

## Treball final de grau

**Estudi:**

Grau en Arquitectura Tècnica

**Títol:**

Estudi de la incidència de les nanofibres de cel·lulosa en el ciment Portland tipus CEM-1

**Document:**

Memòria

**Alumnes:**

Carlos Gustavo Cespedes Vila

Joan Josep Tarifa Gómez

**Tutor:**

Dr. Rafel Reixach Corominas

**Departament:**

Arquitectura i Enginyeria de la  
Construcció (UDG)

**Àrea:**

Construccions arquitectòniques

**Tutor:**

Dr. Josep Claramunt Blanes

**Departament:**

Enginyeria Agroalimentària i  
Biotecnologia (UPC)

**Àrea:**

Producció vegetal

**Convocatòria (mes/any)**

Setembre 2017

# ÍNDEX

<b>ÍNDEX</b> .....	<b>1</b>
<b>ÍNDEX DE FOTOGRAFIES</b> .....	<b>3</b>
<b>ÍNDEX DE TAULES</b> .....	<b>6</b>
<b>ÍNDEX DE GRÀFICS</b> .....	<b>9</b>
<b>INTRODUCCIÓ</b> .....	<b>11</b>
<b>TUTORS</b> .....	<b>12</b>
ALTRES DOCENTS.....	13
<b>ESTAT DE L'ART</b> .....	<b>15</b>
<b>OBJECTIUS</b> .....	<b>16</b>
OBJECTIUS PROPOSTA .....	17
OBJECTIUS RESULTANTS .....	18
<b>LES NANO FIBRES</b> .....	<b>20</b>
DEFINICIÓ.....	21
HISTÒRIA.....	22
CLASSIFICACIÓ DELS NANO MATERIALS .....	23
APLICACIONS.....	24
NANOFIBRES DE CEL·LULOSA.....	25
<b>EL CIMENT</b> .....	<b>26</b>
DEFINICIÓ.....	27
HISTÒRIA.....	29
CIMENT PORTLAND.....	30
TIPUS DE CEMENTS .....	32
CIMENT PORTLAND CEM I .....	34
USOS DEL CEM I.....	35
<b>EXERCÍ</b> .....	<b>36</b>
LABORATÒRIS .....	37
OBTENCIÓ DE NANOFIBRES DE CEL·LULOSA DE PI .....	39
CARACTARITZACIO DE LES NANOFIBRES DE CEL·LULOSA DE PI.....	48
MOTLLES UTILITZATS .....	49

REALITZACIÓ DE PROVETES .....	51
<b>ASSAJOS .....</b>	<b>72</b>
ASSAIG DE CONSISTÈNCIA DE LES NANOFIBRES.....	73
ASSAIG DEL NUMERO KAPPA.....	77
ASSAIG DE SUPERFICIE ESPECIFICA .....	81
ASSAIG DE FLEXIÓ.....	92
ASSAIG DE COMPRESSIÓ.....	97
ASSAIG FÍSIC .....	101
ASSAIG DE MICROSCOPIA .....	106
ASSAIG DE DURABILITAT.....	113
ASSAIG D'IMPACTE .....	118
ASSAIG DE PLASTICITAT .....	125
ASSAIG TGA I TMA.....	129
ASSAIG DE TRANSMITÀNCIA TÈRMICA.....	137
<b>CONCLUSIONS .....</b>	<b>152</b>
DESTACAT.....	153
CONCLUSIÓ FINAL.....	154
NOVES LINIES D'INVESTIGACIÓ.....	155
APLICACIÓ.....	156
<b>REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES .....</b>	<b>157</b>
<b>ANNEXOS.....</b>	<b>159</b>
ANNEX A – FABRICACIÓ MOTLLES 10 x 10 x 70 mm .....	160
ANNEX B - MODIFICACIÓ DE MOTLLES DE 40 x 40 x 160 mm .....	163
ANNEX C – FABRICACIÓ DE LA CAIXA TÈRMICA.....	164
ANNEX D – RESULTATS DE FLEXIÓ.....	167
ANNEX E – RESULTATS DE COMPRESSIÓ.....	203
ANNEX F – PROTOCOL NORMALITZAT BLAU DE METILÈ.....	226
ANNEX G – GRÀFIQUES I TAULES ASSAIG CONSISTÈNCIA.....	230
ANNEX H – RESULTATS ASSAIG DE TRANSMITÀNCIA TÈRMICA. ....	232
ANNEX I – FOTOGRAFIES ASSAIG MICROSCOPIA .....	263

# ÍNDEX DE FOTOGRAFIES

Fotografia 1 – Nanocelulosa d'entre 10 i 20 nm de diàmetre. Procedència: <a href="http://www.mecydiceblogtechnology.blogspot.com.es">www.mecydiceblogtechnology.blogspot.com.es</a> .....	21
Fotografia 2 – Flor de lotus en estat salvatge .....	22
Fotografia 3 – Samarreta tècnica de nanofibra .....	24
Fotografia 4 – Exemple de nanocel·lulosa blanquejada Procedència: Wikipedia (nanocel·lulosa) .....	25
Fotografia 5 – CEM I amb cràter d'aigua .....	26
Fotografia 6 – Ciment adhesiu exemple d'orgànic .....	27
Fotografia 7 – Ciment Portland .....	28
Fotografia 8 – Ruïnes de Babilonia .....	29
Fotografia 9 - Clíncer .....	30
Fotografia 10 – Sac de CEM I utilitzat en tots els processos. Procedència: <a href="http://www.cimencat.com">www.cimencat.com</a> .....	34
Fotografia 11 – Morter de reparació amb ciment CEM I .....	35
Fotografia 12 – Flocs de pi embossats .....	39
Fotografia 13 – Molí de ganivetes .....	40
Fotografia 14 – Tamís utilitzat .....	40
Fotografia 15 – Serradures de pi .....	40
Fotografia 16 – Fotografia del reactor utilitzat .....	42
Fotografia 17 – Centrifugadora utilitzada .....	43
Fotografia 18 – Refinador de laboratori Sprout-Waldron .....	44
Fotografia 19 - Esquema de funcionament, sense pressió ( <a href="https://www.youtube.com/watch?v=FkxH4E2LDBY">https://www.youtube.com/watch?v=FkxH4E2LDBY</a> ) .....	45
Fotografia 20 - Esquema de funcionament, amb pressió ( <a href="https://www.youtube.com/watch?v=FkxH4E2LDBY">https://www.youtube.com/watch?v=FkxH4E2LDBY</a> ) .....	45
Fotografia 21 – Homogeneïtzador en funcionament .....	47
Fotografia 22 – Recipient i pala tipus .....	52
Fotografia 23 - Agitador .....	52
Fotografia 24 – Hèlix .....	53
Fotografia 25 – Flux axial de l'hèlix .....	53
Fotografia 26 – Cavitat del reòmetre on s'hi introdueix el material .....	54
Fotografia 27 – Crivat del ciment pel primer tamís .....	56



Fotografia 28 – Escòria resultant primer tamís .....	56
Fotografia 29 – En aquesta fotografia observem el cristal·lització del que parlàvem amb la marca inicial abans de començar la concentració (dalt) i la marca on acabarà la concentració (baix). .....	76
Fotografia 30 – En aquesta fotografia podem veure el forn a 80°C evaporant l'aigua de la dissolució.....	76
Fotografia 31 – Premsa trencant a flexió .....	93
Fotografia 32 – Conjunt de provetes ja trencades a flexió .....	95
Fotografia 33 – Trencament de proveta a compressió .....	99
Fotografia 34 – En aquesta fotografia veiem algunes d'elles provetes dins el forn a una temperatura de 60°C.....	102
Fotografia 35 – Bàscula hidrostàtica.....	103
Fotografia 36 – Exemple de microscopi electrònic.....	106
Fotografia 37 – Imatge a escala de 300 micres de proveta amb un 1,5% de nanofibra ...	107
Fotografia 38 – Imatge a escala de 30 micres de proveta amb un 1,5% de nanofibra .....	108
Fotografia 39 – Imatge a escala de 6 micres de proveta amb un 1,5% de nanofibra .....	109
Fotografia 40 - Imatge a escala de 1 micra de proveta amb un 1,5% de nanofibra.....	110
Fotografia 41 - Imatge a escala de 300 nanòmetres de proveta amb un 1,5% de nanofibra .....	111
Fotografia 42 – Imatge a escala de 100 nanòmetres de nanofibra sola .....	112
Fotografia 43 – Motlle emprat.....	119
Fotografia 44 – provetes obtingudes.....	119
Fotografia 45 – Equip per a assaig de energia de ruptura .....	121
Fotografia 46 – Estructura lliscant .....	121
Fotografia 47 – Peu magnètic per a deixar anar la bola verticalment.....	122
Fotografia 48 – Proveta CEM 1 abans de l'assaig i marcat del centre. ....	123
Il·lustració 49 – Disposició proveta CEM 1 i comprovació alçada 100 mm.....	123
Fotografia 50 – Trencat de la proveta en l'impacte de la bola a 100 mm. ....	123
Fotografia 51 – Tronc de con normalitzat.....	125
Fotografia 52 – Exemple assaig consistència .....	126
Fotografia 53 – Aparell d'anàlisi TMA .....	130
Fotografia 54 – Aparell d'anàlisi TGA .....	130
Fotografia 55 – Conjunt de provetes a punt pels assaigs.....	131
Fotografia 56 – Gràfic tipus s'identificació del règuim estacionari .....	140
Fotografia 57 – Conductivitat tèrmica CEM 1 (32,5 N). Font: Web universitat de Barcelona ( <a href="http://www.ub.edu/cmematerials/es/content/cemento-portland">http://www.ub.edu/cmematerials/es/content/cemento-portland</a> ) .....	144

Fotografia 58 – Gràfica de comparació entre Flexió i Tèrmica.....	151
Gràfica 59 – Gràfica de comparació entre Flexió i Tèrmica. .	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Fotografia 59 – Barres ja tallades .....	161
Fotografia 60 – Trepant de barres .....	161
Fotografia 61 – Serra de disc.....	162
Fotografia 62 – Caixa tèrmica en procés de trasdossat d'aïllament .....	165
Fotografia 63 – Resistència ja instal·lada .....	165
Fotografia 64 – Probeta de 1% de contingut de nanofibra a una escala de 30 micres .....	263
Fotografia 65 – Probeta de 1% de contingut de nanofibra a una escala de 6 micres .....	263
Fotografia 66 Probeta de 1% de contingut de nanofibra a una escala de 3 micres .....	264
Fotografia 67 – Probeta de 1% de contingut de nanofibra a una escala de 300 nanòmetres .....	264
Fotografia 68 – Probeta de 1,81% de contingut de nanofibra a una escala de 30 micres	265
Fotografia 69 – Probeta de 1,81% de contingut de nanofibra a una escala de 6 micres ..	265

# ÍNDEX DE TAULES

Taula 1: Tipus de ciments comuns i composicions: proporció en massa .....	32
Taula 2: Exigències mecàniques i físiques .....	33
Taula 3: Relació de tipus de ciment i resistència característica dels formigons .....	33
Taula 4 – Components del ciment utilitzat. Procedència: <a href="http://www.cimencat.com">www.cimencat.com</a> .....	34
Taula 5 – Recull de dades de les diferents passades per l'homogeneïtzador .....	47
Taula 6 – Relació de pasta envers al numero KAPPA. ....	77
Taula 7 – Taula de valors de d en funció de del volum de permanganat potàssic gastat... ..	79
Taula 8 – Càlcul de CD.....	86
Taula 10 – Càlcul de CC.....	90
Taula 11 –Taula de resultats de les provetes sortides del forn a 60°C.....	104
Taula 12 – Taula de resultats de les provetes sortides d'immersió .....	104
Taula 13 – Taula de resultats de provetes immerses a la bàscula .....	104
Taula 14 – Taula de resultat de volum mitjançant les masses i densitat de l'aigua .....	105
Taula 15 – Taula resultat densitat aparent.....	105
Taula 16 - En aquesta taula podem observar els resultats de les diferents pesades corresponents a les diferents provetes durant els diferents cicles fins a un total de 6. ....	116
Taula 17 - Energia de ruptura. ....	124
Taula 18 – Assaig de par CEM + H <sub>2</sub> O + CNF + FLU.....	127
Taula 19 – Extracte de dades per a els càlculs de A, R i U. (Proveta-3 de CEM 1 + CNF 1%) .....	145
Taula 20 – Correlació de numero de sèria amb lectura de dades a l'interior de la caixa tèrmica.....	146
Taula 21 - Mitjana aritmètica de la Taula 15 .....	146
Taula 22 – Increment de temperatures de la proveta 3 de CEM 1 + CNF 1%.....	146
Taula 23 – Determinació de les dimensions i determinació de la superfície de la Proveta 3 de CEM 1 + CNF 1% .....	147
Taula 24 – Valors de resistències superficials. ....	147
Taula 25 – Transmissió de la proveta 3 de CEM 1 + CNF 1%.....	147
Taula 26 – Conductivitat tèrmica de la proveta 3 de CEM 1 + CNF 1% .....	147
Taula 27 – Flux de calor de la proveta 3 de CEM1 + CNF 1%.....	147
Taula 28 - Resultats assaig tèrmic mètode de caixa calibrada.....	148
Taula 29 – Comparativa Flexió i Tèrmica.....	150

Taula 30 – Dimensions proveta 1 CEM 1.....	233
Taula 31 – Dades proveta 1 CEM 1.....	233
Taula 32 – Resultats proveta 1 CEM 1.....	234
Taula 33 – Dimensions proveta 2 CEM 1.....	235
Taula 34 – Dades proveta 2 CEM 1.....	235
Taula 35 – Resultats proveta 2 CEM 1.....	236
Taula 36 – Dimensions proveta 3 CEM 1.....	237
Taula 37 – Dades proveta 3 CEM 1.....	237
Taula 38 – Resultats proveta 3 CEM 1.....	238
Taula 39 – Dimensions proveta 1 CEM1 + CNF 0,5%.....	239
Taula 40 – Dades proveta 1 CEM 1 + CNF 0,5%.....	239
Taula 41 – Resultats proveta 1 CEM 1 + CNF 0,5%.....	239
Taula 42 – Dimensions proveta 2 CEM 1 + CNF 0,5%.....	241
Taula 43 – Dades proveta 2 CEM 1 +CNF 0,5%.....	241
Taula 44 – Resultats proveta 2 CEM 1 + CNF 0,5%.....	241
Taula 45 – Dimensions proveta 3 CEM 1 + CNF 0,5%.....	243
Taula 46 – Dades Proveta 3 CEM 1 + CNF 0,5%.....	243
Taula 47 – Resultats proveta 3 CEM 1 + CNF 0,5%.....	243
Taula 48 – Dimensions proveta 1 CEM 1 + CNF 1%.....	245
Taula 49 - .....	245
Taula 50 – Dimensions proveta 2 CEM 1 + CNF 1%.....	247
Taula 51 – Dades proveta 2 CEM 1 + CNF 1%.....	247
Taula 52 – Resultats proveta 2 CEM 1 + CNF 1%.....	247
Taula 53 – Dimensions proveta 3 CEM 1 + CNF 1%.....	249
Taula 54 – Dades proveta 3 CEM 1 + CNF 1%.....	249
Taula 55 – Resultats proveta 3 CEM 1 +CNF 1%.....	249
Taula 56 – Dimensions proveta 1 CEM 1 + CNF 1,5%.....	251
Taula 57 – Dades proveta 1 CEM 1 + CNF 1,5%.....	251
Taula 58 – Resultats proveta 1 CEM 1 + CNF 1,5%.....	251
Taula 59 – Dimensions proveta 2 CEM 1 + CNF 1,5%.....	253
Taula 60 – Dades proveta 2 CEM 1 + CNF 1,5%.....	253
Taula 61 – Resultats proveta 2 CEM 1 + CNF 1,5%.....	253
Taula 62 – Dimensions proveta 3 CEM 1 + CNF 1,5%.....	255
Taula 63 – Dades proveta 3 CEM 1 + CNF 1,5%.....	255
Taula 64 – Resultats proveta 3 CEM 1 + CNF 1,5%.....	255
Taula 65 – Dimensions proveta 1 CEM 1 + CNF 1,81%.....	257

Taula 66 – Dades proveta 1 CEM 1 + CNF 1,81%.....	257
Taula 67 – Resultats proveta 1 CEM 1 + CNF 1,81%. ....	258
Taula 68 – Dimensions proveta 2 CEM 1 + CNF 1,81%. ....	259
Taula 69 – Dades proveta 2 CEM 1 + CNF 1,81%.....	259
Taula 70 – Resultats proveta 2 CEM 1 + CNF 1,81%. ....	259
Taula 71 – Dimensions proveta 3 CEM 1 + CNF 1,81%. ....	261
Taula 72 – Dades proveta 3 CEM 1 + CNF 1,81%.....	261
Taula 73 – Resultats proveta 3 CEM 1 + CNF 1,81%. ....	261

# ÍNDEX DE GRÀFICS

Gràfica 1 – Recta de regresió .....	88
Gràfica 2 – Aquesta és la gràfica resultat de la taula 10 .....	127
Gràfica 3 – Gràfica resum resultats TMA .....	133
Gràfica 4 – Resultats d’expansió de les diferents dosificacions .....	134
Gràfica 5 - Taula resultats TGA .....	135
Gràfica 6 – Evolució de les temperatures a la caixa tèrmica i marcat de rang de dades per al càlcul .....	146
Gràfica 7 – Resultats de la Transmitància Tèrmica.....	149
Gràfica 8 – Resultats de Flux de Calor .....	149
Gràfica 9 – Resultats de la Conductivitat Tèrmica .....	150
Gràfica 10 – Evolució de temperatures fins a estabilització de la proveta 1 CEM 1. ....	234
Gràfica 11 - Evolució de temperatures fins a estabilització de la proveta 2 CEM 1. ....	236
Gràfica 12 - Evolució de temperatures fins a estabilització de la proveta 3 CEM 1. ....	238
Gràfica 13 - Evolució de temperatures fins a estabilització de la proveta 1 CEM 1 + CNF 0,5%. .....	240
Gràfica 14 - Evolució de temperatures fins a estabilització de la proveta 2 CEM 1 + CNF 0,5%. .....	242
Gràfica 15 - Evolució de temperatures fins a estabilització de la proveta 3 CEM 1 + CNF 0,5%. .....	244
Gràfica 16 - Evolució de temperatures fins a estabilització de la proveta 1 CEM 1 + CNF 1%. .....	246
Gràfica 17 - Evolució de temperatures fins a estabilització de la proveta 2 CEM 1 + CNF 1%. .....	248
Gràfica 18 - Evolució de temperatures fins a estabilització de la proveta 3 CEM 1 + CNF 1%. .....	250
Gràfica 19 - Evolució de temperatures fins a estabilització de la proveta 1 CEM 1 + CNF 1,5%. .....	252
Gràfica 20 - Evolució de temperatures fins a estabilització de la proveta 2 CEM 1 + CNF 1,5%. .....	254
Gràfica 21 - Evolució de temperatures fins a estabilització de la proveta 3 CEM 1 + CNF 1,5%. .....	256

Gràfica 22 - Evolució de temperatures fins a estabilització de la proveta 1 CEM 1 + CNF 1,81% .....	258
Gràfica 23 - Evolució de temperatures fins a estabilització de la proveta 2 CEM 1 + CNF 1,81% .....	260
Gràfica 24 - Evolució de temperatures fins a estabilització de la proveta 3 CEM 1 + CNF 1,81% .....	262

# INTRODUCCIÓ

Aquest projecte neix de la proposta del tutor principal juntament en col·laboració amb la Universitat Politècnica de Barcelona, es realitza tant a Girona com a Barcelona i es realitza gràcies a dos integrants. Aquest és *CIMENT CEM TIPUS I AMB NANOFIBRES DE CEL·LULOSA*. El contingut en si era tot una incògnita ja que de ciment tipus I no en teníem massa coneixença i, per descomptat, de les nanofibres de cel·lulosa no en sabíem ni color ni forma.

Se'ns presentava un bon repte per endavant, varis tutors i cotutors de projecte, cinc diferents laboratoris d'assaig, dues universitats, dotze assajos diferents i, la fabricació de nanofibres, química complexa, fabricació de nous motlles a utilitzar, la dispersió de les nanofibres a les provetes, la fabricació de la caixa tèrmica...

El fet de que fins ara no s'hagués treballat mai, a la nostra universitat, amb nanofibres i ciment ens ha complicat molt les coses. Un senzill fet com el de les dosificacions ens va fer entrebancar varies vegades, tot i així no ha estat impediment finalment per obtenir un resultat qualificat com a final. La nostra desconeixença ens ha fet males jugades sobre tot dins els laboratoris de química, ens ha costat considerablement familiaritzar-nos amb segons quins processos i sobre tot amb segons quins càlculs químics.

Finalment i tot seguit deixem la nostra petja, aquesta n'és la primera relacionada amb el tema en el marc de la Universitat de Girona i segur que no serà la última. Esperem poder col·laborar en un futur no gaire llunyà amb d'altres estudiants que vulguin indagar més a fons en el tema de les nanofibres i el ciment.

Dins d'aquest projecte fem una proposta per poder treballar d'una altra manera aquests dos materials. Esperem també que es pugui dur a terme donant resultats més convincents encara.



# TUTORS

Aquest treball d'investigació i recerca ha estat tutoritzat per dos professors, els quals han resultat esser i col·laborar com a pilars fonamentals durant la preparació, els assajos, el redactat, el resultat i sobretot en els entrebancs.

En primer lloc el Dr. Rafael Reixach Coromines, del departament d'Arquitectura i Enginyeria de la Construcció de la Universitat de Girona i responsable dels inicis de l'inici. Nosaltres vam ser qui va apostar per ell per tal de que ens proposés un títol per poder tirar en davant i a la vegada que fos ell qui ens guiés durant el trajecte. Cal esmenar que forma part del grup de recerca del Laboratori d'Enginyeria Paperera i Materials Polímers (LEPAMAP). Ha estat l'encarregat d'ajudar-nos a solucionar alguns dels conflictes i problemes, que no han estat pocs, i amb tot allò que fa referència a la logística i infraestructura de l'Escola Politècnica Superior (EPS).

En segon lloc i també en forma de pilar fonamental el Dr. Josep Claramunt Blanes del departament d'Enginyeria Agroalimentària i Biotecnologia de la Universitat Politècnica de Catalunya. Ell ha estat l'encarregat de guiar-nos en infinitat de dubtes i conflictes que aquest projecte ens ha generat. Pertany al grup de recerca en Tecnologia Tèxtil (TECTEX). El nostre referent a Barcelona pel que fa a tots els temes relacionats en construcció i laboratoris. Ha estat l'encarregat d'acompanyar-nos a cada un de la totalitat dels assaigs que s'han realitzat als laboratoris de l'Escola Superior d'Agricultura de Barcelona (ESAB).

## ALTRES DOCENTS

Per altra banda i no per això menys important cal esmenar també al Dr Pere Mutje Pujol, del departament d'Enginyeria Química, Agrària i Tecnologia Agroalimentària de la Universitat de Girona. Tot i no estar dins la categoria de tutor del projecte la seva tasca no ha estat poca ni senzilla. Ha estat l'encarregat de no només guiar-nos en els temes relacionats amb les nanofibres sinó també d'estar disposat en tot moment del dia, i de la nit, a solucionar-nos tots els dubtes d'un món que per nosaltres era totalment desconegut. Ens ha posat sempre a la nostra disposició tots els recursos que ha tingut dels seus laboratoris d'investigació de l'edifici de la politècnica i del parc tecnològic. Forma part i a la vegada dirigeix el grup de recerca Laboratòri d'Enginyeria Paperera i Materials Polímers (LEPAMAP).

