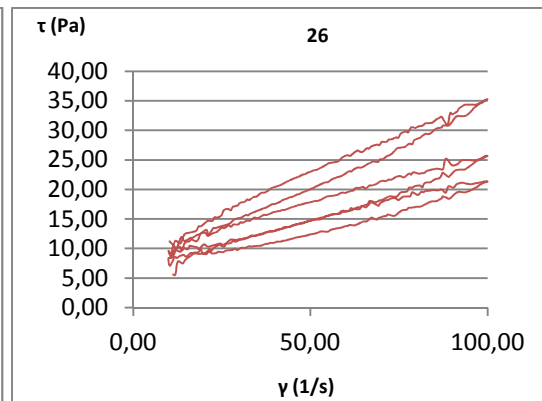
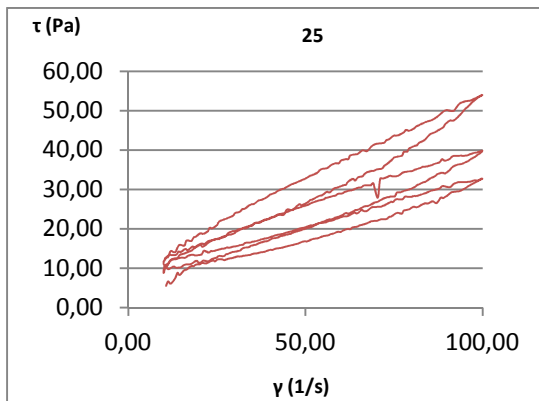
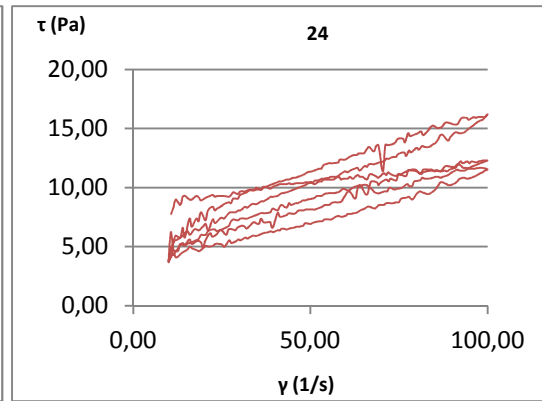
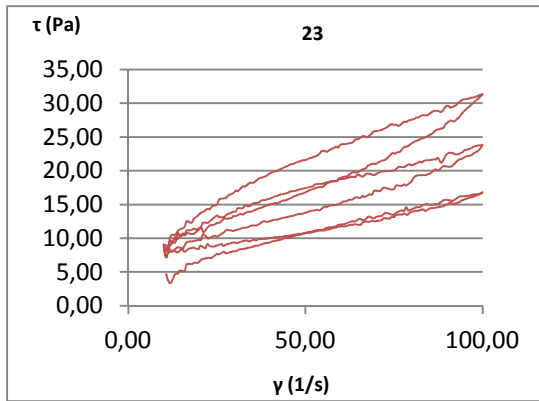


Estudi de la viscositat i capacitat de penetració de pastes de ciment aluminós dopades per al seu us com a matrius per a fibrociments reforçats amb noteixits de fibra vegetal

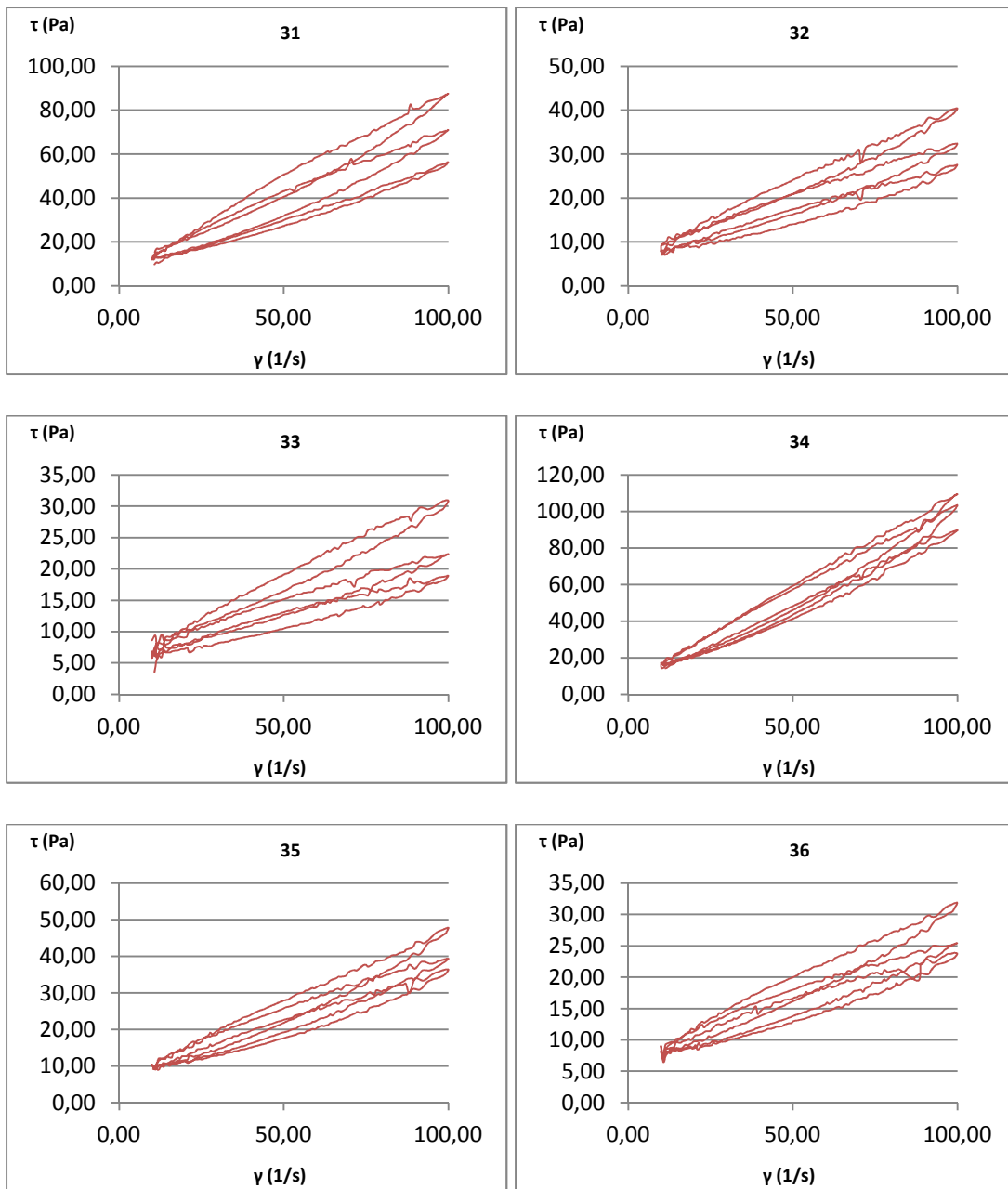


-Corbes de l'assaig de viscositat amb superfluïdificant (el títol és el número de la mostra)





Estudi de la viscositat i capacitat de penetració de pastes de ciment aluminós dopades per al seu us com a matrius per a fibrociments reforçats amb noteixits de fibra vegetal



-Taula amb els pics de les corbes de viscositat sense superfluïdificant (τ en Pa)

CAC (%)	Pic	35% d'Aigua	40% d'Aigua	45% d'Aigua
100	1	40	21	22
100	2	70	38	32
100	3	127	63	51
90	1	53	28	15
90	2	82	43	24
90	3	129	68	42
80	1	62	52	18
80	2	81	62	24
80	3	103	73	36
70	1	97	83	25
70	2	110	89	31
70	3	127	109	43
60	1	204	118	40
60	2	216	118	47
60	3	232	134	57