També han posat el seu gra de sorra molts altres docents i tècnics de la Universitat de Girona en aquest projecte.

Una d'elles és el Dr Marc Delgado Aguilar, del departament d'Enginyeria Química, Agrària i Tecnologia Agroalimentària de la Universitat de Girona. Com a mà dreta del Dr. Mutje també ha estat un gran guia en aquest projecte. A la vegada, el Dr. Joaquim Agustí Tarrés Farrés també del departament d'Enginyeria Química, Agrària i Tecnologia Agroalimentària de la Universitat de Girona. Ha estat qui més ens ha ajudat amb els diferents recursos utilitzats en el laboratori del grup de recerca LEPAMAP situat en el parc tecnològic.

També cal esmenar a la Sra. Helena Oliver Ortega, del departament d'Enginyeria Química, Agrària i Tecnologia Agroalimentària de la Universitat de Girona i a la vegada del grup de recerca LEPAMAP. Ella ha estat l'encarregada d'ajudar-nos tant amb la llarga i costosa creació de les nanofibres de cel·lulosa com amb alguns assaigs dels quals nosaltres no n'havíem sentit mai a parlar.

Al senyor Joan Pere López Olmedo, jefe de la unitat d'Anàlisi Tèrmic tècnic del laboratori del grup de Recerca en Materials i Termodinàmica (GRMT) encarregat de realitzar els assaigs TMA i TGA.

Per últim i no menys rellevant parlarem del Sr. Pedro Bellvehi Casadella, tècnic de laboratori del departament d'Arquitectura i Enginyeria de la Construcció de la Universitat de Girona. Provablement és amb la persona que més hores hem passat degut a que és la responsable del laboratori de construcció de la Politècnica Superior de Girona, ha estat l'encarregat de tutoritzar-nos pel que els assaigs al laboratori de construcció de la Escola Politècnica Superior de la UDG fan referència.

A tots ells i a tants d'altres que no hem nombrat, volem donar les gràcies per la col·laboració i l'ajuda rebuda en aquells moments complicats que no han estat pocs. Sense les recomanacions i els consells de tots ells aquest projecte hagués estat un fet impossible o incomplet.

# ESTAT DE L'ART

**L'estat de l'art:** és un anglicisme derivat de l'expressió "State of the art", és un terme utilitzat en investigació. Si aquesta és la seva traducció literal es podria dir més fàcilment com, l'estat d'aquesta temàtica actualment i els seus avanços.

Abans de res, l'estat de l'art del ens parlarà a continuació del que fa referència la investigació per part nostra abans d'entrar en la matèria del propi projecte.

El que vam poder cercar amb anterioritat als inicis de la nostra investigació es resumeix amb tres paraules literalment dites: "Cellulose, Nanofiber i ciment". Si, la traducció a l'anglès de les paraules claus del nostre projecte de recerca i investigació. Això significa doncs que tot el material de suport que ens podia servir per poder-nos documentar abans de començar només es podia trobar en anglès degut a l'escassa informació que circula per la xarxa.

Aquests articles d'investigadors ens varen ser facilitats pel nostre tutor el *Dr. Josep Claramunt*, amb això vam poder aprendre els inicis d'uns estudis poc similars als nostres.

- Un d'ells és del *ScienceDirect*, de la revista *Cement & Concrete Composites*, on hi trobem informació variada sobre les fibres vegetals i el ciment, un dels autors és el propi Dr. Claramunt.
- Un altre, també del *ScienceDirect*, de la revista *Cement and Concrete Research*, on hi trobem informació sobre la caracterització del ciment a nanoescala.
- També del *ScienceDirect*, de la revista *Construction and Building Materials*, on hi trobem un bon article basat amb la nanofibra i el ciment.

Aquests articles d'entre d'altres també del Dr. Claramunt, juntament amb algunes presentacions de la temàtica van ser els que ens van ajudar a introduir-nos en aquest món desconegut per nosaltres.

# OBJECTIUS



Aquest projecte gira al voltant d'una sola pregunta que resumeix els objectius del mateix: quina és la incidència de les nanofibres de cel·lulosa en el ciment Portland Tipus CEM-I.

Seguidament aquesta hipòtesi es deriva amb varies caracteritzacions diferents, en primer lloc es definiran els objectius teòrics del projecte, és a dir, aquells objectius que es descriuen a la proposta de projecte entregada a secretaria i acceptada. A continuació es definiran els objectius practicats finalment tot detallant els motius pels quals no s'han realitzat els proposats de bon inici.

## OBJECTIUS PROPOSTA

- Obtenció de nanofibres de cel·lulosa
- Caracterització de nanofibra, oxidació catalitzada per Tempo i processos mecànics.
- Addició de nanofibres de cel·lulosa fins a un màxim de 2% en pes
- Caracterització física-mecànica de la barreja:
  - Propietats a tracció
  - Propietats a flexió
  - Propietats a compressió
  - Propietats a impacte
  - Microscòpia electrònica de rastreig
  - Porositat
- Caracterització tèrmica del compost:
  - Conductivitat tèrmica
  - Coeficient d'expansió tèrmica
  - Resistència al foc
- Durabilitat
  - Efecte humit-sec sobre propietats físiques
  - Efecte humit-sec sobre propietats mecàniques

## OBJECTIUS RESULTANTS

- **Obtenció de nanofibres de cel·lulosa.**  
*Aquest objectiu s'ha complert i es detalla en el projecte.*
- **Caracterització de nanofibra, oxidació catalitzada per Tempo i processos mecànics.**  
*Aquest objectiu NO s'ha complert. tot i no haver treballat amb nanofibres blanquejades, sí es va realitzar una sessió de blanqueig de nanofibres mitjançant un altre procediment, hipoclorit sòdic, que no va resultar finalment.*
- **Addició de nanofibres de cel·lulosa fins a un màxim de 2% en pes**  
*Aquest objectiu NO s'ha complert. Tot i no haver arribat a l'objectiu del 2% de nanofibra en pes s'han realitzat fins a quatre dosificacions diferents arribant a un percentatge molt proper al 2%, es detalla en el projecte.*
- **Caracterització de la barreja física-mecànica:**
  - **Propietats a tracció**  
*Aquest objectiu NO s'ha complert, es va procedir a suspendre aquest assaig degut a l'increment de fabricació de nanofibra i provetes. Va resultar una decisió mancomunada amb els diferents tutors des de bon inici de la investigació.*
  - **Propietats a flexió**  
*Aquest objectiu s'ha complert i es detalla en el projecte.*
  - **Propietats a compressió**  
*Aquest objectiu s'ha complert i es detalla en el projecte.*
  - **Propietats a impacte**  
*Aquest objectiu s'ha complert i es detalla en el projecte.*
  - **Microscòpia electrònica de rastreig**  
*Aquest objectiu s'ha complert i es detalla en el projecte.*
  - **Porositat**  
*Aquest objectiu s'ha complert i es detalla en el projecte.*
- **Caracterització de la barreja tèrmica:**
  - **Conductivitat tèrmica**  
*Aquest objectiu s'ha complert i es detalla en el projecte.*
  - **Coefficient d'expansió tèrmica**  
*Aquest objectiu s'ha complert i es detalla en el projecte.*
  - **Resistència al foc**  
*Aquest objectiu NO s'ha complert. Ha estat degut a la manca de recursos d'assaig, en cap dels laboratoris treballats de la Universitat de Girona i de la Universitat Politècnica de Barcelona disposaven de cap mena d'aparell d'assaig per a resistència al foc.*
- **Durabilitat, efecte humit-sec**
  - **Sobre propietats físiques**  
*Aquest objectiu s'ha complert i es detalla en el projecte.*
  - **Sobre propietats mecàniques**  
*Aquest objectiu s'ha complert i es detalla en el projecte.*

A més a més de tots aquests anteriors objectius finalment executats s'han realitzat altres assajos, algun d'aquests assajos i procediments s'han realitzat tot i no ser requerits pels tutors sinó pel senzill fet d'obtenir més informació dels materials en si. També és cert que algun d'aquests s'han realitzat de manera necessària i indispensable per al correcte procediment de fabricació de nanofibres o de les provetes:

- Superfície específica de les nanofibres de cel·lulosa
- Estudi i comparativa de la plasticitat del material
- Assaig TGA i TMA
- Captació de la consistència de la nanofibra
- Número Kappa de la nanofibra



# LES NANO FIBRES

## DEFINICIÓ

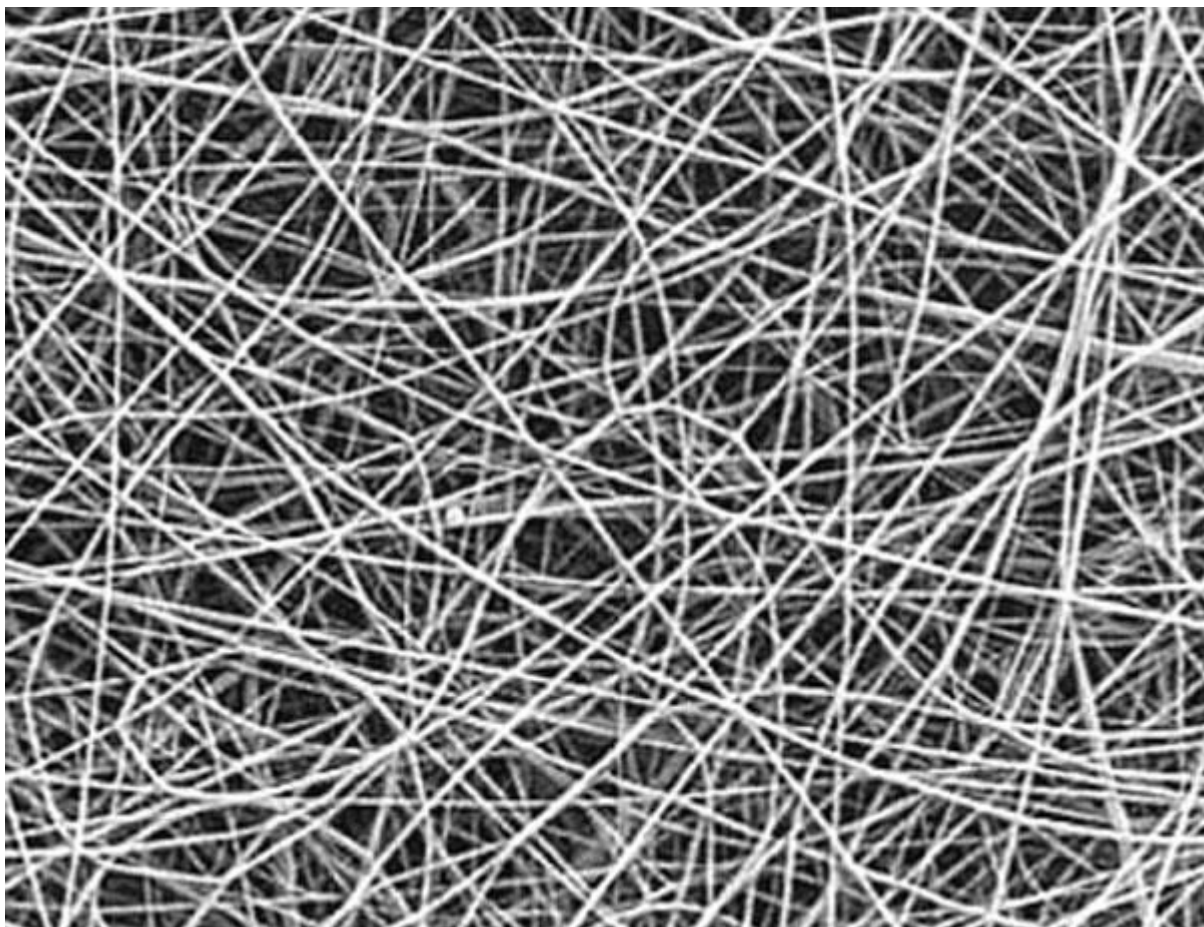
A dia d'avui, tant les nano ciències com la nano tecnologia ens han portat a la necessitat de les nano fibres. Actualment el focus principal de la investigació, desenvolupament i innovació, on els grans inversors han apostat de manera més significativa.

Una nano fibra forma part del món dels nano materials, aquests són uns materials amb propietats morfològiques. Val a dir doncs que, una nano fibra, és una fibra amb un diàmetre inferior als 500 nanòmetres. S'obtenen a partir de tècniques especials que permeten obtenir aquestes fibres ultrafines i de propietats molt particulars i d'infinat d'usos diferents.

Com a equivalència del nanòmetre diríem que:

$$1 \text{ mil·límetre} = 1.000.000 \text{ nanòmetres}$$

$$0,0005 \text{ mil·límetres} = 500 \text{ nanòmetres}$$



Fotografia 1 – Nanocelulosa d'entre 10 i 20 nm de diàmetre. Procedència: [www.mecydiceblogtechnology.blogspot.com.es](http://www.mecydiceblogtechnology.blogspot.com.es)

## HISTÒRIA

Un britànic alemany, va sensibilitzar-se un bon dia amb una flor de lotus. Es veu que aquestes tenen la propietat de, siguin del color que siguin, estar en tot moment netes i brillants. Per molta brutícia que hi hagi a l'entorn.



*Fotografia 2 – Flor de lotus en estat salvatge*

Aquest home, va observar amb el microscopi que la superfície d'aquests pètals està coberta per uns nano tentacles, pels quals, les gotes d'aigua rellisquen i no se'ls hi permet el fet de quedar-se a la flor. D'aquesta manera, la flor de lotus, aconsegueix mantenir la seva forma estètica i evita qualsevol tipus de brutícia. En el moment de fer aquest descobriment es va plantejar la necessitat i l'eficàcia de poder arribar a confeccionar un teixit el qual tingues les mateixes propietats.

Tot i ser un fet anecdòtic podríem afirmar que va ser sinó el primer, dels primers a plantejar-se l'ús de la tecnologia de les nano fibres fora del seu àmbit natural.

## CLASSIFICACIÓ DELS NANO MATERIALS

Les nano fibres amb les que treballem formen part d'un grup mol extens, els nano materials. Aquests poden tenir diferents mides, formes, naturaleses, procedències, formes, utilitats...

En concret, aquestes nano fibres es classifiquen dins dels nano materials en els següents grups:

### SEGONS PROCEDÈNCIA

Segons d'on hagin sortit, és a dir, com s'hagin originat:

- **Natural:** aquest seria el cas de la flor de lotus, són totes aquells nano materials produïts per arbres, plantes, volcans, espumes marines...
- **Incidental:** es resumeixen a tots aquells causats per processos de combustions residuals, és a dir per reaccions derivades d'altres processos. Combustions de vehicles, processos industrials...
- **Artificial o sintètica:** són aquells produïts per diversos processos de fabricació, creats explícitament per una necessitat i per un procés dedicat només a aquesta creació, aquests són: "*top-down*", "*botton-up*".

### SEGONS NATURALESQA QUÍMICA

- **Orgànics:** ja com la pròpia paraula indica, seran tots aquells nano materials amb vida pròpia o que amb anterioritat havien disposat d'aquesta. També els podem definir com aquell material que posseeix a la seva estructura estable al carboni combinat amb altres elements com l'oxigen, el nitrogen i l'hidrogen. En aquest grup hi classificaríem tots aquells nano materials de la classificació anterior pertanyents als naturals.
- **Inorgànics:** tot el contrari serien els d'aquest grup. Es diu d'un material amb carència de vida orgànica. Químicament parlant, és aquell compost el qual el carboni no resulta ser un element integrant fonamental, mentre que d'altres, com l'aigua, si ho poden ser.

Per acabar amb aquest apartat podem definir ja bé la classificació de les nostres nano fibres de cel·lulosa, anirien en el grup de procedència artificial o sintètica a la vegada que en el de nano materials inorgànics.

## APLICACIONS

La baixa densitat i l'elevat volum dels porus, fan que aquests materials resultin apropiats per a utilitats biomèdiques. També per a principis actius i enginyeria de teixits, peces de vestir, articles de neteja i fins a productes industrials de catàlisi, filtrat, barrera i aïllaments. També per a piles, transistors, òptica, tecnologia de la informació i del sector espacial.

Ceràmiques nano-estructurades, imants permanents d'alta temperatura per a motors a reacció d'avions, materials ferromagnètics, emmagatzemant d'informació, refrigeració, catalitzadors basats en hidrogen, materials per emmagatzemar nitrogen, sensors i actuadors.

Com ja hem dit, una de les aplicacions més comuna és la de l'indústria tèxtil, en aquest món però s'estén per incloure aquelles fibres de fins a 1.000nm de diàmetre. Compostos de nanofibra polimèrica poden proporcionar una protecció augmentada davant a agents químics, micro gotes, aerosols, conductes radioactius...

Un bon exemple de la nanofibra i el tèxtil és Toray, una empresa centrada en el desenvolupament dels equips tèxtils per a la creació de roba intel·ligent. Com per exemple la samarreta d'aquesta fotografia, feta de nanofibra i capaç de captar les pulsacions mitjançant sensors agregats en aquesta peça de roba.



Fotografia 3 – Samarreta tècnica de nanofibra

## NANOFIBRES DE CEL·LULOSA

La nanofibra de cel·lulosa o nanocel·lulosa, és un material que consta de nanofibres de cel·lulosa, aquestes són una cadena de molècules de cel·lulosa de forma tubular allargada tenint una marcada relació d'aspecte longitud i diàmetre. La tendència o magnitud típica de diàmetre és de 10 a 20nm i de longitud 10 vegades més del seu diàmetre.



*Fotografia 4 – Exemple de nanocel·lulosa blanquejada Procedència: Wikipedia (nanocel·lulosa)*

Aquesta substància, en forma de gel, barrejat i dispersat amb aigua, té un comportament tixotrópic. És a dir, que mostra un canvi en la seva viscositat en el temps. A més sotmessa a esforços de cisalla, més disminueix la seva viscositat.



# EL CIMENT

Aquest projecte, com ja hem explicat anteriorment, es basa en el comportament de dos components i un d'ells és el ciment CEM tipus I. En aquest capítol volem fer referència exclusivament a aquest material. Tot i ja conèixer força aquest material tant utilitzat a la construcció creiem pertinent definir-ne el seu significat i sobretot parlar de la nomenclatura CEM I.



*Fotografia 5 – CEM I amb cràter d'aigua*

## DEFINICIÓ

El ciment com a tal es pot definir com a una substància adhesiva, natural o artificial

, amb les que es poden formar masses plàstiques capaces d'unir materials sòlids amb una distribució grano mètrica determinada. A banda d'unir diferents peces entre si, també s'utilitza per a recobriments, remolinats, reparacions... aquesta unió es produeix mitjançant un enduriment del ciment des del seu estat plàstic.

Aquesta anterior definició engloba diferents substàncies orgàniques i inorgàniques que tenen en comú la seva adhesivitat.

### Ciments orgànics

Els ciments orgànics estan basats en els polímers i degut al seu alt cost el seu ús és molt limitat en comparació als inorgànics. Generalment s'utilitzen en mode d'adhesius i coles. Un bon exemple d'aquests tipus de ciments és el metil metacrilat, que és un monòmer que endureix al moment per polimerització.



Fotografia 6 – Ciment adhesiu exemple d'orgànic

### Ciments inorgànics

Els ciments inorgànics més importants són tots aquells que tenen com a constituents principals compostos calcaris, que tenen la propietat de que al ser barrejats amb determinats productes líquids, principalment aigua, formen masses plàstiques que a mesura que passa el temps van augmentant la seva resistència a compressió i es tornen rígides, és a dir, endureixen i cohesionen per si soles. Normalment la massa plàstica es realitza al barrejar el ciment amb aigua i l'enduriment es produeix per una reacció química amb els components de l'aigua (hidròlisi) i per absorció d'aigua formant-se compostos hidratats (hidratació). Tots aquests ciments es poden classificar a la vegada en dos grans grups, hidràulics i no hidràulics.



### Ciments hidràulics

Els ciments hidràulics són tots aquells en els que la massa plàstica augmenta la seva resistència tant a l'aire lliure com sota l'aigua, és a dir, es poden utilitzar com a ciments sota l'aigua. No només endureixen per a reacció amb l'aigua, sinó que es formen compostos que resisteixen a la seva acció.

Dins d'aquests ciments inorgànics hidràulics el més important és el ciment Portland, és a la vegada l'utilitzat per aquest projecte. Per al seu predomini a la indústria de la construcció i a les grans obres d'enginyeria civil és el motiu pel qual quan només es diu ciment es sobreentén que és ciment Portland.



Fotografia 7 – Ciment Portland

### Ciments no hidràulics

Els ciments no hidràulics són tots aquells ciments inorgànics que no són capaços d'endurir sota l'aigua. Per tant, que només endureixen a l'aire lliure, així que les calcàries no hidràuliques, aèries o dures, endureixen a l'aire per combinació de  $\text{CO}_2$  formant de nou  $\text{CaCO}_3$ , però sota l'aigua només formen una pasta de  $\text{Ca(OH)}_2$  que no acaba endurint.

## HISTÒRIA

La utilització de morter per a fixar, ja fossin peces naturals de pedra o peces artificials de ceràmica, es remunta a èpoques molt antigues. A les ruïnes de Nínive i Babilònia s'ha trobat com a morter el fang. Els egipcis van edificar amb fang del riu Nil però molt aviat van començar a utilitzar morters artificials, com el guix i la calç.



*Fotografia 8 – Ruïnes de Babilònia*

Després de molts anys d'utilització de diferents ciments cohesius de tot tipus es va aconseguir arribar al ciment Portland conegut avui en dia. Es pot dir que el vertader descobridor del ciment Portland va ser J.C. Johnson l'any 1844, després d'observar els nòduls trobats en els forns d'Aspdin, que tot i fraguar lentament, donaven millors ciments que el producte que fabricaven normalment. Johnson va millor les proporcions de calçaria i argila i va elevar a la vegada la temperatura de treball dels forns, suggerint que arribar a un principi de fusió era la condició principal per a la fabricació del ciment Portland. El fet d'utilitzar temperatures més altes permet la producció de silicats de més alt contingut en calç, que són els que fan que es desenvolupi més ràpidament la resistència del formigó.

El treball sistemàtic sobre la constitució del ciment Portland va començar als Estats Units a principis del segle 19. Aquests mateixos progressos van continuar a Alemanya, França, Anglaterra, Itàlia, Suècia... Avui en dia els centres d'investigació s'han estès per tot el món i en resulten molts ciments Portland diferents.

## CIMENT PORTLAND

El ciment Portland és un lligant hidràulic inorgànic, polifàsic artificial, que s'obté a partir d'un producte d'entremig denominat Clinker, el qual es produeix mitjançant la cocció a aproximadament 1480°C, generalment en alts forns rotatoris, d'una mescla en proporcions preestablertes de carboni de calci, pedra calcària, i d'un aluminosilicat, argiles, aquests prèviament han estat molts.

Durant el procés de cocció es produeix una fusió parcial i una recombinació dels components de les matèries primes resultant nòduls de Clinker d'entre 5 i 50mm de diàmetre. Posteriorment aquest Clinker barrejat amb un 5% de guix, es sotmet a un procés de molt del qual resulta el ciment Portland.

El motiu d'afegir guix és el de retardar el curat, ja que si només hi hagués Clinker, seria casi ve immediat i per tant no permetria ni la manipulació ni la instal·lació.



Fotografia 9 - Clíner

## CONDICIÓ DEL CIMENT

El ciment ha de ser conforme a la norma UNE-EN 197-1:2011. Aquest està designat com a ciment CEM, ha de ser capaç, quant es dosifiqui i barregi apropiadament amb àrids i aigua, de produir un formigó o un morter que conservi la manejabilitat durant un temps suficient, i en uns

períodes definits, aconseguir els nivells específics de resistència. Ha de tenir estabilitat en volum al llarg plac.

### ENDURIMENT DEL CIMENT

L'enduriment del ciment CEM principalment es deu a la hidratació dels silicats de calci, tot i que hi poden participar en aquest procés altres compostos químics, com els aluminats de calci. La suma de proporcions d'òxid de Calç reactiu (CaO) i de diòxid de Silici reactiu (SiO<sub>2</sub>) ha de ser al menys del 50% en massa, quant es determinen les proporcions d'acord amb la Norma UNE-EN 197-2:2014.

### CONSTITUCIÓ DEL CIMENT

Els ciments CEM estan constituïts per diferents materials i son, en composició, estadísticament homogenis en conseqüència de producció i manipulació del material amb qualitat assegurada. La relació entre aquests processos de producció i manipulació del material i la conformitat amb aquesta norma s'estableixen a la Norma UNE-EN 197-2:2014.

### COMPONENTS

La Norma UNE-EN 197-1:2011 en l'apartat 5 determina els requisits dels components especificats en els subapartats 5.2 al 5.5, en quals s'han de determinar amb la metodologia d'assaig descrits a la Norma EN 196, a menys que s'especifiqui una altre cosa.

Tot seguit es descriurà la composició dels material que componen el ciment CEM I:

El ciment CEM I el seu component principal és el Clínter de ciment Portland, determinat per la sigla (K). Aquest material s'obté per sinterització d'una barreja especificada amb precisió de matèries primeres (cru, farina o pasta) continent elements, expressats en forma d'òxids, CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i petites quantitats d'altres materials. Finalment el cru, farina o pasta, es divideix finament i es barreja íntimament i obtenir un producte homogeni.

## TIPUS DE CEMENTS

Els ciments comuns, denominats CEM, aquells constituïts fonamentalment a base de clínquer de pòrtland, amb una petita quantitat de guix. La classificació dels ciments fa segons diferents criteris. Les principals característiques distintives en les que es pot basar aquests criteris poden ser:

Taula 1: Tipus de ciments comuns i composicions: proporció en massa

TIPUS CIMENT	DENOMINACIÓ	DESSIGNACIÓ	CLÍNQUER (K)	ESCÒRIA D'ALTS FORNS (S)	FUM DE SILICI (D)	PUTZOLANES NATURALS (P)	CENDRES VOLANTS (V)	CALCÀRIA (L)	COMPONENTS MINORITÀRIS ADICIONALS
<b>CEM I</b>	Ciment pòrtland	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	<b>0-5</b>
<b>CEM II</b>	Ciment pòrtland amb escòria	CEM II/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	<b>0-5</b>
		CEM II/B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	<b>0-5</b>
	Ciment pòrtland amb fum de silici	CEM II/A-D	90-94	-	6-10	-	-	-	<b>0-5</b>
	Ciment pòrtland amb putzolana	CEM II/A-P	80-94	-	-	6-20	-	-	<b>0-5</b>
		CEM II/B-P	65-79	-	-	21-35	-	-	<b>0-5</b>
	Ciment pòrtland amb cendra volant	CEM II/A-V	80-94	-	-	-	6-20	-	<b>0-5</b>
		CEM II/B-V	65-79	-	-	-	21-35	-	<b>0-5</b>
Ciment pòrtland amb calcària	CEM II/A-L	80-94	-	-	-	-	6-20	<b>0-5</b>	
Ciment pòrtland mixt	CEM II/A-M CEM II/B-M	80-94 65-79	-	-	-	6-20 21-35	-	<b>0-5</b>	
<b>CEM III</b>	Ciment d'alt forn	CEM III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	<b>0-5</b>
		CEM III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	
<b>CEM IV</b>	Ciment putzolànic	CEM IV/A	65-89	-	-	11-35	-	-	<b>0-5</b>
		CEM IV/B	45-64	-	-	36-55	-	-	
<b>CEM V</b>	Ciment compost	CEMV/A	40-64	18-30	-	18-30	-	-	<b>0-5</b>



Per definició les resistències dels diferents tipus de ciments venen reglades per la *taula 2* i la *taula 3*. Aquestes ens permetran, segons quina resistència normal sigui la requerida i quina sigui la resistència inicial, conèixer quin és el CEM a utilitzar per a les dosificacions de morters i formigons.

Les classes de resistència o resistència normal del ciment seran de (32,5 – 42,5 – 52,5)N·mm; llavors, la lletra R correspondrà a si és d'alta resistència inicial i la lletra N a si és de resistència inicial normal.

Taula 2: Exigències mecàniques i físiques

CLASSE DE RESISTÈNCIA	RESISTÈNCIA A COMPRESSIÓ			TEMPS FINS A PRINCIPI DE FRAGUAT MÍNIM	EXPANSIÓ EN mm
	RESISTÈNCIA INICIAL		RESISTÈNCIA NORMAL		
	2 dies	7 dies	28 dies		
<b>32,5 N</b>	-	≥ 16,0	≥ 32,5	≥ 52,5	≥ 75
<b>32,5 R</b>	≥ 10,0	-			
<b>42,5 N</b>	≥ 10,0	-	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60
<b>42,5 R</b>	≥ 20,0	-			
<b>52,5 N</b>	≥ 20,0	-	≥ 52,5	-	≥ 45
<b>52,5 R</b>	≥ 30,0	-			

Taula 3: Relació de tipus de ciment i resistència característica dels formigons

TIPUS DE MATERIAL	RESISTÈNCIA NORMAL I INICIAL DEL CIMENT	TIPUS DE CEM
Morters	32,5N	CEM IIB – CEM IIIB – CEM IVB – CEM V
Formigons <20N/mm <sup>2</sup>	32,5R i 42,5N	CEM IIB – CEM IIIB – CEM IVB – CEM V
Formigons d'entre 20 i 35 N/mm <sup>2</sup>	42,5N i 42,5R	CEM I – CEM IIA – CEM IIIA – CEM IVA
Formigons de més de 35 N/mm <sup>2</sup>	52,5N	CEM I – CEM IIA
	52,5R	CEM I

## CIMENT PORTLAND CEM I

A continuació el ciment Portland CEM I, l'utilitzat per a tots els processos realitzats durant aquest projecte.

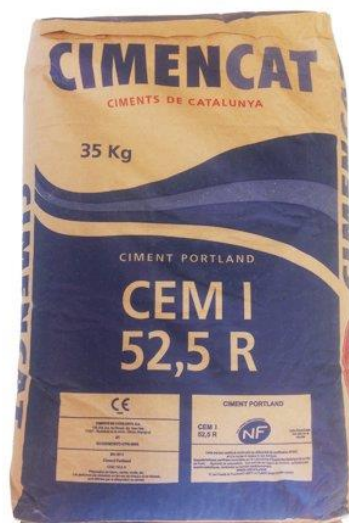
El ciment utilitzat és el CEM I – 52,5 R de ciments de Catalunya CIMENCAT. Una empresa constituïda l'any 1995, es dedica a la importació, fabricació i comercialització de ciments a granel i en sacs pels mercats del sud de França i el nord d'Espanya.

Els components principals són aquells descrits a la següent taula:

Caractéristiques du ciment		Valeur habituelle
Composants	Clinker (%)	96
	Composant minoritaire (%)	4
Chimiques	Sulfate, SO <sub>3</sub> (%)	3,5
	Perte au feu (%)	1,6
	Résidu insoluble (%)	0,8
	Chlorures, Cl <sup>-</sup> (%)	0,03
Physiques	Stabilité (mm)	0,01
	Début de prise (minutes)	150
Mécaniques	Résistance à la compression à 2 jours (MPa)	37
	Résistance à la compression à 28 jours (MPa)	62

Taula 4 – Components del ciment utilitzat. Procedència: [www.cimencat.com](http://www.cimencat.com)

Aquests components segueixen els reclamats per la norma UNE EN 1971 que contemplen les taules 1 i 2 d'aquest projecte.



Fotografia 10 – Sac de CEM I utilitzat en tots els processos. Procedència: [www.cimencat.com](http://www.cimencat.com)

## USOS DEL CEM I

### Molt recomanable

- Reparacions ràpides d'urgència
- Obres en atmosferes marítimes per a formigó armat
- Obres en atmosferes marítimes per a formigó pretesat
- Obres en immersió total
- Obres en zones de carrera de mareas
- Obres en contacte amb terres i aigües amb sulfats
- Obres en contacte amb aigües àcides
- Obres en contacte amb aigües carbòniques agressives
- Obres en contacte amb aigües pures de gran poder dissolvent
- Obres de formigó amb àrids reactius



Fotografia 11 – Morter de reparació amb ciment CEM I

### Poc recomanable

- Fonaments de formigó en massa
- Fonaments de formigó armat
- Bases de carreteres tractades amb ciment
- Estabilització de terres
- Paviments de formigó per a carreteres
- Soleres de paviments

### No recomenat

- Obres de formigó en massa de grans volums



# EXERCÍ

## LABORATÒRIS

Per a la exerció de la barreja d'assaig, és a dir, per a la creació del morter amb nano fibres, hem hagut de recórrer i processar el material a varis laboratoris tècnics.

En primer lloc el laboratori en el que s'ha treballat és en el del grup de recerca de LEPAMAP (Laboratori d'Enginyeria Paperera i de Materials Polímers) de la Universitat de Girona, situat a l'edifici PI de la Politècnica Superior. Aquest, és un grup de recerca format per enginyers i llicenciats que treballen en enginyeria paperera, modificació de fibres naturals i en la indústria transformadora del plàstic, procurant mantenir sempre la harmonia entre indústria i medi ambient. Aquest està dirigit per el Doctor Pere Mutjé Pujol. En aquest laboratori i amb l'assistència de l'Helena Oliver i el mateix Dr Pere Mutjé, és on hem processat tota la matèria referent a les fibres de cel·lulosa, i més concretament de cel·lulosa de pi. Des del mòlt de les primeres serradures fins al càlcul de la demanda catiònica i la superfície especifica de les nano fibres obtingudes després de l'homogeneïtzació de tres vegades a 900bars.

Seguidament s'ha treballat en el laboratori de Materials de Construcció, situat en el soterrani de l'edifici PII de la Politècnica Superior de la Universitat de Girona. En aquest laboratori hi treballa un grup de recerca i transferència tecnològica de la UdG dedicat a la mecànica de materials i estructures amb un enfocament específic en els materials compostos reforçats en fibres, concretament són AMADE (Anàlisi i Materials Avançats per al Disseny Estructural). A la vegada aquest laboratori també s'utilitza per a les classes de docència de graus i màsters de la Universitat de Girona referents a la construcció. En aquests espai s'han realitzat els morters i a la vegada les diferents provetes de diferents dimensions amb els seus respectius motlles. Cal esmenar que en aquest laboratori hem gaudit de l'ajuda i assessorament del tècnic de laboratori, el Sr. Pere Bellvehi Casadella del l'àrea d'estudis tècnics en el departament d'Arquitectura i Enginyeria de la Construcció.

Paral·lelament, també s'ha treballat en el laboratori de Materials de construcció de la Universitat Politècnica de Catalunya previ conveni de col·laboració específic per la realització d'aquest projecte. Aquest laboratori pertany a l'Escola Superior d'Agricultura de Barcelona (ESAB) que està ubicada a l'edifici D4 del Campus del Baix Llobregat situat a Castelldefels. El responsable i guia de les feines executades ha estat el Doctor en Enginyeria de la Construcció i arquitecte, Sr Josep Claramunt Blanes. Que és professor agregat a la universitat del departament d'Enginyeria Agroalimentària i Biotecnològica.

A la vegada també s'ha treballat en un dels altres laboratoris del grup de recerca LEPAMAP de la Universitat de Girona, concretament es situa a l'edifici Jaume Casademont del Parc Tecnològic

C/ Pic de Peguera, 15 Porta A – Taller 9. En aquest laboratori principalment s'hi ha executat assajos de flexió de provetes de dimensions 10x10x70 mm i utilitzant la mescladora Brabender s'han fabricat aquestes provetes amb nanofibra.

## OBTENCIÓ DE NANOFIBRES DE CEL·LULOSA DE PI

Per obtenir les nanofibres de cel·lulosa de Pi, d'aquí en endavant CNF, es parteix d'una matèria prima com els flocs que han de passar per un procés de molt, una cocció per eliminar gran part de Lignina i a la vegada extreure'n l'excés d'aigua. Posteriorment tallar les fibres obtingudes amb l'SPRAUT WALDRON (màquina semblant a un molí de plats) que les converteix en microfibrilles. Finalment per obtenir les CNF cal passar per les microfibrilles per l'HOMOGEINIZADOR, un molí de plats que aplica pressió a uns bars determinats.

Des d'un inici cal aconseguir flocs de pi que resulten tenir una dimensió irregular i amb una forma de paral·lelepípede en que les dimensions van de uns 10 mm a 20mm. Una vegada passades pel molí els flocs es converteixen en serradures d'1 mm de gruix gràcies a un dels tamisos que permet el pas del material una vegada ha assolit aquesta dimensió. Després de la cocció s'obtenen fibres de la mateixa mida que les obtingudes amb el molí però amb els forts enllaços entre la lignina i la cel·lulosa trencats, quedant, d'aquesta manera només cel·lulosa d'1 mm de llarg. Un cop passat per l'SPRAT WALDRON i l'HOMOGEINIZADOR la dimensió d'aquestes passa a ser de nanòmetres. Tot seguit, amb el procés de caracterització de les CNF en determinarem tant el diàmetre com la llargada de les mateixes

### MOLDRE FLOCS DE PI AL TAMIS DE 1mm

En aquest procés prenem els flocs de Pi prèviament secs i els passem per un molí de fulles amb el tamís de 1mm de gruix. El procés de molt en particular del nostre procés es distribueix en dues tongades amb un interval de 15 dies laborables per necessitats del laboratori del grup de recerca LEPAMAP de la UdG. La quantitat resultant de serradures obtingudes és de 3500 gr embossades.

A continuació s'il·lustra el procés amb reportatge fotogràfic:



Fotografia 12 – Flocs de pi embossats



*Fotografia 13 – Molí de ganivetes*



*Fotografia 14 – Tamís utilitzat*



*Fotografia 15 – Serradures de pi*

## COCCIÓ AL REACTOR A 180° C PER ELIMINAR LA LIGNINA

Aquest procés es fa per eliminar-ne la Lignina de les pròpies serradures de pi. Aquesta Lignina és a la vegada l'encarregada d'unir cadenes de cel·lulosa, el material resultant d'aquesta cocció serà l'obtenció de cadenes de fibres de cel·lulosa de 1 mm de llarg.

Abans de res explicarem de que consta el nostre reactor, el que fa i en farem un reportatge fotogràfic. Aquest no es res més que una olla a pressió amb una capacitat d'uns 50 L (per que ens fem a la idea de les dimensions d'aquesta). Té uns escalfadors / resistències que eleven la temperatura de l'interior fins a uns 300 °C. El recipient està unit a un motor mitjançant un braç, aquest motor és l'encarregat de fer-lo girar amb un moviment de rotació sobre el seu propi eix. Per tal d'assegurar que tota la barreja de l'interior arriba a la temperatura desitjada disposa d'un quadre de comandament i control en el que hi trobem d'entre d'altres un termòstat. Cal esmenar que com una olla a pressió en aquest, també s'hi crea una pressió produïda pel vapor de l'aigua, aquest fet fa que el propi reactor sigui extremadament perillós, per tant, i com a mesura de seguretat, incorpora una vàlvula per que no s'elevi més del compte. Està calibrada per tal de permetre la pressió del que en pot aguantar estructuralment el propi recipient. Com a mesura de protecció el reactor està dins una gàbia de seguretat per tal de minimitzar els danys tant per fallada del sistema com per el propi funcionament.





Fotografia 16 – Fotografia del reactor utilitzat

La cocció es fa amb una barreja concreta de serradures de Pi, aigua a una proporció de 100 gr per cada Kg de serradures de Pi, Sosa càustica (NaOH, concentrada al 10%) en la que s'hi afegeix 25 gr per litre d'aigua total de la barreja, per tant caldrà determinar amb la termobalança el contingut d'aigua de les serradures, anteriorment. A fi d'accelerar el procés s'afegeixen 0.1 gr d'Antraquinona, aquesta és un catalitzador que ens accelera tot el procés de cocció.

Prèviament a la preparació de la barreja hem encès el reactor una hora abans, per tal de que la temperatura a l'interior arribés i s'estabilitzés a la vegada a 90 °C, tot i que aboquem l'amalgama al reactor quant aquesta està a 74 °C aconsellats per la Srta. Helena Oliver (Tècnic de laboratori LEPAMAP), un cop assolida la temperatura s'hi avoca la barreja preparada. Tot seguit es tanca amb la tapa que va subjectada amb 8 cargols que n'asseguren l'estanqueïtat, es programa la temperatura a 180 °C i es torna a posar en marxa el reactor perquè la cocció comenci. A partir d'aquest moment la temperatura puja a l'ordre d'1 °C per minut, així doncs hauria de tardar 106 min però ha emprat 150 min, es a dir 2h i 30 min. S'ha de controlar en quin moment arriba als 180 °C donat que a partir d'aquest moment la reacció ha de mantenir-se a aquesta temperatura durant 90 minuts més.

Després dels 90 min a 180 °C es para el reactor i s'obre una vàlvula per tal de disminuir la pressió de l'interior i accelerar el procés de refredament, ja que fins que no arribi als voltants dels 110 °C no podrem obrir-ne la tapa i treure-hi el contingut. Procedim a buidar el contingut del reactor i l'evoquem a un recipient metàl·lic amb desaigua, aquest se'l proveeix d'una saca de roba que fa les funcions de filtre a fi i afecte de no perdre la polpa processada. Finalment, una vegada retirada la massa, en resulta una pasta de color marró.

Aquesta polpa es renta amb aigua i posteriorment s'hi fa un centrifugat amb una centrifugadora domestica de cuina que arriba fins a les 2.800 RPM, aquest procés es va repetint successivament fins que l'aigua residual que en surt és totalment transparent, normalment eren necessàries unes quatre o cinc vegades.



Fotografia 17 – Centrifugadora utilitzada

### OTENCIÓ DE MICROFIBRES MITJANÇANT SPROUT-WALDRON

Aquest procés passarà les fibres de cel·lulosa que ja tindrem a microfibras, en que a part de fer les fibres més petites, parlant de dimensió total, en disminueix el seu diàmetre. Aquest procés es fa amb una màquina anomenada Sprout-Waldron, aquest aparell el formen dos plats dentats o estriats, els quals girant en sentit contrari i aplicant pressió entre ells aconseguixen disminuir l'espai entre ells i fan passar la polpa diluïda amb aigua per tal de disminuir la temperatura de fregament entre mig i no fer mal bé la polpa i la pròpia màquina.



L'Sprout-Waldron consta d'un embut en forma de sitja per avocar el material a tractar dins els l'aparell on hi ha els plats, en aquest embut és on hi ha una aixeta avocant aigua constantment. Seguidament hi trobem el bastidor és aquí on hi ha els plats dentats, en el seu centre hi ha un eix el qual el fa girar un motor elèctric, encarregat de la força motriu del mateix. Si la polpa s'avoca per la part superior com es veu a la fotografia següent, es recull per la part inferior mitjançant un carretó estanc de gran capacitat en el que just a la sortida hi col·loquem un sac a mode de filtre i així poder retenir les microfibrilles i poder-les centrifugar.



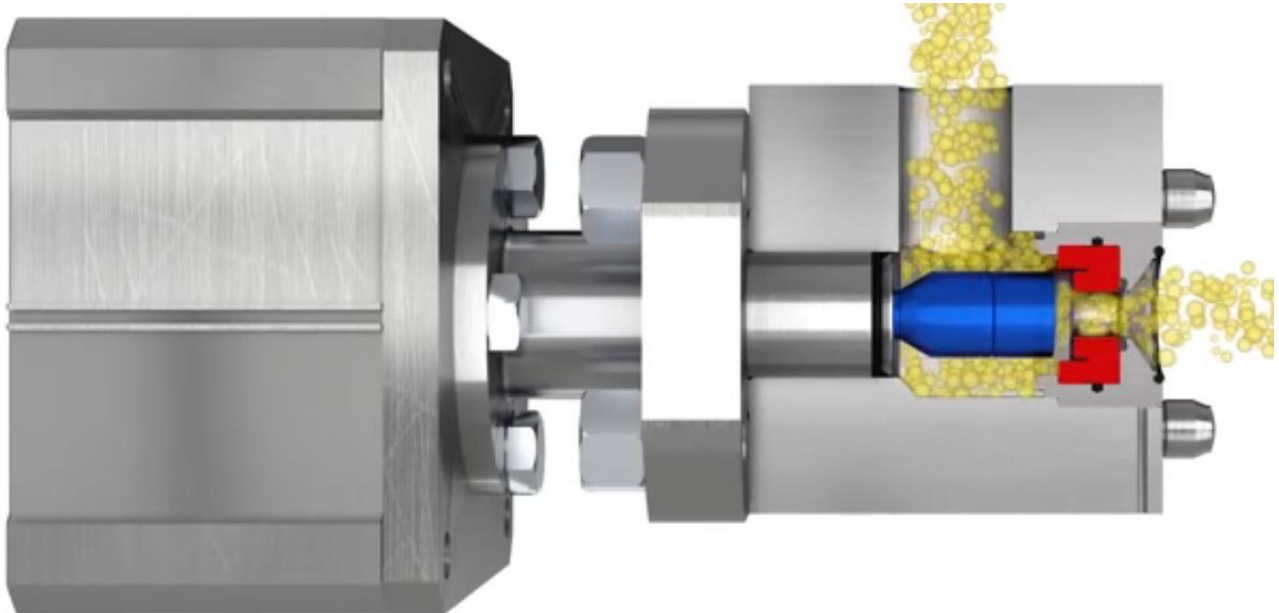
Fotografia 18 – Refinador de laboratori Sprout-Waldron

Després del procés d'aquesta màquina procedirem a envasar el material resultant mitjançant unes bosses de tancament fàcil per a la posterior conservació en una nevera convencional del mateix laboratori del LEPAMAP, aquestes bosses s'identifiquen degudament i també s'hi ròtula la consistència que té que ja hem pogut determinar amb la termobalança (Balança electrònica que va prenen dades d'una mostra significativa, 1 o 2 gr, mentre la va assecant i en el moment en que el pes és constant en determina un percentatge del contingut d'aigua de la mostra inicial). En el nostre cas la consistència en aquest punt i en aquesta tongada de nanofibra és del 22,55%

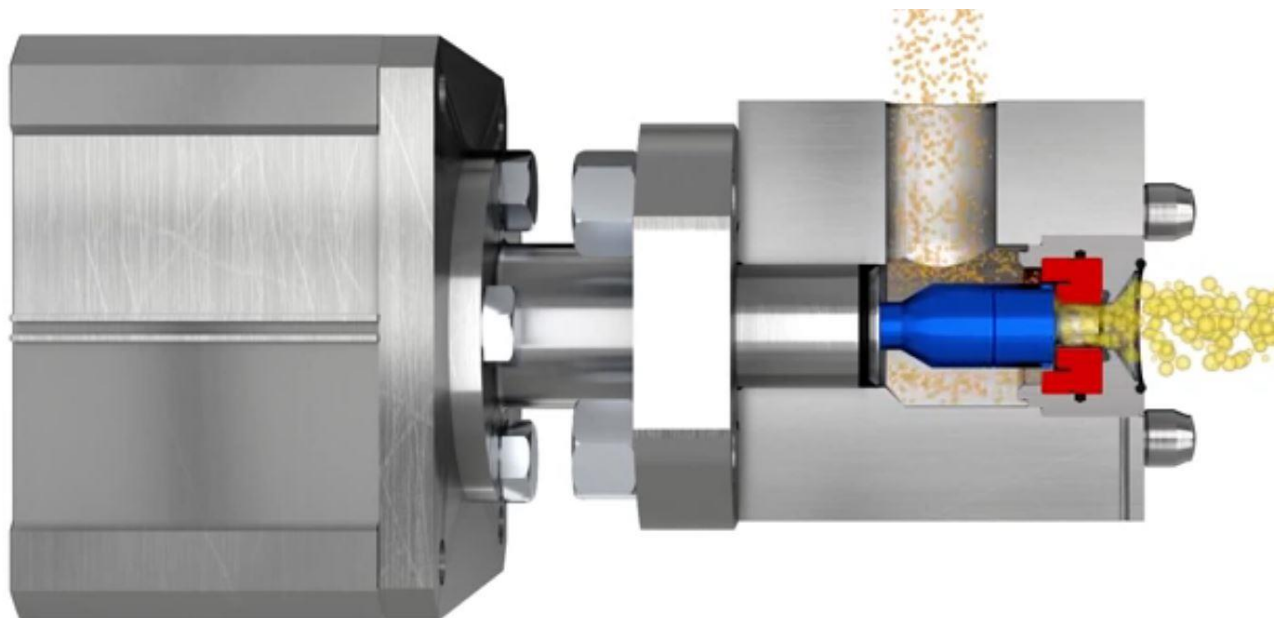
### PREPARACIÓ PER A L'HOMOGEÏTZADOR

L'obtenció de les CNF es fa per mitjans mecànics mitjançant l'Homogeneïtzadora que té un funcionament semblant a la Sprout-Waldron però en petites dimensions i la vegada més complex.