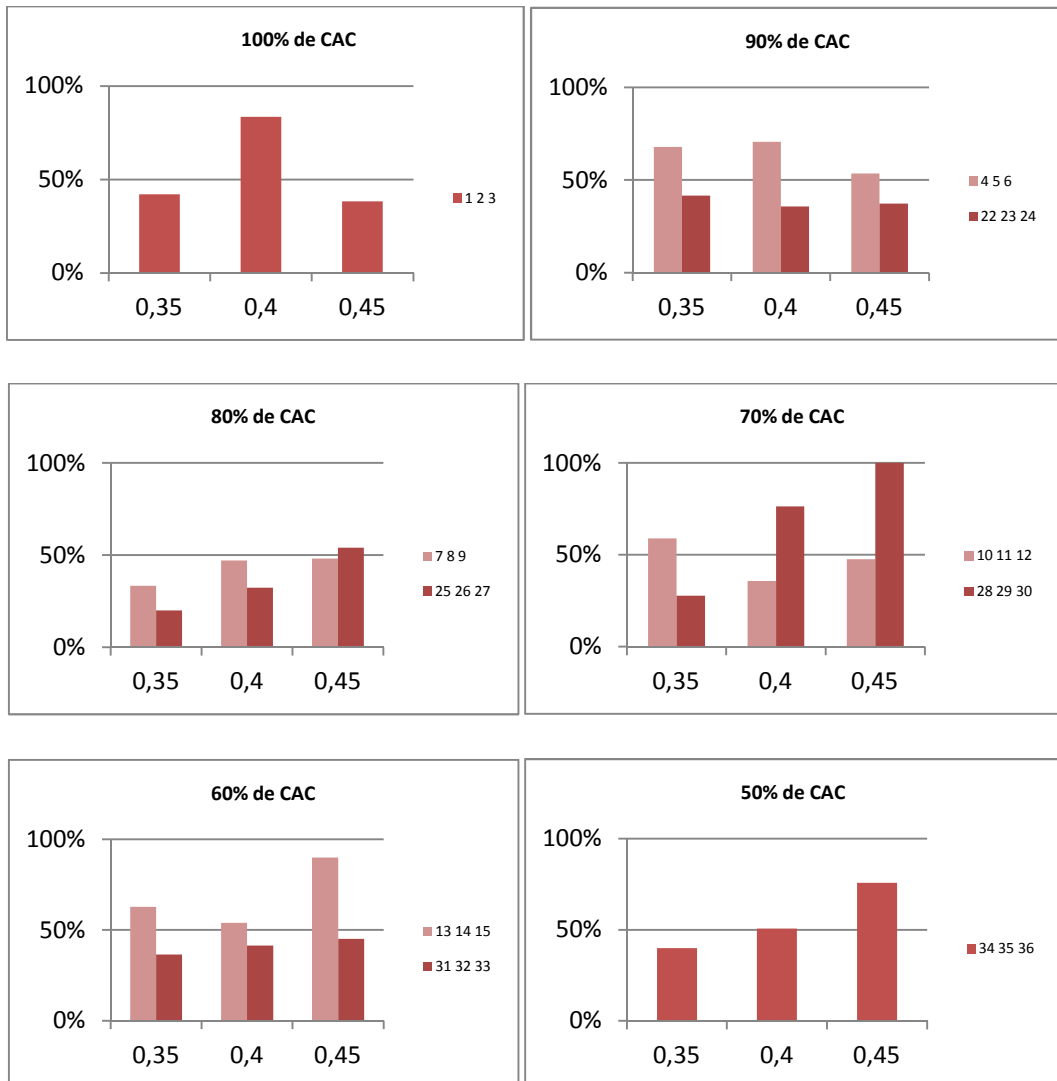
-Taula amb els pics de les corbes de viscositat amb superfluïdificant (τ en Pa)

CAC (%)	Pic	35% d'Aigua	40% d'Aigua	45% d'Aigua
100	1	21	10	3
100	2	28	16	6
100	3	41	27	7
90	1	26	17	12
90	2	38	24	12
90	3	50	31	16
80	1	33	21	16
80	2	40	26	22
80	3	54	35	34
70	1	32	24	15
70	2	40	29	20
70	3	50	37	30
60	1	56	28	19
60	2	71	32	22
60	3	88	40	31
50	1	90	36	24
50	2	103	39	25
50	3	109	48	32