També disposa d'uns plats que giren en sentit contrari, els quals apliquen entre si una pressió determinada i en concret que en disminueixen l'espai entre ells. D'aquesta manera les microfibrilles de cel·lulosa van passant d'una cambra a una altra successivament fins al moment que aconseguen poder sortir-ne. Això fa que se'n disminueixi la seva mida, tant la llargada com el diàmetre. El procés es veu en la següent il·lustració:



Fotografia 19 - Esquema de funcionament, sense pressió (<https://www.youtube.com/watch?v=FkxH4E2LDBY>)



Fotografia 20 - Esquema de funcionament, amb pressió (<https://www.youtube.com/watch?v=FkxH4E2LDBY>)

El procediment per a obtenir les CNF s'aconsegueix amb 9 passades per l'homogeneïtzador, de les quals 3 es fan a 300 bars, 3 a 600 bars i les 3 últimes a 900 bars. Prèviament caldrà diluir

amb aigua a una concentració del  $c=1\%$  la pasta obtinguda de l'SPROUT-WALDRON, que està a una concentració de  $c=22.55\%$ . La quantitat total que es vol processar es de 1,5L.

Càlcul de quantitat de pasta molla necessària per a procés amb Homogeneïtzador:

$$15gr\ seca \times \frac{100\ gr\ totals}{22,55\ gr\ moll} = 66,52\ gr\ pasta\ de\ SPROUT - WALDRON$$

Aigua que s'ha d'afegir:

$$1500gr\ totals - 66,52\ gr\ pasta = 1433,48\ gr\ aigua$$

Passar la solució per l'Ultraturrax per a dispersar be amb l'aigua, donat que aquest aparell és com una batidora de ma deu vegades mes potent, donat que les batidores de ma giren entre 1500 i 2000 r.p.m., mentre que aquest te un rang de revolucions de 3000 a 25000 r.p.m.

### OBTENCIÓ DE NANOFIBRES AMB L'HOMOGENEITZADOR

El procés de producció de CNF es bastant lent i laboriós, donat que la dissolució obtinguda amb l'Ultraturrax fins que no s'arriba a la 4a passada, es a dir: al 1era a 600 bars, l'Homogeneïtzador no absorbeix per si sol del contenidor on s'aboca la solució a processar. Amb el que en el final del dipòsit amb forma d'embut s'hi ha d'anar encaixant un agitador polimèric a fi de fer el buit, donat que si no es desenceba.

Esquema de les diferents passades:

- 3 passades a 300 bars, del qual en guardem una mostra per a altres processos de control.
- 3 passades a 600 bars, del qual en guardem una mostra per a altres processos de control.
- 3 passades a 900 bars, en resulta gairebé 1 Litre de pasta.

Un cop s'acaba aquest procés en determinem la concentració exacte del que hem obtingut en les diferents pressions. La concentració es realitza mitjançant el procés de diferència de pesos entre la mostra que conté aigua i la que hem assecat en una estufa a 100 °C fins a pes constant. Un cop obtinguts els pesos amb la següent formula obtenim la consistència  $c$ .

Fòrmula:

$$c = \frac{P_{Gresol} + P_{Sat}}{P_{Gresol+Sec}} \times 100 = \%$$

On:

- $c$  és la consistència en %

- $P_{Gresol}$  és el pes del gresol en g
- $P_{Sat}$  és el pes de la mostra saturada d'aigua en g
- $P_{Gresol+sec}$  és el pes del gresol mes la mostra seca en g

TIPUS	$P_{Gresol}$	$P_{Sat}$	$P_{gresol+Sec}$	CONSISTÈNCIA (c)	
				UNITÀRIA	MITJANA
	(gr)	(gr)	(gr)	%	%
300.1	58,3399	3,5768	58,3751	0,984	1,007
300.2	37,9805	2,7755	38,0091	1,030	
600.1	52,2284	3,1578	52,2563	0,884	0,885
600.2	37,4988	2,1669	37,5180	0,886	
900.1	31,8226	2,9305	31,8498	0,928	0,969
900.2	37,1697	2,9025	37,1990	1,009	

Taula 5 – Recull de dades de les diferents passades per l'homogeneitzador



Fotografia 21 – Homogeneitzador en funcionament

## CARACTARITZACIO DE LES NANOFIBRES DE CEL·LULOSA DE PI

D'acord a les indicacions del Dr. Pere Mutjer i el Dr. Marc Delgado del departament de l'EPAMAP, ens han facilitat l'article: Espinosa, E. Tarrés, Q. Delgado Aguilar, M. González, I. Mutjé, P. Rodríguez, A. (2016). Suitability of wheat straw semichemical pulp for the fabrication of lignocellulosic nanofibres and their application to papermaking slurries. *Springer Science+Business Media Dordrecht. Cellulose* (2016) 23:837–852. DOI: 10.1007/s10570-015-0807-8.

Aquest ens serveix per a trobar l'àrea efectiva, el diàmetre i per tant la secció de les CNF. El procés a seguir es el de trobar els següents valors de la formula següent extreta de l'article anterior, la qual ens determina la superfície específica de les CNF i s'explica en l'apartat de l'assaig del mateix superfície específica de la nanofibra resultant.

$$\sigma_{CNF} = (CD - CC) \times \sigma_{DADMAC}$$

On:

- $\sigma_{CNF}$  és la superfície de les nanofibres per g de mostra saturada en  $\text{nm}^2/\text{g}$
- $CD$  és la demanda catiònica en  $\mu\text{eq/g}$
- $CC$  és la taxa de carboxils en  $\mu\text{eq/g}$
- $\sigma_{DADMAC}$  és la quantitat sobrenandant del polímer catiònic (POLYDADMAC) en  $\text{nm}^2/\mu\text{eq}$

En que CD (Cationic Demand) es la Demanda Catiònica que s'explica a continuació i CC (Carboxyl content) que el la Taxa de Carboxils. I a partir d'aquest resultat amb la següent formula es pot determinar el diàmetre de les mateixes:

$$d_{CNF} = \frac{4}{\sigma_{CNF} \cdot 1600 \cdot 10^3 \text{ g/m}^3} = \text{nm}$$

On:

- $d_{CNF}$  és el diàmetre de la nanofibra en nm
- $\sigma_{CNF}$  és la superfície de les nanofibres per g de mostra saturada en  $\text{nm}^2/\text{g}$



## MOTLLES UTILITZATS

Per tal de poder minimitzar al màxim la quantitat de nanofibra a produir s'havien d'utilitzar uns motlles per fer provetes de 10x10x70 mm, per tant vam haver de fabricar juntament amb el departament de construcció un total de quatre motlles a més a més del que ja teníem, són uns motlles de dimensions més reduïdes. Aquest fet va ser degut a la necessitat de realitzar de provetes de dimensions 10x10x70 mm i a que el laboratori només disposava d'un sol motlle que tenia per algun cas experimental que ja havia realitzat. A l'annex A del projecte s'hi detalla aquest procés de fabricació dels motlles.

També hem utilitzat els motlles convencionals, els més utilitzats, de dimensions de provetes 40x40x160 mm. Cert és que s'han utilitzat per realitzar a la vegada provetes de 10x40x160mm així que vam haver d'anar a buscar uns negatius de ferro massís de dimensions 30x40x160mm que es col·loquen dins d'aquests motlles.

Per realitzar els assaigs de transmitància tèrmica hem utilitzat uns motlles de dimensions 20x20x1 cm que més que fabricar hem hagut d'adaptar.

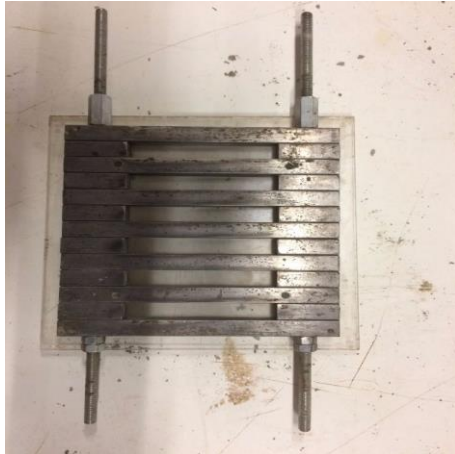
Finalment, per a l'assaig d'impacte hem utilitzat un motlle per poder-ne obtenir provetes de dimensions 1x20x20 cm.



**MOTLLE DE 40x40x160MM**



**MOTLLE DE 10x40x160MM**



**MOTLLE DE 10x10x70MM**



**MOTLLE DE 200x200x10MM**

## REALITZACIÓ DE PROVETES

En el global d'aquest projecte s'han fet, per tal de realitzar tots els assajos pertinents, unes 250 provetes de diferents dimensions, formats i dosificacions. No totes les provetes que s'han assajat han estat en format "fragat" degut a que hi ha un seguit de proves que han requerit que tant el ciment sol o la CNF sola o la totalitat de mescla estiguessin en moll.

Per altra banda, també val a dir que, hi ha provetes que han estat fabricades amb el destí de que fossin assajades per més d'un resultat diferent, és a dir, que hem pogut realitzar més d'un assaig per proveta. Sempre i quant fossin assajos no destructius.

### AGITACIÓ, BARREIG I EMMOTLLAT

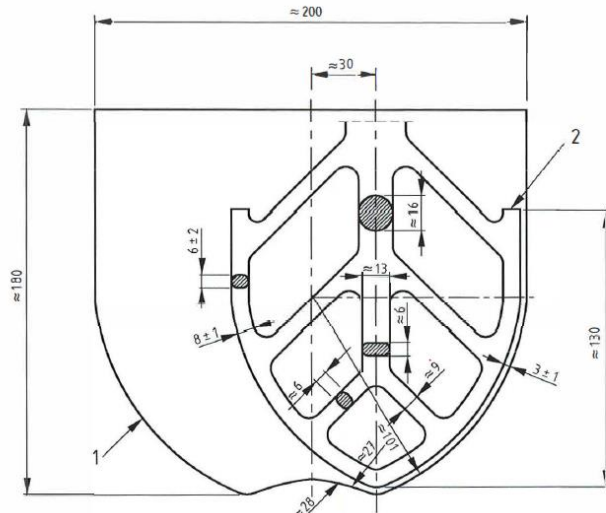
Per a la barreja de les diferents dosificacions i provetes hem utilitzat segons el material a mesclar tres tipus diferents d'aparells. D'aquesta manera hem aconseguit una millor dispersió del material per a realitzar les barreges. Val a dir que els següents punts estan ordenats de menys a més en quant a la qualitat de dispersió del material a la pròpia amalgama. A la vegada també estan ordenats de menys a més en quant a la capacitat de creació de material amb una sola amassada, així que la mescladora és la que més quantitat de material ens podia barrejar a la vegada i la Brabender seria la que menys.

#### Pastadora / mescladora

La pastadora és l'aparell que defineix la norma UNE EN 196-1 com a utensili necessari per a la realització de les amassades. Segons aquesta norma la pastadora ha de constar essencialment de:

- Un recipient d'acer inoxidable d'una capacitat aproximada de 5 litres, amb una forma típica i dimensions de la fotografia 11 i equipat de manera que pugui ser fixat firmament al bastidor de la pastadora duran l'amassat i que l'alçada del recipient amb relació a la pala i, per consegüentment, la separació entre la pala i el recipient, pugui ajustar-se i mantenir-se amb precisió.
- Una pala d'acer inoxidable, en forma típica, mesures i toleràncies com les indicades a la fotografia 11, accionada per un motor elèctric de velocitats controlades, amb moviments de rotació sobre el seu propi eix, i amb un moviment planetari al voltant de l'eix del recipient. Els dos sentits de rotació han de ser oposats i la relació entre les dues velocitats no ha de ser un nombre enter.





Fotografia 22 – Recipient i pala tipus

Una dels avantatges d'aquest utensili és la gran capacitat que té, 5 litres de capacitat per a la nostra experiència duran tots els processos de fabricació de provetes hagués estat fantàstic. També cal tenir en compte la comoditat d'amassada ja que en el cas de fabricar morter resulta molt útil. Per altra banda però, té com a inconvenient que molt de material queda enganxat a les parets del recipient. També cal tenir en compte que si es vol amassar petites quantitats no és un utensili pràctic ja que no arriba a barrejar el material de manera òptima, quedant-se a les parets i al fons i fins hi tot no arribant a dispersar els diferents materials de manera correcta.

#### Agitador d'hèlix

Un agitador és un instrument que s'utilitza en els laboratoris de química, consisteix en una vareta que serveix per a mesclar o remoure mitjançant l'agitació d'algunes substàncies principalment líquids.



Fotografia 23 - Agitador

És un agitador de flux axial, que opera amb altes velocitats i s'utilitza per a líquids poc viscosos o sòlids de baixa densitat. Gira a una velocitat d'unes 1750 rpm. Les corrents del flux que s'inicien a l'agitador, es mouen a través del líquid en una direcció determinada fins que són desviades pel fons o les parets del recipient, normalment basos de precipitats. La columna de remolins de líquid d'elevada turbulència arrastra al llarg del seu moviment al líquid estancat generant un efecte considerable.



Fotografia 24 – Hèlix

Les pales de l'hèlix tallen o fracturen el material líquid o sòlid. Degut a la persistència de les corrents del flux, els agitadors d'hèlix són eficaços amb recipients de gran mida.



Fotografia 25 – Flux axial de l'hèlix

En quant als seus avantatges podríem dir que ens permetia mesclar dosificacions de menys volum, és a dir per a fabricar provetes de 1x1x7cm. També ens permetia utilitzar el recipient directament de buidat sobre els motlles. A la vegada podíem endur-nos aquest agitador directament al laboratori on trencàvem les provetes i no haver de fabricar les provetes en un lloc i trencar-les en un altre.

Els inconvenients d'aquest sistema es resumeixen en un de sòl, suficient per canviar el sistema. És el de que no permetia "arribar a les cantonades", al ser una massa pròxima al sòlid i de

considerable densitat ens quedaven a les cantonades del fons del recipient i per tant no aconseguíem que la dispersió de la nanofibra fos la desitjada.

#### Reòmetre de torsió

El reòmetre de torsió o de torque és bàsicament un mesclador que proporciona dades basades en la capacitat de processament dels polímers. No només permet conèixer amb anticipació el comportament que tindran els polímers en els equips de transformació com extrusores, injectors, sinó que també permet comparar els propis materials a diferents proporcions d'additius.

Aquest aparell, bàsicament, medeix el par, força de torsió, requerit per fer girar les paletes del rotor a una velocitat fixada com una funció del temps durant el barreig.



Fotografia 26 – Cavitat del reòmetre on s'hi introdueix el material

Tot i haver fet un assaig de torque descrit i detallat en aquest mateix projecte, aquest aparell s'ha utilitzat principalment com a mescladora.

L'avantatge d'aquest procés ha estat la gran facilitat de dispersió dels diferents materials que composaven les dosificacions. També, la facilitat d'introducció dels diferents materials mitjançant la tremuja en forma de cunya que li pertany.

Per altra banda, com a inconvenient ens hem trobat amb el fet de que aquest reòmetre només disposa d'una capacitat de 50cm<sup>3</sup> i tenint en compte la minva que es pot tenir en cada amassada en prou feines podíem omplir un motlle de sis provetes de 1x1x7cm. Un altre inconvenient és el de la retirada del material i cop barrejat, per extreure el material s'ha de desmuntar la totalitat

de la cavitat on es realitza la mescla i treure també els rotors de l'aparell, això alenteix molt el procés de fabricació de provetes. Més o menys, per poder fer una amassada de 50cm<sup>3</sup> tardàvem uns 20 minuts.

### Fluïdificant

Per a l'execució de les provetes amb nanofibra ha estat necessària la utilització d'un fluïdificant. Degut a la experiència obtinguda a la hora d'emmotllar les primeres provetes, les de 1,81% de nanofibra, es va determinar la utilització d'aquest additiu professional. La primera amassada que es va realitzar, amb un 1,81% de nanofibra, duia a la vegada una quantitat d'aigua de 0,3 parts per cada part sencera de ciment i va resultar impossible el seu emmotllat.

Degut a aquest fet anteriorment explicat es va decidir inicialment afegir tanta aigua, fins a un percentatge raonable, com fes falta. Finalment es va afegir fins a un 100% d'aigua, d'aquesta manera aconseguíem emmotllar amb el que això perjudica notablement en quant a propietats mecàniques es refereix. Degut a aquest fenomen, juntament amb els especialistes de la matèria es va decidir realitzar les altres tres dosificacions que restaven per fer, 0,50%, 1,00% i 1,50%, amb la adhesió d'un fluïdificant plastificant de la massa. Així es va aconseguir millorar les prestacions plàstiques de les barreges, amb només un 1,00% de fluïdificant afegit aconseguíem més o menys fins a un 10% d'increment de plasticitat de la massa, cosa que feia que fos molt més fàcil de treballar.



El producte utilitzat com a fluïdificant ha estat de la casa SIKA i en concret el ViscoCrete 3425, com defineix la pròpia marca és un additiu reductor d'aigua d'alt rang i super-plastificant per a morters i formigons.

Aquest producte no conté clorurs i és químicament estable, està recomenat per a barreges amb una baixa relació d'aigua ciment que precisin d'una fluïdesa elevada, una cohesió òptima

i una gran facilitat d'auto compactació, com és el nostre cas.

Fet a base de policarboxilats modificats amb una densitat de 1,08kg/l està dissenyat per a treballar sense afectar mecànicament els resultats amb només un 1,00% d'additiu respecte al pes del ciment.

### PROVETES DE NANOFIBRA

Durant el procés de fabricació de la nanofibra es van prendre un seguit de mostres “provetes” per tal de poder calcular la seva demanda catiònica així com la seva consistència. Aquestes provetes es captaven entre mig de les diferents passades per l’homogeneïtzador per tal de poder comprovar la modificació física de la nanofibra segons els Bars de pressió que els hi exercíem.

### PROVETES DE CIMENT

Realment no s’haurien de considerar provetes però, cada vegada que havíem d’obtenir ciment del sac que sempre conservàvem dins un bidó estanc per tal d’evitar-li la humitat. El fèiem passar per diferents tamisos, durant la pràctica dels primers assajos experimentals no documentats en aquest projecte ens vam adonar de que el ciment l servit industrialitzat presentava un petit percentatge d’escòria d’altres materials barrejats amb el propi ciment. Això ens feia que la secció de les provetes assajades ens presentés una massa dura heterogènia ja que es podia veure material meteoritzat no corresponent al ciment en sí.

La pràctica d’aquest procediment era senzill, es colava aquest ciment per els diferents tamisos fins a una granulometria molt fina . Aquest ciment ja crivat era el que s’utilitzava per a la creació de les diferents provetes.



Fotografia 27 – Crivat del ciment pel primer tamís



Fotografia 28 – Escòria resultant primer tamís



## PROVETES D'AMALGAMA

### Càlcul de dosificacions

En quan a les provetes mescla, s'han realitzat varies dosificacions utilitzant també diferents components. Per tal de poder realitzar correctament aquestes dosificacions una vegada al laboratori es va dissenyar i programar la següent taula d'auto-càlcul. D'aquesta manera podíem conèixer les quantitats amb pes de cada un dels materials intervinents de la dosificació corresponent.

Mitjançant les densitats dels diferents materials, aquestes taules ens permetien també, a la vegada, segons els cm<sup>3</sup> de material d'una proveta i la quantitat final que necessitàvem, els pesos de cada un dels components que havíem d'incorporar a la barreja.

A les següents taules exemple es pot observar, a la primera, que ens dona el resultat dels pesos i dels cm<sup>3</sup> finals segons el pes del ciment entrat manualment. Aquesta taula, també ens servia a la vegada com a referència per poder fer els càlculs a la inversa i poder treure resultats de la segona taula exemple.

En canvi, a la segona taula podrem observar que les dosificacions varien segons el numero de provetes que hi entrem i els cm<sup>3</sup> que aquestes necessiten.

Concentració nanofibra	Fluidificant %	DENSITATS g/cm <sup>3</sup>			Dossificació c/a	
		ciment	nanofibra	aigua		
5,70%	1,00	3,05	1,25	1,00	1:0,3	3,33

#### EXEMPLE PER PES

Ciment (g)	Nanofibra	Fluidificant (g)	Nanofibra seca (g)	Nano humida (g)	Aigua nano (g)	Aigua a afegir (g)	Volum (cm <sup>3</sup> )
100,00	0,00%	1,00	0,00	0,00	0,00	30,00	62,79
100,00	0,50%	1,00	0,50	8,77	8,27	21,73	63,19
100,00	1,00%	1,00	1,00	17,54	16,54	13,46	63,59
100,00	1,50%	1,00	1,50	26,32	24,82	5,18	63,99
100,00	1,81%	1,00	1,81	31,75	29,94	0,06	64,23

#### EXEMPLE MOTLLE 40X40X160cm

Unitats: 3,00

Volum necessari (cm<sup>3</sup>/proveta): 768,00

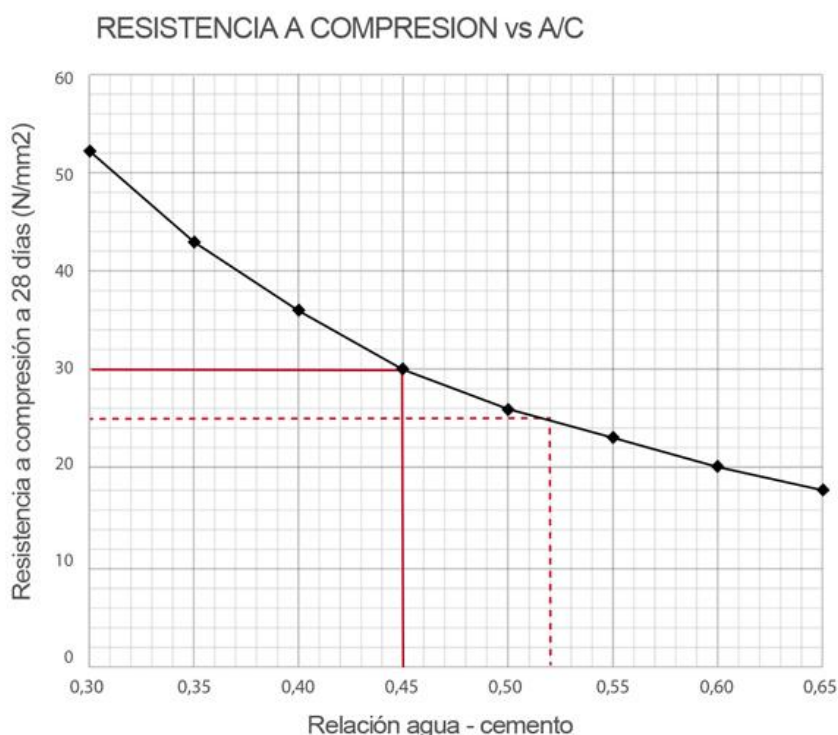
Ciment (g)	Nanofibra	Fluidificant (g)	Nanofibra seca (g)	Nano humida (g)	Aigua nano (g)	Aigua a afegir (g)	Volum (cm <sup>3</sup> )
1.223,19	0,00%	1223,19	0,00	0,00	0,00	366,96	768,00
1.215,44	0,50%	12,15	6,08	106,62	100,54	264,09	768,00
1.207,80	1,00%	12,08	12,08	211,89	199,82	162,52	768,00
1.200,25	1,50%	12,00	18,00	315,85	297,85	62,22	768,00
1.195,61	1,81%	11,96	21,64	379,66	358,02	0,66	768,00

Aquestes dues taules en concret estan donant resultats per a una dosificació de relació ciment / aigua de 1:0,3 en pes.

### Relació ciment – aigua

La relació ciment – aigua és aquell codi numèric/matemàtic que divideix i a la vegada relaciona la quantitat d'aigua i ciment que hi ha en una barreja. Aquesta relació constitueix un paràmetre molt important a la hora dels resultats finals dels assajos. Té molta influència sobretot amb les característiques de resistència, durabilitat i de retracció del ciment ja curat. També cal esmenar que aquesta relació influeix de manera molt directa a la fluència i la plasticitat, característiques molt importants a la hora d'emmotllar.

Com a tota transformació química, les quantitats dels dos elements intervinents han d'estar pre-definides i han de crear una relació de proporció fixe. La hidratació completa del ciment portland requereix com a mínim una hidratació del 20%, cosa que es tradueix com a una relació de ciment – aigua de 1:0,20. Tot i així no és recomanable utilitzar valors propers a aquest per fer assajos, popularment la relació que es recomana és de fins i tot el doble, essent de 1:0,45 degut a que no es disposa sempre de mescladores adients i tampoc del temps necessari per a fer la mescla. En la següent gràfica podem observar la influència d'aquestes relacions en el formigó, tot i que en el formigó hi ha altres elements a la mescla la repercussió de l'aigua també resulta molt circumstancial.



Des de bon principi, i amb l'ajuda dels tres tutors de projecte es va decidir realitzar les provetes "Control" amb una relació de: una part de ciment per tres dècimes parts d'aigua en pes; 1:0,30 a partir d'ara. És a dir 30g d'aigua per cada 100g de ciment. Per tal de simplificar el projecte,

una vegada obtinguts tots els resultats mecànics de les provetes de control, vam decidir procedir a les mescles amb nanofibra utilitzant la mateixa relació 1:0,30.

En els moments inicials de la fabricació de les primeres provetes amb nanofibra d'aquesta relació i amb un 1,81% de nanofibra amb pes ens vam adonar que degut a que les pròpies nanofibres ja es trobaven disperses amb aigua hi havia poca aigua a afegir finalment. La qual cosa feia impossible l'emmotllat del propi material en els motlles de provetes 10x10x70mm. Resultava un aglomerat massa espès per poder-lo mollejar i poder-ne treure provetes suficientment regulars en quant a dimensió. Això és degut a que la nanofibra té la gran capacitat d'absorbir una quantitat d'aigua molt elevada augmentant molt de volum, és per aquest motiu que el ciment no quedava suficientment hidratat per a ser modelable dins els motlles.

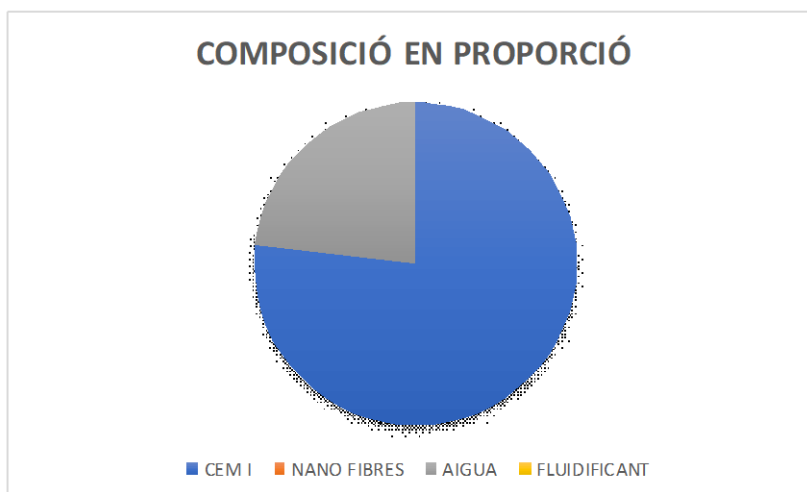
Davant d'aquest obstacle es va decidir augmentar la quantitat d'aigua a la relació fins a una proporció de 1:1. D'aquesta manera es va aconseguir poder emmotllar aquestes primeres provetes de 1,81%.

Tot seguit, havíem d'anar a preparar la resta de provetes amb els diferents percentatges de nanofibra incorporats. Es van realitzar tot un seguit de reunions i entrevistes amb especialistes / tutors del projecte i vam concloure que aquestes dosificacions precisaven una mateixa característica per tal d'unificar les diferents provetes entre si. Així que vam realitzar un seguit d'assajos per calcular la plasticitat, vam poder comprovar que la plasticitat de les provetes de control i les provetes amb un 1,81% de nanofibra donaven els mateixos N·m.

Una vegada obtingut aquest resultat se'ns va indicar que unes provetes de ciment no haurien de dur una quantitat d'aigua tant elevada com la d'un 100% del pes del ciment de la pròpia barreja. Així que es va establir l'ús d'un fluïdificant, en concret un 1% del pes del ciment, d'aquesta manera milloràvem la plasticitat de l'amalgama sense haver d'afegir tanta aigua i sense afectar els resultats finals. També ens aconseguíem acostar més a la relació ciment – aigua de les provetes de control, de les quals teníem ja els resultats finals. Per tant per a la creació de les demés dosificacions el que variava a més a més de la quantitat de nanofibra era la quantitat d'aigua. Que augmentava o disminuïa segons el resultat de la plasticitat que donava. Seguidament, en els pròxims capítols, es pot observar com les mateixes taules de pesos de les diferents dosificacions varien segons la relació ciment – aigua de les diferents capçaleres.



## Dosificació de la de control



PROPORCIÓ	RELACIÓ EN PES
CEM I	1,00
NANO FIBRES	0,00
AIGUA	0,30
FLUIDIFICANT	0,00

**Dosificació que denominarem com a "blanca".  
Formada per 0,30 parts d'aigua per cada sencera de ciment. Aquestes proporcions  
están determinades en base al seu pes en particular.**

Dosificació inicial de tota la investigació, aquesta dosificació no disposa de cap element més que no sigui ciment i aigua, és per aquest motiu que les anomenem de control. Va ser ideada i portada a la pràctica per tal d'utilitzar-la igualment a tots els assajos a mode de comparativa per als pròxims amb nanofibra. Composta per només dos materials, ciment i aigua, concretament amb una dosificació de tres dècimes per cada part sencera de ciment en pes.

S'ha utilitzat una relació ciment – aigua del 30% d'aigua en pes per cada part sencera de ciment. Cosa que feia que aquestes barreges no resultessin ser del tot plàstiques i pràctiques a la hora d'emmotllar, tot i així es podia procedir al emmotllat sense inconvenients. Cal esmenar que aquesta dosificació va ser la que ens va dirigir com a referència per a l'elecció de consistència que havien de tenir les demés dosificacions.

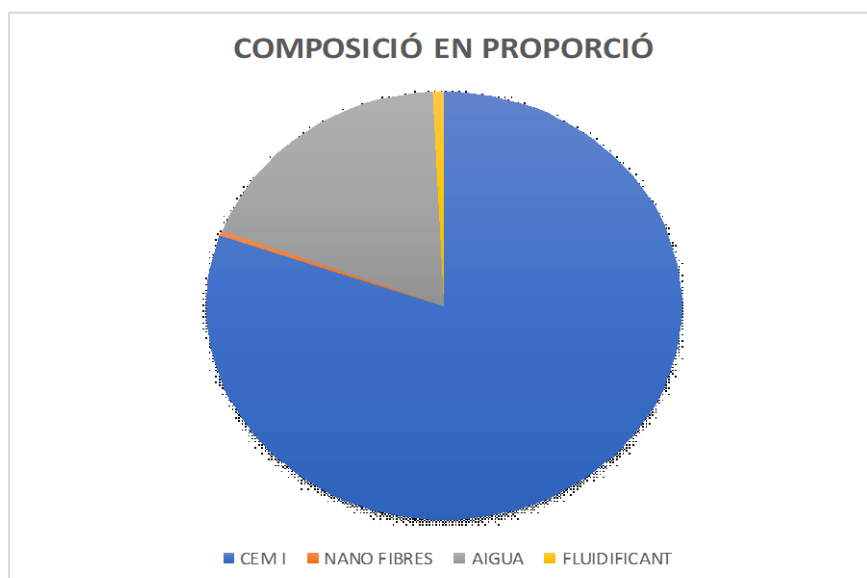
Aquesta dosificació queda definida per la següent taula de pesos, donant per resultat el volum corresponent.

Concentració nanofibra	Fluidificant %	DENSITATS g/cm <sup>3</sup>			Dossificació c/a	
		ciment	nanofibra	aigua		
5,70%	1,00	3,05	1,25	1,00	1:0,3	3,33

Ciment (g)	Nanofibra	Fluidificant (g)	Nanofibra seca (g)	Nano humida (g)	Aigua nano (g)	Aigua a afegir (g)	Volum (cm <sup>3</sup> )
100,00	0,00%	0,00	0,00	0,00	0,00	30,00	62,79

Les barreges es van realitzar amb una mescladora homologada i reglada per la norma UNE EN 196-1 . Era una massa relativament senzilla d'amassar i emmotllar.

#### Dosificació 0,50%



PROPORCIÓ	RELACIÓ EN PES
CEM I	1,000
NANO FIBRES	0,005
AIGUA	0,230
FLUIDIFICANT	0,010

**Aquesta és la dosificació de menor quantitat de nanofibres, concretament del 0,5%. Formada per 0,005 parts de nanofibres, 0,23 parts d'aigua i 0,01 parts de fluidificant per cada sencera de ciment. Aquestes proporcions estan determinades en base al seu pes en particular.**

Aquesta dosificació és la primera de les que duen alguna proporció de nanofibra incorporada a la amalgama. Concretament és la mescla amb menor quantitat de nanofibra, concretament un 0,50% respecte el pes del ciment que s'hi incorpori.

Forma part de les últimes tres dosificacions que vam realitzar, una vegada ja s'havia assajat a flexió i a compressió la dosificació de control i la de 1,81%. Això fa que la quantitat d'aigua d'aquestes provetes fos de 0,23 per cada unitat de ciment en pes. Es va decidir aquesta proporció ciment – aigua degut a que amb els assajos de plasticitat, juntament amb el fluïdificant, es va haver d'afegir aquesta suma d'aigua per poder arribar als mateixos N·m que les de control i a la vegada que a les de 1,81% de contingut de nanofibra.

Aquesta dosificació és també la primera a incorporar una totalitat d'un 1,00% de fluïdificant, aquest es va haver d'afegir una vegada analitzada la composició límit que vam poder obtenir amb el 1,81% de nanofibra a l'amalgama. Degut a que aquesta havia de dur un 100% d'aigua i les provetes no resultaven eficaces per l'estudi. D'aquesta manera vam aconseguir augmentar la plasticitat sense desvirtuar la seves propietats.

Uns capítols més en davant trobarem els resultats mecànics d'aquesta primera proveta amb nanofibra, però des d'aquí ja s'avança que aquesta baixa suma d'aigua és poc compatible amb el correcte hidratat i a la vegada curat del ciment. Tot i que els estudis determinen que la dosificació mínima aigua – ciment ronda el 1:0,20 i que la nostra proveta està formada per una dosificació de 0,23; la nanofibra s'encarrega per naturalesa d'absorbir un total d'aigua superior a la qual està dispersada a la hora de fer les mescles. És llavors per aquesta raó que la totalitat d'aigua que disposa la pols de ciment per hidratar-se, segurament, és inferior a aquest 0,20g per cada gram de ciment.

Com a conclusió d'aquesta dosificació de 0,50% de nanofibra podríem determinar que podem estar d'acord amb la línia de la gràfica que relaciona el resultat de resistència amb la quantitat de nanofibra. També val a dir que una vegada observades les seccions de ruptura de les provetes una vegada assajades no presentaven cap mostra de manca d'hydratació, és a dir la superfície per la qual havia trencat es veia suficientment homogènia i regular, no s'observava cap mena de meteorització ni bosses d'aire.

Com es pot observar a la taula de continuació l'aigua a afegir, tot i ser tant sols d'un 23% del pes del ciment, és d'una quantia raonable, això, juntament amb la baixa proporció de nanofibres i el fluïdificant, fa que sigui una mescla fàcilment emmotllable.

Finalment, s'adjunta tot seguit la taula exemple utilitzada per a la creació, en concret, de les provetes de 10x10x70mm.

Concentració nanofibra	Fluidificant %	DENSITATS g/cm <sup>3</sup>			Dossificació c/a	
		ciment	nanofibra	aigua		
5,70%	1,00	3,05	1,25	1,00	1:0,23	4,35

**EXEMPLE MOTLLE 10X10X70mm**

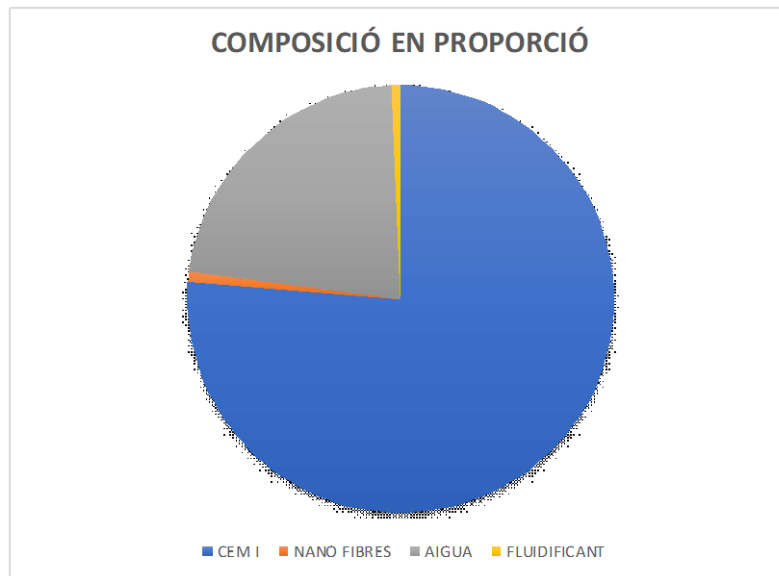
Unitats: 6,00

Volum necessari (cm<sup>3</sup>/proveta): 42,00

Ciment (g)	Nanofibra	Fluidificant (g)	Nanofibra seca (g)	Nano humida (g)	Aigua nano (g)	Aigua a afegir (g)	Volum (cm <sup>3</sup> )
74,75	0,50%	0,75	0,37	6,56	6,18	11,01	42,00

Aquesta dosificació es va haver de mesclar mitjançant la Brabender degut a la necessitat de dispersió d'aquest material nanoscòpic, recordem que aquesta té una capacitat de mescla de 50cm<sup>3</sup> i que per tant per realitzar un motlle de sis provetes d'aquestes dimensions s'hauria de realitzar només una sola amassada.

Dosificació 1,00%



PROPORCIÓ	RELACIÓ EN PES
CEM I	1,00
NANO FIBRES	0,01
AIGUA	0,29
FLUIDIFICANT	0,01

**Aquesta és la dosificació de menor quantitat de nanofibres, concretament del 1%. Formada per 0,01 parts de nanofibres, 0,29 parts d'aigua i 0,01 parts de fluidificant per cada sencera de ciment. Aquestes proporcions estan determinades en base al seu pes en particular.**

Aquesta segona dosificació amb contingut de nanofibra correspon a l'amalgama amb un 1,00% de material de cel·lulosa per cada unitat sencera de ciment pel que al pes les refereix. Es va realitzar aquesta xifra de 1,00 per tal de seguir un barem de mig en mig fins a arribar a la primera de 1,81% sense arrabassar-la.

La quantitat de nanofibra del doble que l'anterior dosificació, sempre respecte al ciment, cal tenir present que aquest fet només doble el percentatge, en cap moment farà doblar en cap mena de característica final de resultats d'assajos.

Aquesta dosificació també conté un 1,00% de nanofibra per poder aconseguir la plasticitat adient per poder se emmotllada i a la vegada que sigui igual a la inicial de les provetes de control.

En aquest cas en particular la relació ciment – aigua es va relacionar fins a una xifra de 1:0,29 que correspon a un 29% en pas d'aigua per cada part sencera de ciment incorporat. Aquesta quantitat d'aigua és molt propera a la utilitzada a les provetes de control (30%), això fa que tots els assajos resultants d'aquesta dosificació siguin els més aptes per a l'especulació i comparació entre ells.

El fet de que incorpori una suma de nanofibra també ens pot fer afectar a la quantitat d'aigua que aquest ciment necessita per hidratar-se, tot i així acaba representant un percentatge suficientment elevat com per quedar per sobre del 20% mínim necessari. Per tant i com a conclusió d'aquests anteriors arguments, podríem dir que els futurs resultats a priori i sempre sobre la teoria, seran els millors per a comparar amb les provetes de control.

A continuació podrem observar la taula de dosificacions exemple corresponent a aquesta dosificació amb un 1,00% de nanofibra.

Concentració nanofibra	Fluidificant %	DENSITATS g/cm <sup>3</sup>			Dossificació c/a	
		ciment	nanofibra	aigua		
5,70%	1,00	3,05	1,25	1,00	1:0,29	3,45

**EXEMPLE MOTLLE 10X40X160mm**

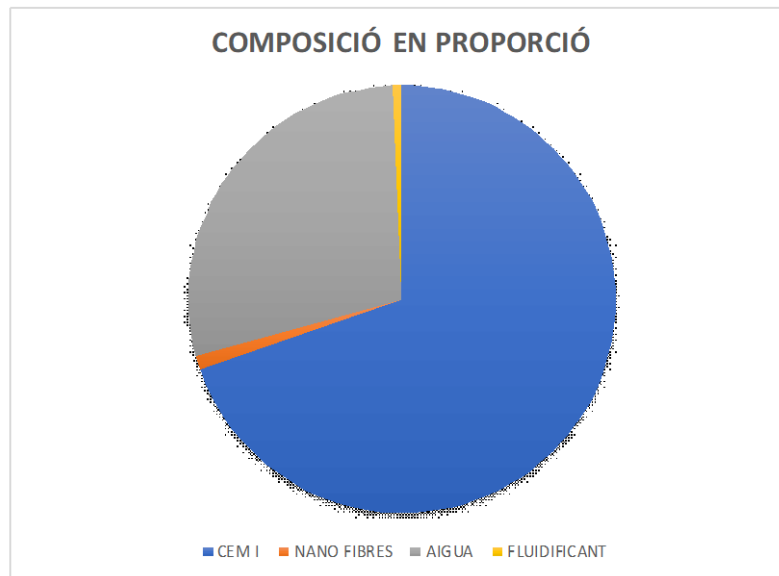
Unitats: 1,00

Volum necessari (cm<sup>3</sup>): 64,00

Ciment (g)	Nanofibra (%)	Fluidificant (g)	Nanofibra seca (g)	Nano humida (g)	Aigua nano (g)	Aigua a afegir (g)	Volum (cm <sup>3</sup> )
103,58	1,00%	1,04	1,04	18,17	17,14	12,90	64,83

Aquesta dosificació es va haver de mesclar mitjançant la Brabender degut a la necessitat de dispersió d'aquest material nanoscòpic, recordem que aquesta té una capacitat de mescla de 50cm<sup>3</sup> i que per tant per realitzar una proveta d'aquestes dimensions era necessària la realització de dues amassades amb el que això podria comportar.

Dosificació 1,50%



PROPORCIÓ	RELACIÓ EN PES
CEM I	1,00
NANO FIBRES	0,015
AIGUA	0,41
FLUIDIFICANT	0,01

**Aquesta és la dosificació de menor quantitat de nanofibres, concretament del 1,5%. Formada per 0,015 parts de nanofibres, 0,41 parts d'aigua i 0,01 parts de fluidificant per cada sencera de ciment. Aquestes proporcions estan determinades en base al seu pes en particular.**

Aquesta tercera dosificació representa a la última de la sèrie de 3 dosificacions que vam fer finalment, aquesta sèrie la componen la de 0,50%, 1,00% i 1,50%. A aquest percentatge es va definir per tal de poder seguir la sèrie i a la vegada poder-nos acostar al màxim a la dosificació final de 1,81%, que en principi era la màxima a la que podíem arribar. Disposa també d'un 1,00% de nanofibra per poder aconseguir la plasticitat adient per poder se emmotllada i a la vegada que sigui igual a la inicial de les provetes de control.