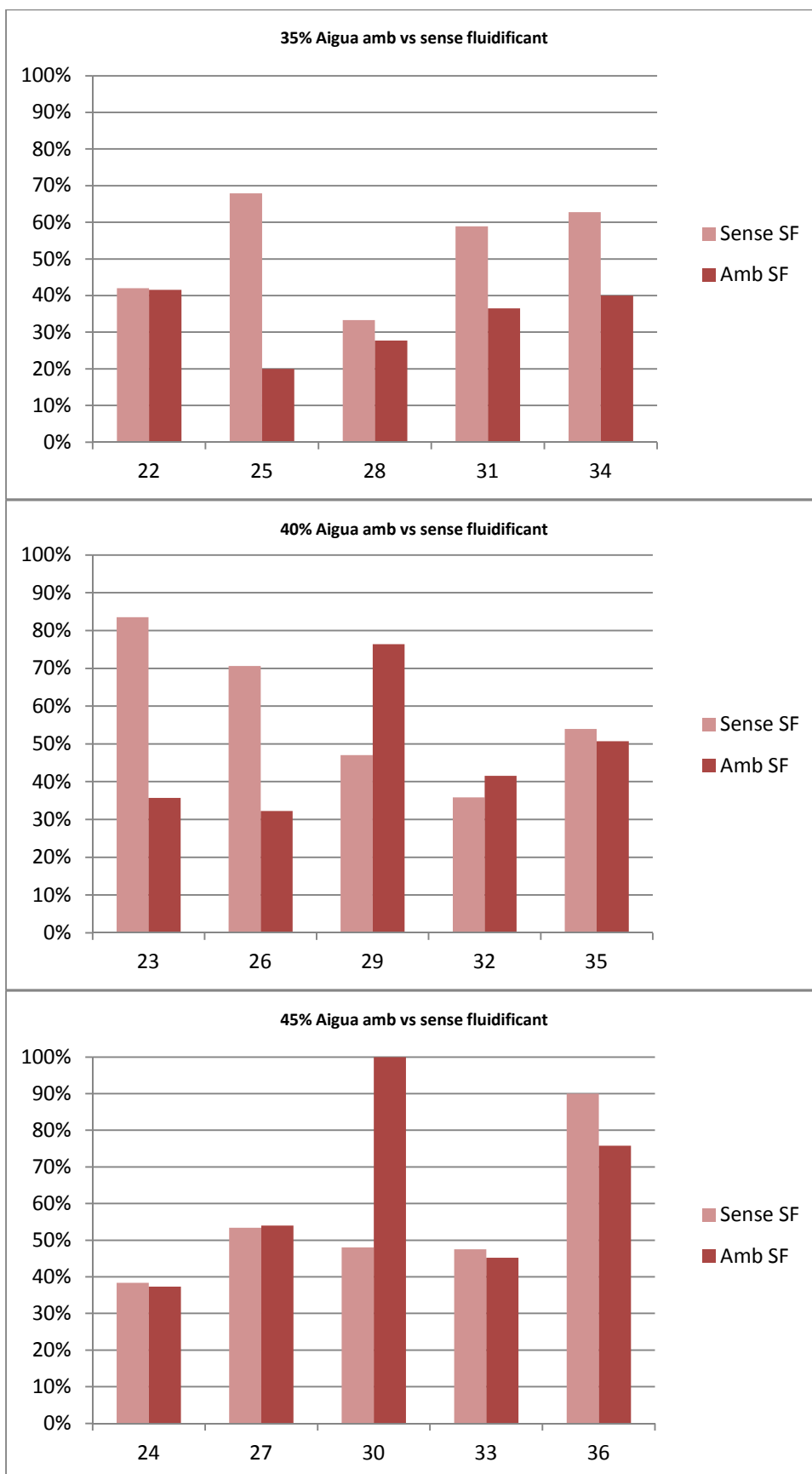
ANNEX E

Gràfics de penetració

-Comparativa del percentatge de penetració segons el contingut de ciment d'aluminat de calci (CAC) i els continguts d'aigua (35%, 40% i 45%) i el número de mostra