Aquesta amalgama disposa, com ja s'ha comentat, d'una part i mitja percentual del pes del ciment. Vist des de la perspectiva teòrica sí és cert que no representa més que una ínfima part de la totalitat en pes del ciment, però comença a ser una part molt respectable en quant a volum i a resultats dels assaigs que més en davant es comenten en aquest projecte.

En quan a l'aigua, aquesta proveta la compon un total del 4,10% d'aigua en pes, la relació amb el ciment seria de 1:0,41. Si comparéssim la quantitat d'aigua d'aquesta amb les que s'han comentat fins ara ja està per sobre de totes elles i de manera notòria, això va ser degut a que per l'increment de les nanofibres, la resistència que oferien a la hora de calcular la plasticitat augmentava exponencialment. Em de tenir present que un dels fenòmens que ens obliga a incrementar la quantia d'aigua és la pertanyent a la pròpia dissolució de les nanofibres, a més nanofibra més quantitat d'aigua havent-hi els mateixos grams de ciment.

Aquesta barreja també seguia sent una massa relativament emmotllable, cal tenir present que encara que disposi d'un volum generós d'aigua, la pròpia nanofibra s'encarrega d'absorbir-la i conseqüentment s'asseca molt ràpid.

Amb aquests paràmetres analitzats podríem arribar a dir que teòricament és la dosificació més convincent ja que és la que disposa de més quantitat de nanofibra sense arribar a disposar d'una quantia d'aigua massa elevada com ens trobarem a les següents de 1,81% de nanofibra.

A continuació podrem observar la taula de dosificacions exemple corresponent a aquesta dosificació amb un 1,50% de nanofibra.

Concentració nanofibra	Fluidificant %	DENSITATS g/cm <sup>3</sup>			Dossificació c/a	
		ciment	nanofibra	aigua		
5,70%	1,00	3,05	1,25	1,00	1:0,41	2,44

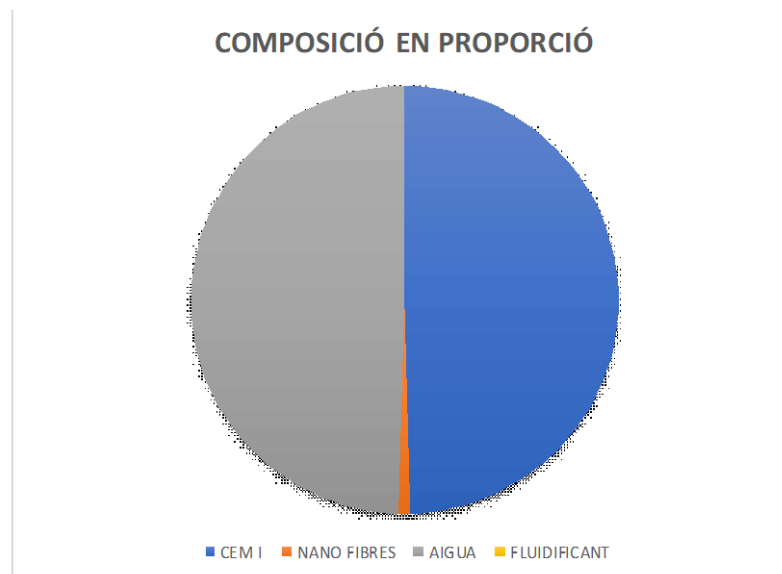
**EXEMPLE MOTLLE 10X10X70mm** Unitats: 6,00 Volum necessari (cm<sup>3</sup>): 42,00

Ciment (g)	Nanofibra (%)	Fluidificant (g)	Nanofibra seca (g)	Nano humida (g)	Aigua nano (g)	Aigua a afegir (g)	Volum (cm <sup>3</sup> )
56,92	1,50%	0,57	0,85	14,98	14,13	9,21	42,68

Aquesta dosificació es va haver de mesclar mitjançant la Brabender degut a la necessitat de dispersió d'aquest material nanoscòpic, recordem que aquesta té una capacitat de mescla de 50cm<sup>3</sup> i que per tant per realitzar un motlle de sis provetes d'aquestes dimensions s'hauria de realitzar només una sola amassada.



Dosificació 1,81%



PROPORCIÓ	RELACIÓ EN PES
CEM I	1,00
NANO FIBRES	0,0181
AIGUA	1,00
FLUIDIFICANT	0,00

**Aquesta és la dosificació de menor quantitat de nanofibres, concretament del 1,81%.  
Formada per 0,0181 parts de nanofibres, 1 part d'aigua i 0 parts de fluidificant per cada sencera de ciment.  
Aquestes proporcions estan determinades en base al seu pes en particular.**

Primera dosificació amb contingut CNF, aquesta prova precursora es va realitzar sense coneixença de la seva reacció. Aquesta dosificació s'explica de la següent manera:

- Conté un 1,81% de nanofibra degut a varis factors, el primer és el fet de que les nanofibres produïdes per nosaltres mateixos estaven concentrades a un 4,70% de contingut d'aigua, és a dir, que per cada part sencera d'aigua s'hi troben una 0,047 parts de nanofibra. Aquest fet, relacionat amb el segon, que la relació ciment-aigua inicial per les provetes de control era de 1:0,30 fa que per la realització d'una amassada de 50cm<sup>3</sup> la quantitat d'aigua a afegir sigui de 0g. Per tant, i encarant-ho des de l'altra banda, si hi volguéssim posar més nanofibra en percentatge, hauríem d'haver afegir a l'amalgama una quantia d'aigua negativa,

cosa que era impossible. Finalment es va veure que només afegir aquest percentatge del 30% d'aigua era escàs per a la necessitat d'emmotllat de la massa.

- Conté un 100% d'aigua, una determinació presa a rel dels inconvenients explicats amb anterioritat. Es va decidir doncs, augmentar la suma d'aigua de la barreja a parts senceres múltiples de 10% fins a arribar a una massa amb la que hi poguéssim treballar fàcilment.

Ens va resultar una mostra amb un total d'aigua massa elevat per a poder conservar les propietats mecàniques del ciment, una suma de la mateixa quantia d'aigua que de ciment és químicament inviable degut a la sobre hidratació de les partícules del clinker del ciment Portland. Per tant i com a conseqüència d'aquest fet no ens podem acabar de fiar dels resultats mecànics d'aquesta dosificació.

A continuació s'adjunta la taula exemple del que s'ha explicat sobre el motiu d'aquest 1,81% de nanofibra, s'observa com la relació d'aigua ciment és d'un 30% i no d'un 100% com finalment va ser. Clarament el total d'aigua a fegir per a la mescla és de pràcticament 0g. El volum de massa a mesclar és de 42cm<sup>3</sup> per poder omplir un motlle de 6 provetes de 1x1x7cm.

Concentració nanofibra	Fluidificant %	DENSITATS g/cm <sup>3</sup>			Dossificació c/a	
		ciment	nanofibra	aigua		
5,70%	1,00	3,05	1,25	1,00	1:0,30	3,33

**EXEMPLE MOTLLE 10X10X70mm**

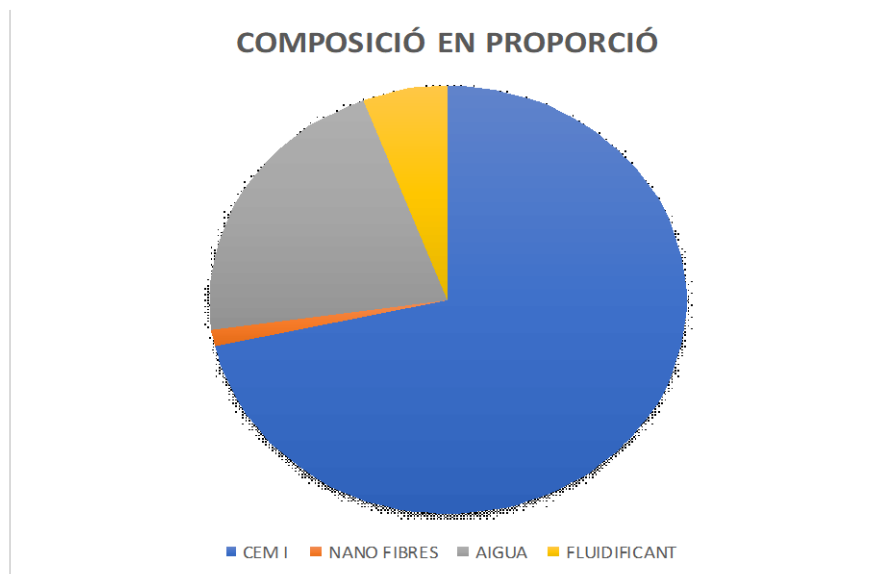
Unitats: 6,00

Volum necessari (cm<sup>3</sup>): 42,00

Ciment (g)	Nanofibra (%)	Fluidificant (g)	Nanofibra seca (g)	Nano humida (g)	Aigua nano (g)	Aigua a afegir (g)	Volum (cm <sup>3</sup> )
66,89	1,81%	0,67	1,21	21,24	20,03	0,04	42,97

Aquesta dosificació es va haver de mesclar mitjançant la Brabender degut a la necessitat de dispersió d'aquest material nanoscòpic, recordem que aquesta té una capacitat de mescla de 50cm<sup>3</sup> i que per tant per realitzar un motlle de sis provetes d'aquestes dimensions s'hauria de realitzar només una sola amassada.

Dosificació 1,81\*%



PROPORCIÓ	RELACIÓ EN PES
CEM I	1,00
NANO FIBRES	0,0181
AIGUA	0,30
FLUIDIFICANT	0,08

**Aquesta és la dosificació de menor quantitat de nanofibres, concretament del 1,81%.  
Formada per 0,0181 parts de nanofibres, 1 part d'aigua i 0,08 parts de fluidificant per cada sencera de ciment.  
Aquestes proporcions estan determinades en base al seu pes en particular.**

La dosificació en qüestió té la particularitat de ser una ocurrència, realment va ser el resultat de les ganes d'experimentar nostres. D'ençà l'experiència de no poder realitzar provetes amb la dosificació de 1,81% i amb una relació d'aigua ciment 1:0,30, va néixer aquesta proveta amb un 8% de fluidificant.

Defugint de la recomanació del fabricant d'afegir a la barreja fins a un màxim del 1% d'additiu vam anar afegint líquid de mig en mig per cent fins a aconseguir una plasticitat del material pou mal·leable perquè en poguéssim treballar i emmotllar, aquesta suma va ser del 8%

D'aquesta dosificació tampoc en comentarem gran cosa ja que només vas ser una cas excepcional del que només en van resultar 3 provetes de dimensions 1x1x7cm les quals es van assajar a flexió i a compressió.

Per la seva ínfima quantia fabricada es va haver de barrejar amb agitador.

# ASSAJOS

## ASSAIG DE CONSISTÈNCIA DE LES NANOFIBRES

### INTRODUCCIÓ

Una vegada descrit el procés d'obtenció de les nanofibres, queda com a últim el pas de fabricació de les nanofibres, l'homogeneïtzador. Doncs una vegada produïdes les nanofibres només falta realitzar la seva concentració, perquè sigui més senzill el fet de manipular-les i mesclar-les amb el ciment.

Unes nanofibres acabades de sortir de l'homogeneïtzador estan disperses amb aigua, el nostre procés resulta amb una amalgama d'aigua i CNF on només n'hi ha un 2%. Aquest percentatge és inviable per fàcil la barreja amb el ciment.

A continuació s'adjunta una taula amb les dosificacions teòriques del cas si s'hagués treballat amb aquesta concentració del 2%. En concret és la taula que s'utilitza per a realitzar les provetes de dimensions 10x10x70mm amb una dosificació de 1,81% de CNF.

Concentració nanofibra	Fluidificant %	DENSITATS g/cm <sup>3</sup>			Dossificació c/a	
		ciment	nanofibra	aigua		
2,00%	1,00	3,05	1,25	1,00	1:0,30	3,33

#### EXEMPLE MOTLLE 10X10X70mm

Unitats: 6,00

Volum necessari (cm<sup>3</sup>): 42,00

Ciment (g)	Nanofibra	Fluidificant (g)	Nanofibra seca (g)	Nano humida (g)	Aigua nano (g)	Aigua a afegir (g)	Volum (cm <sup>3</sup> )
66,89	1,81%	0,67	1,21	60,54	59,33	-39,26	42,97

Com s'observa a la taula, la columna de l'aigua a afegir conté un valor negatiu, això és degut a que la concentració de nanofibra era tant baixa que a la hora de fer les barreges, aquestes reclamaven treure-hi aigua enlloc d'afegir-ne. Vista la inviabilitat de poder treure aigua de la barreja vam optar per una altra solució.

Ja es comenta amb anterioritat, a l'apartat de dosificacions realitzades en aquest mateix projecte, que el que vam haver de fer és: relacionar la quantitat d'aigua que necessitaven les provetes finals i a la vegada l'aigua que contenia d'inici la nanofibra. Perquè quedi més comprensible, si nosaltres augmentàvem la quantia de nanofibra dins la dispersió amb aigua que fabricàvem, la quantitat d'aigua lògicament disminuïa, per tant aquesta columna d'aigua a afegir també, a la vegada, baixava.

Per tant, i com que concentrar les nanofibres fa que aquestes es trobin en un estat molt més impracticable per poder ser dissoltes amb el ciment, vam decidir concentrar aquesta nanofibra

resultant fins a un percentatge que permetés, no haver d'afegir gens d'aigua a la dosificació amb una suma més alta de CNF sense haver de treure'n.

A continuació es troba la taula que recull les diferents dosificacions per tal de poder comparar els diferents pesos d'aigua que contenen.

Concentració nanofibra	Fluidificant %	DENSITATS g/cm <sup>3</sup>			Dossificació c/a	
		ciment	nanofibra	aigua		
5,70%	1,00	3,05	1,25	1,00	1:0,30	3,33

**EXEMPLE MOTLLE 10X10X70mm**

Unitats: 6,00

Volum necessari (cm<sup>3</sup>): 42,00

Ciment (g)	Nanofibra	Fluidificant (g)	Nanofibra seca (g)	Nano humida (g)	Aigua nano (g)	Aigua a afegir (g)	Volum (cm <sup>3</sup> )
66,89	0,50%	0,67	0,33	5,87	5,53	14,53	42,27
66,89	1,00%	0,67	0,67	11,74	11,07	9,00	42,54
66,89	1,50%	0,67	1,00	17,60	16,60	3,47	42,80
66,89	1,81%	0,67	1,21	21,24	20,03	0,04	42,97

Podem veure senyalat en color groc aquelles dades que reflexen el que veníem explicant, si utilitzem unes nanofibres concentrades a un 5,70% aconseguim el que ens proposàvem. No haver d'afegir ni treure aigua a la dosificació que porta més quantitat d'aigua.

### NORMATIVA

Aquest assaig no correspon a cap mena de procediment normalitzat.

### PROCEDIMENT

El procediment de concentració de les nanofibres consta de varies parts:

Primer procediment, calcular exactament quina és la concentració la qual treballem. Primerament cal obtenir el pes del gesol per poder tarar posteriorment (TARA), seguidament agafàvem el pes de la mostra de fibra, sempre propera a 3g (PES 1), finalment, evaporàvem aquesta mostra fins que quedava totalment seca. Llavors la pesàvem amb gresol inclòs, (PES 2).

Aquesta següent taula és la que recull 4 assaigs fets per tal de poder definir un percentatge mig de concentració d'aquestes nanofibres.

PROVETA	BAR	TARA	PES 1	PES 2
1.1	900	30,6450	3,0984	30,7086
1.2	900	37,4777	3,2529	37,5450
2.1	900	58,3277	3,5972	58,3984
2.2	900	49,7437	3,2522	49,8120



Per la determinació dels percentatges es realitzen els següents càlculs:

$$C_{1.1} = \frac{30,7086 - 30,6450}{3,0984} \times 100 = 2,053\%$$

$$C_{1.2} = \frac{37,5450 - 37,4777}{3,2529} \times 100 = 2,064\%$$

$$C_{2.1} = \frac{58,3984 - 58,3277}{3,5972} \times 100 = 1,965\%$$

$$C_{2.2} = \frac{49,8120 - 49,7437}{3,2522} \times 100 = 2,033\%$$

Amb aquests càlculs realitzats podem determinar que la consistència mitja de la nanofibra fabricada és del 2%.

El següent pas tracta de conèixer el volum de material que es té, en el nostre cas, vam abocar l'aigua amb nanofibra en un cristal·litzador. El vam dimensionar i vam obtenir una volumetria de material de 1.500ml o  $cm^3$  amb una alçada de 7cm.

Una vegada obtingut aquest valor, coneixent la consistència inicial del 2% i a la vegada la quantitat de nanofibra que havíem afegit a la barreja inicial d'aigua i fibra (30g) fèiem la següent operació:

$$\frac{30g}{1.500cm^3} \times 100 = 2\%$$

- Llavors tenint en compte aquesta regla:

$$\frac{30g}{? cm^3} \times 100 = 5,7\%$$

$$\frac{30g}{5,7\%} \times 100 = \mathbf{526,32cm^3}$$

Una vega obtingut aquest volum vam determinar quina era l'alçada a la que havia d'acabar tenint el producte dins el cristal·litzador.



Fotografia 29 – En aquesta fotografia observem el cristal·litzador del que parlàvem amb la marca inicial abans de començar la concentració (dalt) i la marca on acabarà la concentració (baix).

Finalment l'únic pas era posar el cristal·litzador dins el forn a 80°C i esperar a que l'aigua s'evaporés.



Fotografia 30 – En aquesta fotografia podem veure el forn a 80°C evaporant l'aigua de la dissolució

Aquest procés durava més de tres dies sencers així que per les següents vegades es va optar per utilitzar una safata de forn convencional enlloc del cristal·litzador de laboratori. Això es va fer degut a que aquesta safata disposava de més superfície i permetia evaporar l'aigua de la barreja amb més celeritat.

## RESULTAT

El resultat d'aquest assaig no va ser altre que una part imprescindible del procés de fabricació de les provetes, encara que el resultat final va ser el d'aconseguir unes nanofibres concentrades al 5,7% just.

## APLICACIÓ

A la construcció com a tal difícilment podem trobar una aplicació resultant d'aquest assaig.

## ASSAIG DEL NUMERO KAPPA

### INTRODUCCIÓ

Aquest assaig es far per determinar la quantitat de lignina d'una polpa de cel·lulosa. En que concretament el numero KAPPA es el volum de Permanganat consumit per la polpa seca.

### NORMATIVA

Aquest assaig està normalitzat per “*Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI)*”, concretament per el procés de condicions estàndard TAPPI T236 del 1999.

### PROCEDIMENT

Per a dur a terme l'experiment la Srta. Helena Oliver ja ens orienta a pressuposar que donarà un numero KAPPA 20, donat a que l'experiència en d'altres assaig com aquest que donarà un numero Kappa al voltant de 20, i per a aquest valor ens calen 1,2 grams de microfibra seca donat a que, si no hauríem d'anar a cegues i en funció del resultat de l'assaig hem gastat menys de 9 ml de tiosulfat sòdic, voldria dir que el KAPPA triat és massa alt, per tant n'hauríem de triar un de mes baix. D'altra banda si ens gasta molt de tiosulfat sòdic, voldrà dir que el capa escollit és massa baix.

A continuació s'adjunta la taula de la massa de pasta en funció del valor KAPPA:

Número KAPPA	Pes sec de pasta (g)
5	4,5
6	4,0
8	3,0
10	2,5
15	1,5
20	1,2
25	1,0
30	0,9
35 - 45	0,6
50 - 55	0,5
60 - 70	0,4
80 - 90	0,3
100	0,3

Taula 6 – Relació de pasta envers al numero KAPPA.

Per a saber la quantitat de pasta que s'ha obtingut de l'SPROUT WALDRON i que té una consistència de:  $c = 22,55$  % de g de microfibra seca, per això es dur a terme el següent càlcul per a que amb un numero KAPPA 20 en necessitem 1.2 g de pasta seca:

Per un Kappa de 20  $\Rightarrow$  1,2 g <sub>pasta seca</sub>

$$1.2 \text{ g}_{\text{pasta seca}} \times \frac{100}{22.55} = 5.37 \text{ g}_{\text{pasta a 22,55\%}}$$

Tot seguit es procedeix a barrejar la pasta amb 390 ml d'aigua destil·lada, tot i que nosaltres procedim a fer-ho amb dues tandes, una amb 200 ml d'aigua destil·lada als quals hi afegim els 5.37 g <sub>pasta a 22,55%</sub> i es passa per la liquadora de mà, per tal de que es dilueixi correctament, evoquem 190 ml d'aigua destil·lada de mes a fi de netejar la liquadora de mà i no perdre'n cap g d'aquesta pasta. S'ha de mirar de treure el màxim rendiment donat el llarg procés d'obtenció de la microfibra de cel·lulosa de Pi. Per finalitzar s'acaba de barreja la solució amb una vareta d'agitació.

El següent pas, és posar en un agitador magnètic i un cop està ben agitat i totalment dispers, hi incorporem 50 ml d'àcid sulfúric ( $\text{H}_2 \text{SO}_4$  2M) es deixa agitant-se i incorporem 50 ml de Permanganat ( $\text{K}_2\text{MnO}_4$ ) amb una pipeta. Un cop ha caigut la ultima gota de permanganat es posa un temporitzador en marxa fins a arribar a 10 min. Al cap de 4 o 5 min es pren la temperatura, donat que és una reacció exotèrmica, i questa en aquest moment ens dona 20,7 °C.

En el moment en que han passat els 10 min s'hi afegixen 10 ml de lodur Potassi que atura la reacció de l'àcid, en el últim tram de la reacció s'hi afegixen unes 3 o 4 gotes de midó, que n'és un indicador. En acabat s'omple una Bureta de tiosulfat sòdic ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) i s'avoca a la barreja a poc a poc, fins que d'un color marronós passa a color blanc, en que es determina amb exactitud quina quantitat de Tiosulfat se'n ha afegit

Aquest procés es s'hauria de repetir 3 vegades per tal de determinar una mitjana i que a nosaltres ens ha donat 10,4 ml de tiosulfat sòdic.

En acabat es procedeix a fer el càlcul del percentatge de polpa desintegrada en funció de la quantitat del tiosulfat sòdic que ha consumit i el numero KAPPA que ens ha donat amb la formula següent:

$$V_a = \frac{(V_1 - V_2) \cdot c}{0,1}$$

$$X_1 = \frac{V_a \cdot d}{m}$$

$$X_1 = \frac{V_a \cdot d}{m} [1 + 0.013 \cdot (25 - t)]$$

On:

$X_1$  és el numero KAPPA sense el factor de correcció de temperatura

$X_2$  és el número Kappa amb el factor de correcció de temperatura

$V_a$  és el volum de permanganat de potassi gastat en la determinació, en mil·lilitres

$V_1$  és el volum de tiosulfat de sodi gastat en el blanc, en mil·lilitres

$V_2$  és el volum de tiosulfat de sodi gastat en la determinació, en mil·lilitres

$c$  és la concentració de tiosulfat sòdic, expressat en mols per litre

$d$  és un factor de correcció dependent de  $V_a$

$m$  és la massa seca de pasta que hem posat

$t$  és la temperatura de la reacció, en graus Celsius

Factor de correcció  $d$  en funció de  $V_a$  (per Kappa 5 – 100):

Va mL	d									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,938	0,942	0,946	0,95	0,954	0,958	0,962	0,966	0,97	0,975
20	0,979	0,983	0,987	0,991	0,996	1	1,004	1,009	1,013	1,017
30	1,022	1,056								

Taula 7 – Taula de valors de  $d$  en funció de del volum de permanganat potàssic gastat.

## RESULTAT

$$V_a = \frac{(V_1 - V_2) \cdot c}{0,1}$$

$$V_a = \frac{(22,6 - 10) \cdot 0,189}{0,1} = 23,814$$

$$X_1 = \frac{V_a \cdot d}{m}$$

$$X_1 = \frac{23,814 \cdot 0,996}{1,2} = 19,77$$

$$X_2 = \frac{V_a \cdot d}{m} [1 + 0.013 \cdot (25 - t)]$$

$$X_2 = \frac{23,814 \cdot 0,996}{1,2} [1 + 0.013 \cdot (25 - 20,7)] = 20,87$$

Aquest resultat ens determina un numero KAPPA de 20,87 i que és molt proper al numero 20 de la taula i que per a un KAPPA de 20 havíem de fer l'assaig amb 1,2 g de pasta seca. Aquest fet ens determina tant el Numero KAPPA com la conformitat que es correcte.

### APLICACIÓ

A la construcció com a tal difícilment podem trobar una aplicació resultant d'aquest.

## ASSAIG DE SUPERFÍCIE ESPECIFICA

### INTRODUCCIÓ

Per tal de determinar la superfície específica de les CNF ( $\sigma_{CNF}$ ) prèviament cal determinar el CD i CC, i que un cop trobats aquets valors amb els diferents procediments químics amb una senzilla formula es troba la  $\sigma_{CNF}$ . A partir d'aquí amb la formula una altre formula es pot determinar el diàmetre. Aquestes formules estan extretes de l'article: Espinosa, E. Tarrés, Q. Delgado Aguilar, M. González, I. Mutjé, P. Rodríguez, A. (2016). Suitability of wheat straw semichemical pulp for the fabrication of lignocellulosic nanofibres and their application to papermaking slurries. *Springer Science+Business Media Dordrecht. Cellulose* (2016) 23:837–852. DOI: 10.1007/s10570-015-0807-8. L'article ens parla de com determinar la CD que ens determina quina quantitat de polímer catiònic queda adherit a la CNF, per altre banda per determinar la CC es mesura la quantitat de COOH (Grups de carboxils) en mmol per gr

### NORMATIVA

Per a aquests procediments químics se'ns ha facilitat una fitxa tècnica de procediment normalitzat de treball amb títol: BLAU DE METILÈ, del grup de recerca LEPAMAP, i que està protocol·litzat amb num: PNT-63.1LF-14. Aquest ens determina la CC.

S'adjunta a l'annex F el PNT-63.1LF-14.

Pel que fa a la CD no hem trobat cap normativa o procediment normalitzat, tot i que la tècnica de laboratori del LEPAMAP ens ha donat les indicacions del procés a seguir per determinar la demanda Catiònica.

### PROCEDIMENT

Per tal de determinar la superfície específica de les CNF cal obtenir 2 valors de assaigs diferents aplicats a les LCNF que tenim.

- 1r: Demanda Catiònica (CD)
- 2n: Taxa de Carboxils (CC)

Amb aquests dos indicatius es podrà fer una estimació de la superfície, i amb aquesta estimar que tindran les LCNF sense haver de fer un SEM (Scanning Electron Microscope) ja que es un procés car i que no podem dur a terme.

La formula per determinar la superfície és:

$$\sigma_{LCNF} = (CD - TC) \times \sigma_{DADMAC}$$



On el  $\sigma_{DADMAC}$  és:

$$\sigma_{DADMAC} = \frac{3224 \times 10^{23} nm^2}{662 \times 10^6 \mu eq} = 4,87 \times 10^{17} nm^2 / \mu eq$$

La formula per determinar el diàmetre és:

$$d_{LCNF} = \frac{4}{\sigma_{LCNF} m^2/g \times 1600 \times 10^3 g/m^3}$$

#### PROCÈS DE DETERMINACIÓ DE LA CD

Aquest procés determina la quantitat de Polímer catiònic (amb càrrega positiva), que en aquest cas és el PolyDADMAC ((C<sub>8</sub>H<sub>16</sub>NCl)<sub>n</sub>)

Per mesurar-la el que fem és adherir a les CNF un polímer catiònic, el polyDADMAC, del qual coneixem la seva concentració. S'utilitza un polímer positiu degut a que les CNF tenen densitat de càrrega negativa (Tant les mecàniques i enzimàtiques com les TEMPO), en el nostre cas fem el sistema mecànic per a obtenir-les.

D'aquest polímer, s'afegeix un volum (i per tant uns equivalents, és la paraula correcta, però com si fossin grams o unitats) conegut. El polímer i les CNF els deixem interaccionar i els fem precipitar mitjançant la tècnica de centrifugació. Aleshores, en l'aliquota (Part continguda un nombre de vegades), ens queda una quantitat de polyDADMAC que no s'ha adherit a les CNF perquè estava en excés. Aquest excés es valora mitjançant un altre polímer de concentració coneguda i de càrrega negativa, el Pes-Na. Mesurat l'excés, podem saber per una resta els equivalents que s'han adherit a les CNF, i mitjançant això, amb la mida del polímer i la mida de la cel·lulosa, es pot arribar a fer un càlcul de la superfície específica de les CNF.

Es dispersa una quantitat coneguda de CNF en un pot, se'n prepara un contra pes amb aigua per exigències de la centrifugadora, els quals posem a la centrifugadora a 1000 rpm durant 20 min a 21 °C. S'obté un precipitat es fa la demanda Catiónica que ens donarà la superfície en mol.

Donat que obtenim les CNF mecànicament a 3 pressions diferents en preparem 3 mostres i s'assagen les 3.

Per a l'assaig es precisen 0,20 g secs. Com els tenim dispersos en aigua hem de calcular quina quantitat de solució de les 3 necessitem.

$$Pes\ 1 = \frac{0,20265\ gr\ secs \times 100}{1,007\ gr\ moll} = 20,124\ gr\ solució\ a\ 300\ bar$$

$$Pes\ 2 = \frac{0,20261\ gr\ secs \times 100}{0,888\ gr\ moll} = 22,894\ gr\ solució\ a\ 600\ bar$$

$$Pes\ 3 = \frac{0,19230\ gr\ secs \times 100}{0,969\ gr\ moll} = 19,845\ gr\ solució\ a\ 900\ bar$$

S'enrasa fins a 70 ml d'aigua destil·lada, per altre banda es preparen uns contrapesos amb un pes igual de cada mostra per a col·locar en la posició oposada de la centrifugadora, això es per exigències de la centrifugadora. Es posa en funcionament la centrifugadora a 10000 rpm durant 20 min a una temperatura controlada de 21 °C per tal de que la solució del polímer, el polyDADMAC, que en queda en excés al no precipitar queda sobrenedant.

Ara es procedeix a agafar 10 ml del sobrenedant i es posen en el MÜTEK (Mesura els mV que travessen un una solució), ens dona una lectura. Ara es procedeix a afegir un polímer aniònic (Pes-Na) amb una micró-pipeta, això fa una reacció iònica i deixa la solució amb una tensió de 0 mV en el MÜTEK, es pren nota de la quantitat de Pes-Na que s'ha agut d'afegir fins a arribar a eliminar la tensió elèctrica. Un cop determinat això aplicant la formula extreta de l'article: Espinosa, E. Tarrés, Q. Delgado Aguilar, M. González, I. Mutjé, P. Rodríguez, A. (2016). Suitability of wheat straw semichemical pulp for the fabrication of lignocellulosic nanofibres and their application to papermaking slurries. *Springer Science+Business Media Dordrecht. Cellulose* (2016) 23:837–852.DOI: 10.1007/s10570-015-0807-8. Pàgina 840.

Fórmula de la CD:

$$CD = \frac{(C_{PolyD} \cdot V_{PolyD}) - (V_{Pes-Na} \cdot C_{Pes-Na})}{W_{Sample}} = \mu eq/g$$

En el nostre procediment com que nosaltres al precipitar fem 80 ml de PesNa en la solució i només en valorem 10 ml, és per això que en la part de la formula multipliquem per 8 el Volum del PesNa per extrapolar-ho a tota la solució.

La formula de la CD ara queda expressada així:

$$CD = \frac{(C_{PolyD} \cdot V_{PolyD}) - (8 \cdot V_{Pes-Na} \cdot C_{Pes-Na})}{W_{Sample}} = \mu eq/g$$

On:

- $C_{PolyD}$  és la concentració del polímer catiònic, g/L.
- $V_{PolyD}$  és el volum del polímer catiònic, mL.
- 8 és el factor de correcció de la valoració.
- $V_{Pes-Na}$  és el volum del polímer aniònic, mL.
- $C_{Pes-Na}$  és la concentració del polímer aniònic, g/L.
- $W_{Sample}$  és el pes sec de les nano fibres, g.

$$CD_1 = \frac{(1,07 \cdot 50) - (8 \cdot 2,3 \cdot 1,04)}{0,19229805} = 178,77017601 \mu eq/g$$

$$CD_2 = \frac{(1,07 \cdot 50) - (8 \cdot 2,2 \cdot 1,04)}{0,19229805} = 183,028377 \mu eq/g$$

La mitjana aritmètica de  $CD_1$  i  $CD_2$  és:

$$CD = \frac{178,77017601 + 183,028377}{2} = 180,86506686 \mu eq/g$$

Tot seguit s'adjunta una taula on es donen els càlculs fets, a més es determina el CD a 900 bars de pressió que s'ha obtingut:

CÀLCUL DE CD (Demanda Catiònica)							
	Concentració (g/l)		Pes seca agafar (g)		Volum Poly - Dadmac (ml)		Volum total
Poly-DADMAC	1,07		0,2		50		80
Pes-Na	1,04						

Mostra	Consistència (%)	Pes a agafar	Pes moll (g)	Pes sec (g)	Vol Pes-Na (ml)	ueq mostra	ueq/g	Mitja
<b>Pi cocció 300bars</b>	1,007	19,861	20,124	0,20264868	4,1	19,388	95,67296466	97,72577843
					4	20,22	99,77859219	
<b>Pi cocció 600bars</b>	0,885	22,599	22,894	0,2026119	3	28,54	140,8604332	142,9136196
					2,9	29,372	144,966806	
<b>Pi cocció 900bars</b>	0,969	20,640	19,845	0,19229805	2,3	34,364	178,7017601	180,8650686
					2,2	35,196	183,028377	

Taula 8 – Càlcul de CD.

Mostra	Consistència (%)	Pes a agafar	Pes moll (g)	Pes sec (g)	Vol Pes-Na (ml)	ueq mostra	ueq/g	Mitja
Pi cocció 300bars	1,007	19,861	20,124	0,20264868	4,1	19,388	95,67296466	97,72577843
					4	20,22	99,77859219	
Pi cocció 600bars	0,885	22,599	22,894	0,2026119	3	28,54	140,8604332	142,9136196
					2,9	29,372	144,966806	
Pi cocció 900bars	0,969	20,640	19,845	0,19229805	2,3	34,364	178,7017601	180,8650686
					2,2	35,196	183,028377	

## PROCÈS DE DETERMINACIÓ DE LA CC

L'objectiu és determinar la quantitat de mmols d'àcid carboxílic per cada gram de cel·lulosa en una pasta que ha estat prèviament oxidada.

Per determinar aquesta proporció en breus trets és mesurar la diferència d'absorbància de l'UV (Ultra Violats) de 4 diferents mostres en concentracions diferents i amb un pH concret per tal de determinar una recta de regressió, en que amb l'absorbància de la mostra, se'n determina la concentració i de retruc la quantitat de Blau de metilè que ha absorbit la mostra. Finalment es determina el CC amb la següent equació:

$$COOH(mmols/gr) = \frac{(7,5 - X) \cdot 0.00313}{W}$$

On:

X és la quantitat no absorbida de blau de metilè (mg)

W és el pes sec de la mostra (mg)

Per al procediment

- 2.1. Pesar entre 10-15 mg secs de pasta problema.
- 2.2. Addicionar 25 ml d'una dissolució de blau de metilè (300 mg en 1 litre)
- 2.3. Afegir 25 ml d'una dissolució buffer de borat a pH=8,5. (per obtenir-la, es prepara una dissolució 1 M d'àcid bòric i s'ajusta amb NaOH fins a pH 8,5.).
- 2.4. Seguidament, agitar la mostra durant una hora.
- 2.5. Procedir a l'elaboració dels patrons. Es preparen 4 patrons de 25 ml cadascun, de concentració 12 mg/l, 9 mg/l, 6 mg/l i de 3 mg/l. En la preparació dels patrons agafar la quantitat necessària de la dissolució mare de blau de metilè i addicionar 25 ml de dissolució buffer de borat i enrasar amb aigua destil·lada.
- 2.6. Deixar reposar la mostra 1 hora.
- 2.7. Centrifugar la mostra a 10000 rpm durant 20 minuts.
- 2.8. Agafar 2 ml de sobrenedant i travessar-los a un matràs de 25 ml.
- 2.9. Addicionen 2,5 ml de HCl 0,1 M i s'enrasa amb aigua destil·lada.

2.10. Un cop tenim els patrons i la mostra preparada, es procedeix a la mesura de l'absorbència l'UV- visible Recording Spectrophotometer model Shimadzu UV-160<sup>a</sup> (del laboratori del 2n pis d'EQATA).

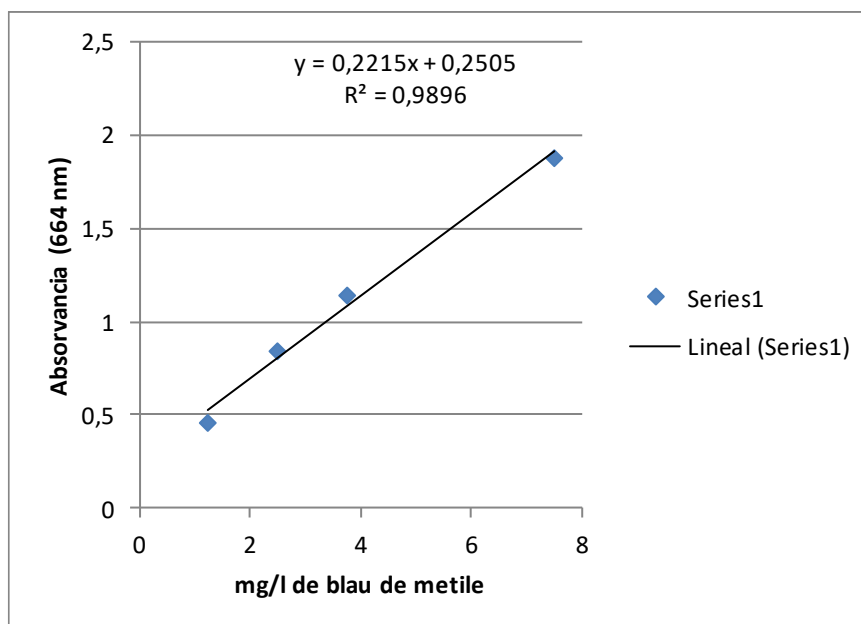
2.11. Mesurar a una longitud d'ona fixe de 664 nm.

2.12. Utilitzar aigua destil·lada com a blanc. Per cada mostra o patró es fan tres mesures de l'absorbència.

2.13. Un cop s'ha realitzat les mesures s'obté la següent taula:

Blau de metilè mg/l	Absorbància
7,50	1,88
3,75	1,139
2,50	0,849
1,25	0,457

2.14. Construir la recta que relaciona la concentració dels patrons amb les seves corresponents absorbàncies i es genera la recta que passa per aquests 4 punts.



2.15. Calcular la quantitat de mmols d'àcid que hi ha en la mostra a partir de l'anterior recta i de l'absorbència de la mostra.



$$y = 0,2215x + 0,2505 \implies x = \frac{y - 0,2505}{0,2215}$$

2.16. Calcular la concentració de la mostra, sabent que té una absorbància de 0,259.

$$x = \frac{y - 0,2505}{0,2215} = \frac{0,259 - 0,2505}{0,2215} = 0,038 \text{ mg/l}$$

2.17. Calcular la quantitat de blau de metilè que no ha estat adsorbit a partir de la concentració.

$$25 \text{ ml} \frac{0,038 \text{ mg}}{1000 \text{ ml}} \cdot \frac{50 \text{ ml}}{2} = 0,024 \text{ mg/l}$$

2.18. Finalment determinar la quantitat de grups carboxílics amb la següent equació:

$$COOH \text{ (mmol/gr)} = \frac{(7,5 - X) \cdot 0,00313}{W}$$

On:

- X és la quantitat no absorbida de blau de metilè (mg)
- W és el pes sec de la mostra (mg)

$$COOH \text{ (mmol/gr)} = \frac{(7,5 - 0,024) \cdot 0,00313}{0,501} = 0,0467 \text{ mmol/gr}$$

$$COOH \text{ (}\mu\text{eq/gr)} = 0,0467 \text{ mmol/gr} \cdot 1000 \mu\text{eq/mmol} = 46,71232216 \mu\text{eq/gr}$$

Tot seguit s'adjunten els càlculs fets en un full de càlcul i s'expressen en aquesta taula. A la taula hi han els resultats de les mateixes CNF però blanquejades amb mitja etapa y una etapa. Aquest procés no s'explica donat que s'ha treballat amb CNF sense blanquejar.

CÀLCUL DE CC (Tàxa de Carboxils)						
Absorbància	Absorbància	mitjana	Concetració mostra (mg/l)	Quantitat blau de metilè no absorbit (mg)	COOH (mmol/g)	ueq/g
0,26	0,259	0,259	0,037	0,023	0,047	46,712
0,24	0,24	0,240	-0,049	-0,031	0,047	47,047
0,328	0,328	0,328	0,348	0,218	0,046	45,587

Taula 9 – Càlcul de CC.

Un cop tenim els resultats de CD i CC apliquem la formula per trobar la superfície ja explicada anteriorment.

On els valors son:  $180,8650686 \mu\text{eq}/g$

- $CD=180,8650686 \mu\text{eq}/g$
- $CC=46,71232216 \mu\text{eq}/g$
- $\sigma_{DADMAC}=\text{nm}^2/\mu\text{eq}$

La formula per determinar la superfície és:

$$\sigma_{LCNF} = (CD - CC) \times \sigma_{DADMAC}$$

$$\sigma_{LCNF} = (180,8650686 \mu\text{eq}/g - 46,71232216 \mu\text{eq}/g) \times 4,87 \times 10^{17} \text{nm}^2/\mu\text{eq}$$

$$\sigma_{LCNF} = 6,53324 \times 10^{19} \text{nm}^2/g \times \frac{1 \text{m}^2}{10^{18}\text{nm}^2}$$

$$\sigma_{LCNF} = 65,3324 \text{m}^2/g$$

Aquesta superfície per a cada gram és molt elevada i ens indica que el ciment CEM 1 te molta àrea a la qual es podrà adherir.

Ara apliquem la formula per determinar el diàmetre és:

$$d_{LCNF} = \frac{4}{\sigma_{LCNF} \text{m}^2/g \times 1600 \times 10^3 \text{g}/\text{m}^3}$$

$$d_{LCNF} = \frac{4}{65,3324 \text{m}^2/g \times 1600 \times 10^3 \text{g}/\text{m}^3}$$

$$d_{LCNF} = 3,82659 \times 10^{-8} \text{m} \times \frac{10^9 \text{nm}}{1 \text{m}}$$

$$d_{LCNF} = 38,2659 \text{nm}$$

### APLICACIÓ

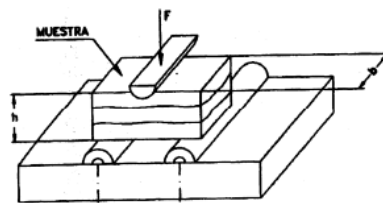
A la construcció com a tal difícilment podem trobar una aplicació resultant d'aquest.

## ASSAIG DE FLEXIÓ

### INTRODUCCIÓ

Aquest és l'assaig que podríem definir com a més important d'aquest projecte, això és degut a la característica que ens resol. Una de les millores que més és pretén millorar amb aquesta adhesió de nanofibra al ciment és la de flexió.

L'assaig de resistència a flexió realitzat ha estat el de tres punts, s'han utilitzat diferents formats de provetes inicialment per veure la diferència dels resultats obtinguts. Tots han estat amb provetes en forma de barra amb secció rectangular amb el següent esquema de trencament.



En el punt d'aplicació de la càrrega, la superfície superior està sotmesa a un estat de compressió mentre que a la superfície inferior està sotmesa a la tracció.

Per al càlcul de la resistència a flexió una vegada obtinguts els resultats ens basarem en la fórmula:

$$W = \frac{3}{2} \times \frac{F \times L}{b \times h^2}$$

On:  $W$  = resistència màxima a flexió (N/mm<sup>2</sup> o MPa)

$F$  = Càrrega màxima aplicada a la proveta (N)

$L$  = Distància entre eixos inferiors (mm)

$b$  = amplada de la proveta (mm)

$h$  = gruix de la proveta (mm)

### NORMATIVA

La normativa a aplicar en quant al procediment del propi assaig és la que regula la UNE EN 196-1 del novembre de 2005 "Mètodes d'assaig de ciments - Part 1: *Determinació de resistències mecàniques*". Aquesta norma és la versió oficial, en espanyol, de la Norma Europea EN 196-1 de febrer de 2005.

És una normativa que compren la determinació de resistències a compressió i a flexió de provetes prismàtiques de dimensions 40x40x160mm. Tot i així s'aplicarà per als diferents formats assajats. Aquesta norma defineix els següents punts:

- Laboratori i equip a utilitzar
- Components del morter
- Preparació del morter
- Preparació de les provetes d'assaig
- Condicionament de les provetes
- Procediment d'assaig
- Resultats

Tot i que el nostre material en particular és força diferent que el propi morter, degut a que no hi afegim sorra, sinó nanofibres. Hem seguit al màxim possible cada un d'aquests punts definits en aquesta normativa. Ben cert és que s'han modificat alguns aspectes com, el mètode de barreig, els motlles, dimensió, la quantia d'aigua a barrejar...

### PROCEDIMENT

Aquesta següent descripció del procediment d'assaig és la que marca la norma UNE-EN 196-1, es descriu exactament igual tret dels processos que han pogut diferenciar el procediment executat durant el transcurs d'aquest projecte.



Fotografia 31 – Premsa trencant a flexió

Es col·loca el prisma a la màquina d'assaig, amb una cara lateral sobre els rodets de suport i amb el seu eix longitudinal normal al propis suports. S'aplica la càrrega verticalment mitjançant el rodet de càrrega sobre la cara lateral oposada del prisma i s'augmenta aquesta d'una manera uniforme, a una velocitat de 10 N/s fins a la ruptura de la mostra.