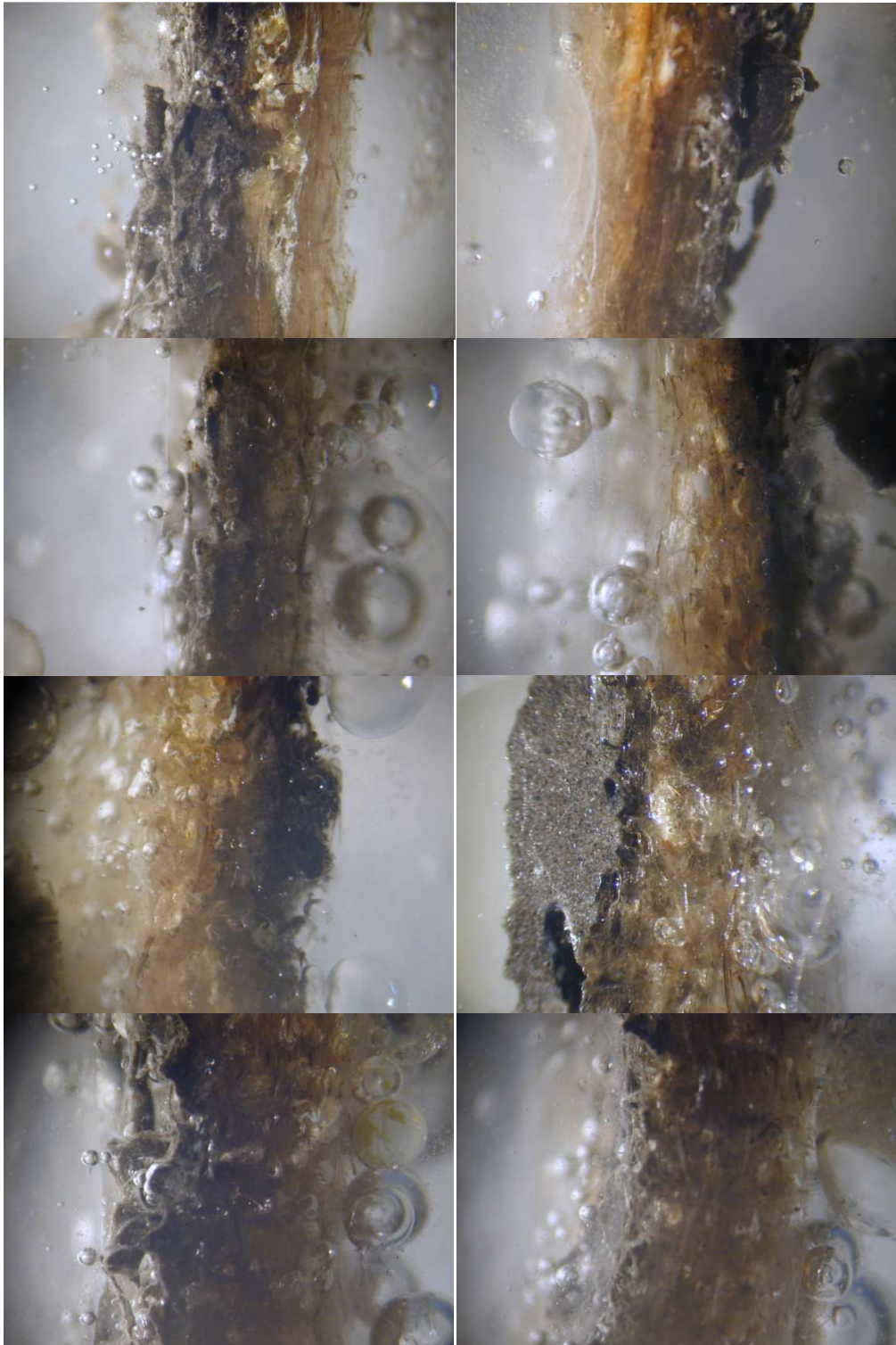
-Comparativa del percentatge de penetració segons el contingut d'aigua

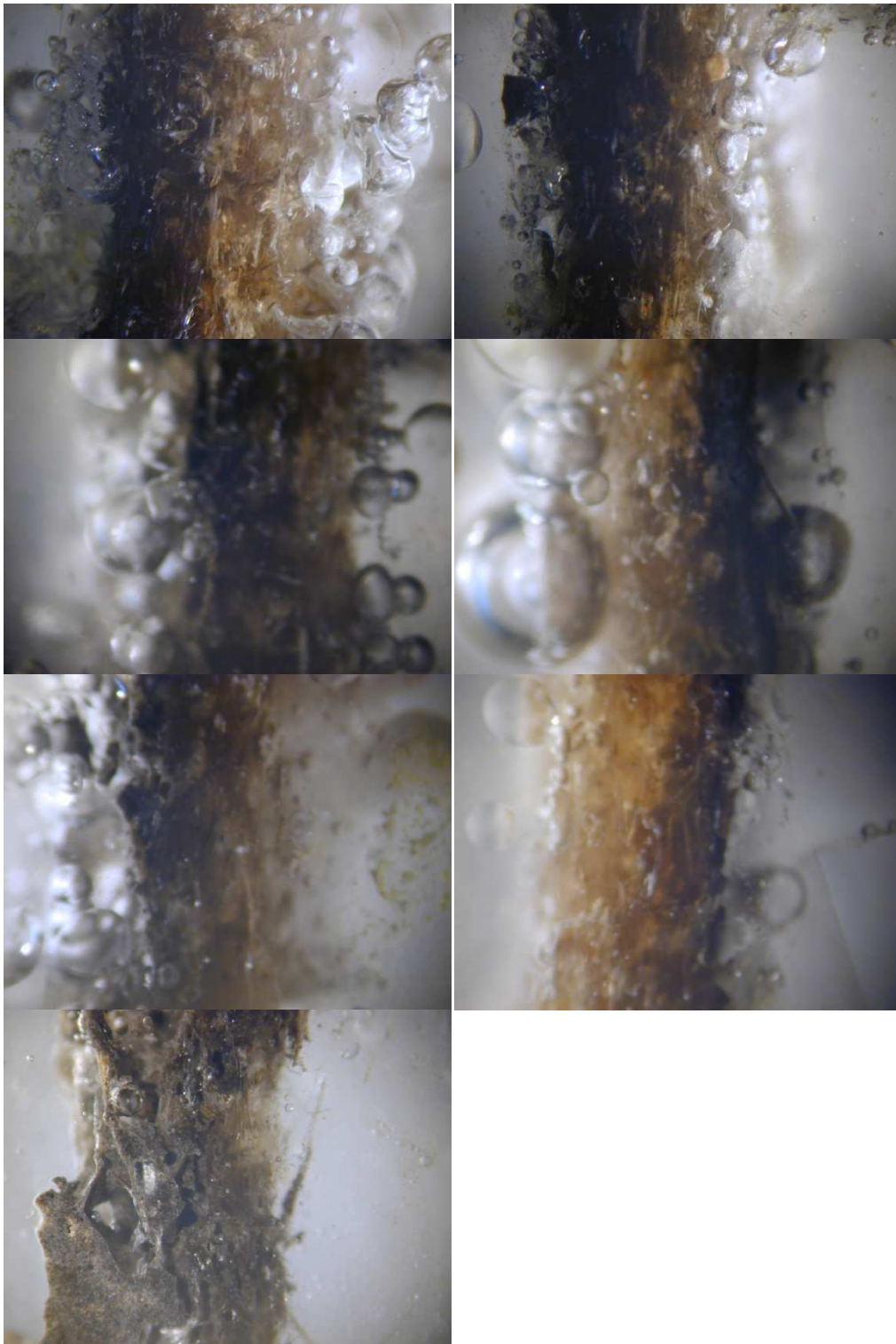


ANNEX F

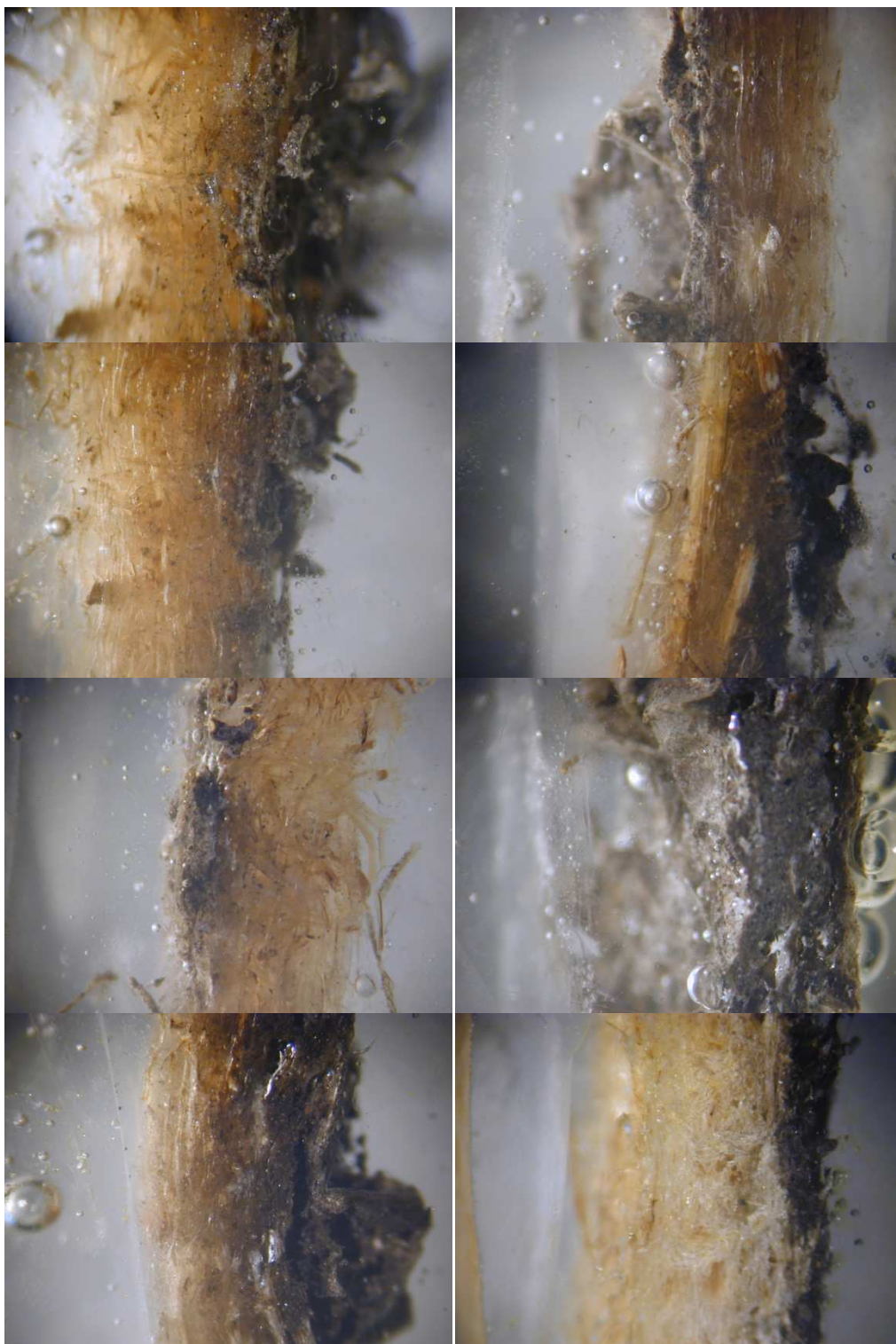
Fotografies de la penetració a través de la lupa (ordenades numèricament d'esquerra a dreta) i amb un augment de 40x.

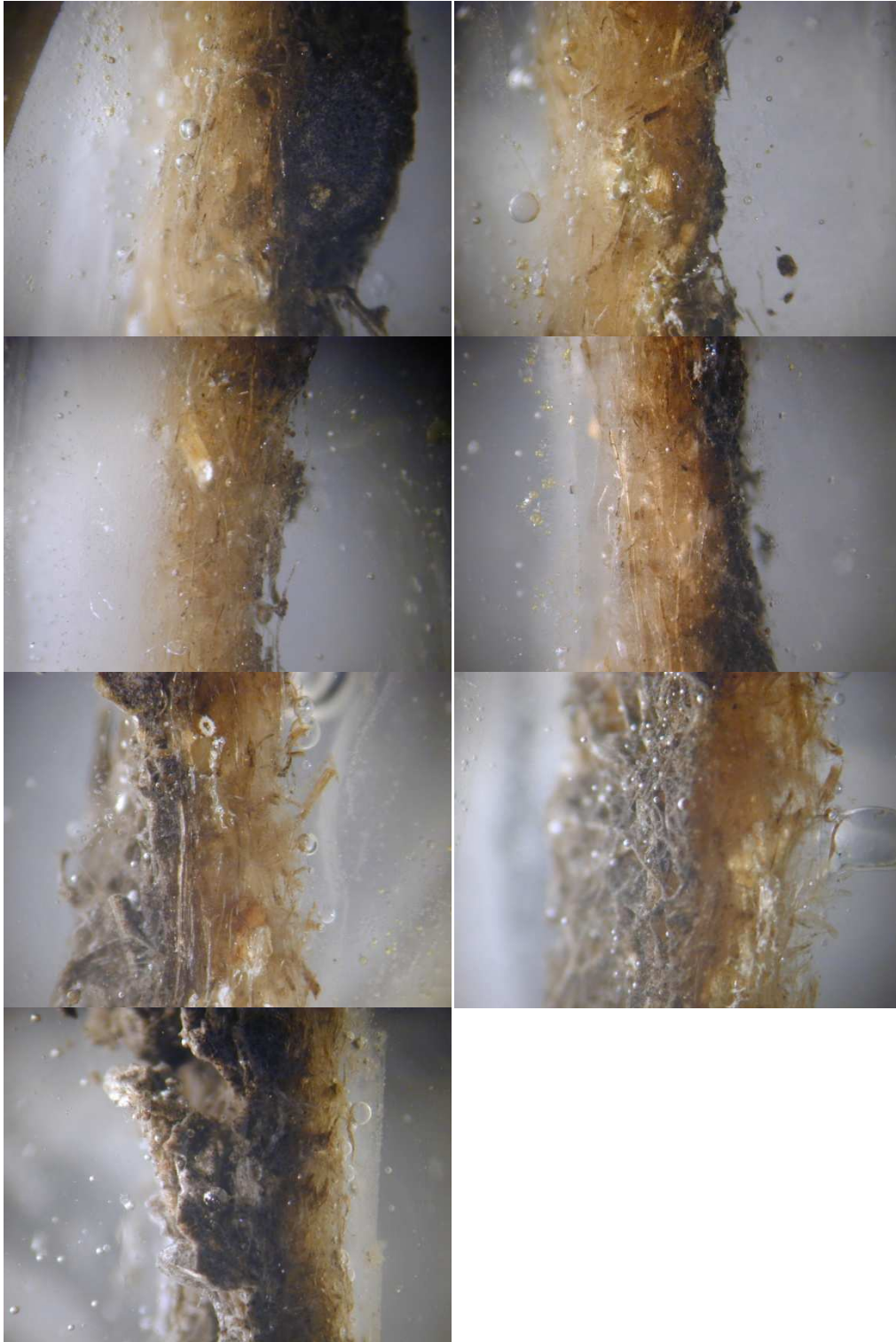
-Sense superfluïdificant





-Sense superfluidificant





ANNEX G

-Anàlisi de la variància dels resultats de la penetració

General Linear Model: % PEN versus % CAC; Aigua; SF

Method

Factor coding (-1; 0; +1)

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
% CAC	Fixed	6	50; 60; 70; 80; 90; 100
Aigua	Fixed	3	0,35; 0,40; 0,45
SF	Fixed	2	No; Yes

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
% CAC	5	0,14821	0,02964	0,82	0,549
Aigua	2	0,12723	0,06361	1,76	0,197
SF	1	0,06202	0,06202	1,72	0,204
Error	21	0,75906	0,03615		
Total	29	1,08170			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,190120	29,83%	3,09%	0,00%