## RESULTAT

Després de l'estudi de tots els resultats fets a les diferents dosificacions podem determinar varies conclusions:

En primer lloc hem pogut constatar que la dosificació aigua – ciment és molt clau en les barreges. És a dir, que una quantitat d'aigua inferior a 0,25 parts de ciment resulta ser perjudicial per a l'amalgama, això ho hem pogut demostrar en el moment en que el resultat de la resistència a flexió de les provetes de control ha estat de 12,83N/mm<sup>2</sup> i amb les provetes amb un 0,50% de nanofibra que contenen un total 0,23 parts d'aigua per cada part de ciment hem obtingut un resultat de 11,60N/mm<sup>2</sup>. Aquest últim resultat és inferior al de les de control per tant podem concloure que ha estat per culpa de la manca d'hidratació de les mostres.

En segon lloc també hem pogut constatar que una alta dosificació d'aigua també és perjudicial per les provetes en quant a resistència mecànica a flexió. Això ho hem pogut observar amb els resultats obtinguts en la barreja de 1,81% de nanofibra i 1 part d'aigua per cada part de ciment. Això ha estat el causant de resultar una resistència a flexió de 6,77N/mm<sup>2</sup>, essent molt inferior al resultat de 12,83N/mm<sup>2</sup> de les provetes de control.

En tercer lloc hem pogut constatar que aquestes mateixes provetes amb un 1,81% de nanofibra a l'amalgama, si els hi afegíem una quantitat d'aigua de 0,3 parts per cada part de ciment exactament com s'ha fet a les de control. Els resultats tampoc acabaven sortint del tot profitosos degut a que en contra de la teoria eren inferiors als de les provetes amb només un 1,50% . Concretament una resistència de 11,31N/mm<sup>2</sup> en contra dels 15,21N/mm<sup>2</sup>.

Finalment, el resultat d'aquest assaig és la conseqüència de dos resolucions, de les provetes denominades com a "de control" i les provetes amb una dosificació de nanofibra del 1,5%. D'aquesta manera s'ha pogut realitzar una comparativa de la resistència a flexió del ciment CEM-I sense cap additiu i de la resistència a flexió del mateix ciment amb un 1,50% de nanofibra mesclada.

S'ha escollit la dosificació del 1,50% degut a la regularitat del resultat obtingut en aquest assaig i a la semblança de trencament amb la proveta control. També ha resolt l'assaig com a proveta amb més resistència a flexió.

Aquestes provetes amb una dosificació de 1,50% han obtingut una resistència de 15,21N/mm<sup>2</sup> i les provetes de control una de 12,95N/mm<sup>2</sup>. Per ser més precisos en els resultats faria falta comentar que les provetes amb un 1;00% de nanofibra ja han estat capaces d'obtenir una resistència de 14,26N/mm<sup>2</sup> estant també molt per sobre de les de control.

PROVETES	RESISTÈNCIA A FLEXIÓ
Control	12,95 N/mm <sup>2</sup>
1,00% de nanofibra	14,26 N/mm <sup>2</sup>
1,50% de nanofibra	15,21 N/mm <sup>2</sup>

Finalment només faltaria afegir que per a posteriors investigacions seria convenient analitzar uns percentatges més elevats de nanofibra, per sobre del 1,50%, però mai superant la sobre hidratació del material. Aquesta fita serà prou difícil degut a la necessitat d'hidratació de la nanofibra durant el seu estat neutre. Cert és també que caldria obrir un altre front d'investigació de la reacció de les nanofibres en provetes de ciment de manera estratificada, és a dir, la dispersió de nanofibra aconseguida en aquestes provetes és molt irregular i per tant es podria realitzar alguna mecanització de provetes realitzant estrats de nanofibra a l'interior de la proveta, quedant així molt més distribuïda al llarg d'aquesta.



Fotografia 32 – Conjunt de provetes ja trencades a flexió



En el final d'aquest projecte, concretament a l'annex D d'aquest projecte podrem trobar totes les taules i gràfiques resum de la totalitat de resultats obtinguts en quant als assajos de resistència a flexió.

### APLICACIÓ

L'aplicació d'aquest material a la construcció en quant a l'assaig de flexió seria totalment estructural. Clarament s'observa una millora de la resistència i per tant es podrien afegir nanofibres als elements estructurals d'una edificació per tal de millorar-ne les propietats.

Per altra banda hi trobaríem només una dificultat, aquesta es resumiria en el fet de que la fabricació de nanofibra és llarga i costosa. A no ser que es trobés un altre mètode de fabricació seria molt dispendiosa la seva comercialització. També cal esmenar la dificultat de dispersió de les nanofibres i a la vegada la dificultat de la logística d'aquestes ja que només es podrien comercialitzar en estat líquid i les barreges s'haurien de fer sempre in-situ amb el que això comporta.

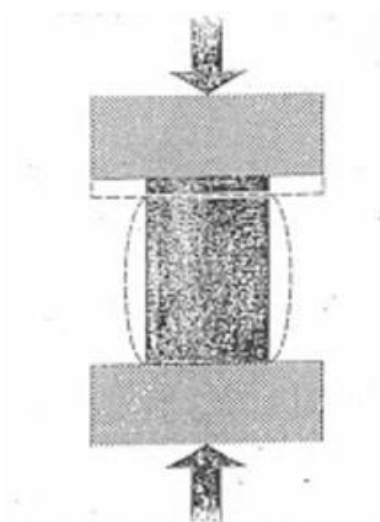
## ASSAIG DE COMPRESSIÓ

### INTRODUCCIÓ

L'assaig de compressió ha representat una de les grans dedicacions d'aquest projecte, tot i que ja s'ha comentat amb anterioritat que el de flexió seria un dels més importants paral·lelament aquest de compressió ens mostra com desmillora una proveta quan més millora en quant a flexió. Resumint, quina influència tenen les CNF sobre la resistència a compressió.

Cal esmenar abans d'entrar en matèria, en quant a l'assaig de compressió en concret, que les provetes de control assajades han estat només de dimensions 4x4cm. Per tant, s'ha extrapolat aquest resultat de N/mm<sup>2</sup> com si fossin de 1x1cm.

Un assaig de compressió consisteix en aplicar un càrrega axial de compressió gradualment i de manera creixent a una proveta fins que es fracturi. La proveta es comprimeix i es registra la deformació d'aquesta amb les diferents càrregues aplicades. L'esforç i la deformació es calculen i es tracen en forma de diagrama càrrega-deformació.



Per al càlcul de la resistència a compressió una vegada obtinguts els resultats ens basarem en la fórmula:

$$W = \frac{F}{a \times b}$$

On:  $W$  = resistència màxima a compressió (N/mm<sup>2</sup> o MPa)

$F$  = Càrrega màxima aplicada a la proveta (N)

$a$  = amplada de la proveta (mm)

$b$  = allargada de la proveta (mm)

## NORMATIVA

La normativa a aplicar en quant al procediment del propi assaig és la que regula la UNE EN 196-1 del novembre de 2005 “Mètodes d’assaig de ciments - Part 1: *Determinació de resistències mecàniques*.”. Aquesta norma és la versió oficial, en espanyol, de la Norma Europea EN 196-1 de febrer de 2005.

És una normativa que compren la determinació de resistències a compressió i a flexió de provetes prismàtiques de dimensions 40x40x160mm. Tot i així s’aplicarà per als diferents formats assajats. Aquesta norma defineix els següents punts:

- Laboratori i equip a utilitzar
- Components del morter
- Preparació del morter
- Preparació de les provetes d’assaig
- Condicionament de les provetes
- Procediment d’assaig
- Resultats

Tot i que el nostre material en particular és força diferent que el propi morter, degut a que no hi afegim sorra, sinó nanofibres. Hem seguit al màxim possible cada un d’aquests punts definits en aquesta normativa. Ben cert és que s’han modificat alguns aspectes com, el mètode de barreig, els motlles, dimensió, la quantia d’aigua a barrejar...

## PROCEDIMENT

Aquesta següent descripció del procediment d’assaig és la que marca la norma UNE-EN 196-1, es descriu exactament igual tret dels processos que han pogut diferenciar el procediment executat durant el transcurs d’aquest projecte.

Es col·loca el prisma a la màquina d’assaig, amb una cara lateral sobre els rodets de suport i amb el seu eix longitudinal normal al propis suports. S’aplica la càrrega verticalment mitjançant el rodet de càrrega sobre la cara lateral oposada del prisma i s’augmenta aquesta d’una manera uniforme, a una velocitat de 10 N/s fins a la ruptura de la mostra.

## RESULTAT

Una vegada més els diferents resultats de resistència a compressió obtinguts pertanyents a les múltiples dosificacions fabricades ens han portat a varies conclusions.

En primer lloc i una vegada més hem pogut determinar que amb els assajos a compressió també n'és molt clau la relació aigua – ciment. De nou haver assajat provetes amb una quantia d'aigua del 100% del pes del ciment ens "ha passat factura". La dosificació de 1,81% de nanofibra s'ha realitzar de nou amb dues variants, amb una relació 1:1 i amb una relació 1:0,3, afegint a aquesta última fins a un 8% de fluidificant. S'ha pogut observar que la de 1 va obtenir una resistència de 99,19 N/mm<sup>2</sup> mentre que la de 0,3 una de 137,75 N/mm<sup>2</sup>. Òbviament ambdós resultats estan per sota dels 162,79 N/mm<sup>2</sup> obtinguts de les de control, el primer degut a la gran quantitat d'aigua és molt inferior i el segon, tot i tenir la mateixa quantia d'aigua, degut a la pertinença de gran suma de nanofibra, cosa que més en davant definirem que empitjora les propietats mecàniques a compressió.

En segon lloc, en quant al total d'aigua insuficient a les provetes no tindriem res a objectar degut a que la disminució de capacitat de resistència a compressió ha anat en funció de la quantitat de nanofibra, a més nanofibra menys resistència. Per tant no podríem determinar si aquesta dosificació amb 0,23 parts d'aigua per cada part sencera de ciment i amb un 0,5% de CNF, ha donat 141,08 N/mm<sup>2</sup> per la baixa dosificació d'aigua o de nanofibra



Fotografia 33 – Trencament de proveta a compressió

Finalment podem constatar que si haguéssim de donar un resultat únic d'aquest assaig tant complert seria determinant. Que l'additiu de CNF al ciment resulta contraproduent comprensivament parlant. Hem pogut observar amb aquestes resistència mitjanes a 28 dies de curat que a mesura es va augmentant la dosificació de nanofibra i treballant amb unes relacions d'aigua – ciment raonables, la resistència a compressió va disminuint notòriament.

Seguidament s'adjunta la taula resum dels resultats obtinguts a mode de mitjana aritmètica per tal de poder mostrar numèricament aquesta pèrdua de resistència relacionada amb l'augment de nanofibra.

<b>PROVETES</b>	<b>RESISTÈNCIA A COMPRESSIÓ</b>
Control	162,79 N/mm <sup>2</sup>
0,5% de nanofibra	141,08 N/mm <sup>2</sup>
1,00% de nanofibra	115,47 N/mm <sup>2</sup>
1,50% de nanofibra	104,74 N/mm <sup>2</sup>
1,81% de nanofibra	99,19 N/mm <sup>2</sup>

#### APLICACIÓ

Fundat a que la interpretació dels resultats obtinguts no han estat en cap cas de millora de les propietats mecàniques de compressió diríem que l'aplicació d'aquest material amb la construcció no seria apropiada. Compressivament parlant.

## ASSAIG FÍSIC

### INTRODUCCIÓ

#### Densitat aparent

La densitat és una magnitud escalar referida a la quantia de massa que es troba ne un determinat volum d'un cos / substància. En quan a la densitat aparent és aquella magnitud que s'aplica als materials de constitució heterogènia, com seria el nostre cas de ciment amb nanofibra, també és cert i cal esmenar per tant que el nostre material també conté aire.

Amb aquest assaig es pretén aconseguir trobar la quantitat d'espais buits que hi ha dins de les provetes segons les diferents dosificacions. Es farà el comparatiu entre les que contenen alguna part de nanofibra i les que són de control.

Per tal de poder realitzar aquest assaig s'utilitza una balança hidrostàtica, un aparell que treballa mitjançant el principi d'Arquímedes, el qual determina les masses i els volums d'objectes.

### NORMATIVA

Per a la realització d'aquest assaig s'ha seguit la regularització de la normativa UNE EN 1015-10 de l'agost de 1999 que fa referència a la metodologia d'assaig dels morter per a la Paleteria, en concret, aquesta part 10 regula la "Determinació de la densitat aparent en sec d'un morter endurit. Està editada amb data 28-03/2000 i confirmada en data 28-03-2014

Val a dir que aquesta norma contempla la utilització de provetes de dimensions 40x40x160mm i en aquest projecte s'ha adaptat per a les nostres provetes de 10x10x70mm

### PROCEDIMENT

#### Procediment manual

S'han utilitzat les mateixes provetes que posteriorment han servit per a l'assaig de durabilitat, en concret, s'ha aprofitat el primer cicle. Són necessaris varis aparells com una estufa, un recipient amb aigua, una bàscula i finalment una bàscula hidrostàtica.

Inicialment es col·loquen les provetes a l'estufa a una temperatura de 60°C durant almenys dues hores per tal d'assegurar l'eliminació per evaporació d'aquests components orgànics com la pròpia aigua. Una vegada s'han extret per primera vegada es pesen, més o menys s'han de deixar uns 15 minuts d'interval, tot seguit es repeteix aquest procediment de manera que la diferència de pes no pot sobrepassar més del 0,2%. En el cas de que aquest pro no es complís s'hauria de repetir

el procediment una vegada més i tantes com facin falta per no passar mai entre una i la següent d'aquest percentatge. Finalment doncs aquest procés acaba amb un valor en grams d'aquesta massa seca de les diferents provetes assajades.



Fotografia 34 – En aquesta fotografia veiem algunes d'elles provetes dins el forn a una temperatura de 60°C

El segon pas d'aquest assaig és el de submergir les provetes en aigua fins que quedin totalment negades d'aquesta manera totes les cares de les provetes estan en contacte amb l'aigua i els hi permet absorbir al màxim d'aigua possible. Una vegada més i amb un interval de també 15 minuts s'aniran pesant fins que la diferència de pes d'entre unes i les altres mai sobre passi aquest mateix 0,2% de pes. És important eliminar l'excés d'aigua que es pugui acumular a les diferents cares de les provetes mitjançant un drap humit. També s'acaba amb aquest procediment en el moment en que tenim un valor en grams d'aquesta massa saturada de cada una de les diferents provetes.





Fotografia 35 – Bàscula hidrostàtica

La última part d'aquest assaig és la determinació de la massa immersa mitjançant la balança hidrostàtica. A continuació i ja per acabar captarem els resultats i passarem a calcular.

#### Procediment de càlcul

Per a la realització del càlcul de la densitat aparent s'han de realitzar els següents passos.

1. Determinació del volum de la proveta a assajar amb la següent fórmula:

$$V = \frac{m_{sat} - m_{im}}{\rho}$$

On:

V = volum

$m_{sat}$  = massa saturada

$m_{im}$  = massa immersa

$\rho$  = densitat de l'aigua



2. Seguidament es determina la densitat aparent mitjançant la següent fórmula:

$$\rho_a = \frac{m_{sec}}{V}$$

On:

$\rho_a$  = densitat aparent

$m_{sec}$  = massa seca

V = volum

### RESULTAT

Totes les següents dades no són comparatives entre si, encara, degut a la impossibilitat de treballar només amb cinc unitats de provetes exactament iguals en quant a dimensions. Les dades dels següents càlculs només seran comparables quan finalment n'extraïem la densitat aparent.

PROVETA	MASSA SECA (g)
PB	14,234
P - 0,50%	12,724
P - 1,00%	11,535
P - 1,50%	12,034
P - 1,81%	13,060

Taula 10 – Taula de resultats de les provetes sortides del forn a 60°C

PROVETA	MASSA SATURADA (g)
PB	15,474
P - 0,50%	14,741
P - 1,00%	13,869
P - 1,50%	14,017
P - 1,81%	14,951

Taula 11 – Taula de resultats de les provetes sortides d'immersió

PROVETA	MASSA IMMERSA (g)
PB	8,220
P - 0,50%	7,570
P - 1,00%	6,849
P - 1,50%	6,637
P - 1,81%	7,039

Taula 12 – Taula de resultats de provetes immerses a la bàscula

A continuació s'adjunta la taula de volums d'aquestes provetes on s'han relacionat les dades anteriors amb la fórmula del volum comentada anteriorment. A la mateixa taula també s'hi

troba una columna amb els percentatges d'espais buits que hi podem trobar dins les provetes. Utilitzant el volum de 1x1x7 cm que seria el teòric n'hem pogut extreure aquest valor.

S'ha utilitzat un valor de densitat de l'aigua de 1g/cm<sup>3</sup>

PROVETA	VOLUM cm <sup>3</sup>	Buits %
PB	7,254	3,50
P - 0,50%	7,171	2,38
P - 1,00%	7,020	0,28
P - 1,50%	7,380	5,15
P - 1,81%	7,912	11,53

Taula 13 – Taula de resultat de volum mitjançant les masses i densitat de l'aigua

PROVETA	Densitat aparent (g/cm <sup>3</sup> )
PB	1,962
P - 0,50%	1,774
P - 1,00%	1,643
P - 1,50%	1,631
P - 1,81%	1,651

Taula 14 – Taula resultat densitat aparent

Com a resultat d'aquest assaig hauríem de dir que no ha estat del tot cuarent degut a que no ens ha resultat una regressió lineal, en canvi la quantitat de nanofibra si és lineal. Aquesta determinació l'atribuïm al fet de que la diferència és tant irrisòria degut a que el percentatge de nanofibra adherida a l'amalgama és tant ínfim que resulta impossible de detectar mitjançant un assaig tant poc precís com el de la densitat aparent.

## APLICACIÓ

A la construcció com a tal difícilment podem trobar una aplicació resultant d'aquest assaig.

## ASSAIG DE MICROSCOPIA

### INTRODUCCIÓ

Aquest assaig de microscòpia s'ha realitzat mitjançant un microscopi el electrònic de transmissió. És un aparell que permet fer observacions de la matèria convenient a nivells molt més petits que la microscòpia òptica. La diferència entre la microscòpia elèctrica i òptica és senzillament que l'elèctrica utilitza electrons mentre que la òptica utilitza fotons.

Aquests partícules d'electrons es comporten de manera dual, és a dir, fan dues funcions actuen com a partícula i a la vegada com a ona. Aquesta ona electromagnètica es forma de manera molt més petita en quant a longitud comparat amb els fotons. Aquest fet ens permet obtenir una major resolució de les imatges resultants.

Les imatges que s'obtenen en un microscopi d'aquestes característiques són gràcies a un flux d'aquests electrons d'entre 5 i 30 KeV. Aquest flux invisible per l'ull humà es desplaça sobre la mostra realitzant un escombrat en els dos eixos X i Y. Aquesta emissió que faciliten depèn principalment del número atòmic de la mostra a analitzar. Això implica que si la mostra conté diferents parts amb diferents masses tindran una revelació amb diferents intensitats.

### NORMATIVA

Aquest procediment d'assaig no disposa de cap normativa específica que el regularitzi de manera específica, el que sí és imprescindible utilitzar és un procés específic que descrivim a continuació.

### PROCEDIMENT

El primer pas és el de la preparació de les mostres a analitzar. Hi ha uns suports especials de superfície circular on es col·loquen les mostres. Aquestes han d'estar convenientment adherides al propi suport, s'utilitza un adhesiu conductor per mantenir la mostra fixada al suport.

Seguidament s'ha de passar al recobriment de les mostres on aquest procediment es pot realitzar a baix buit o a alt buit.

El nostre recobriment s'ha realitzat a baix buit per fil de carboni per realitzar un microanàlisi per rajos X.

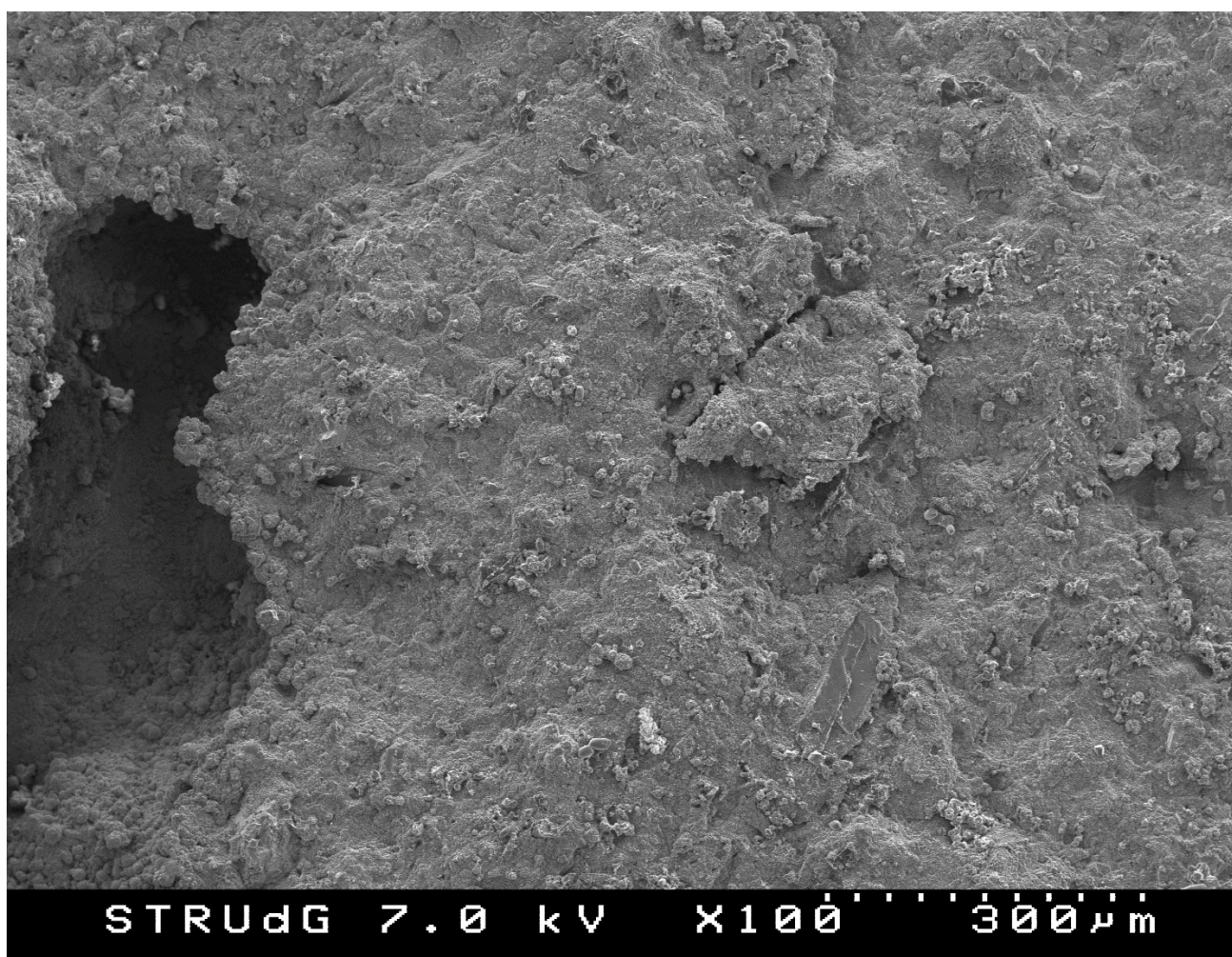


Fotografia 36 – Exemple de microscopi electrònic

## RESULTAT

En aquest apartat hi trobarem només un petit exemple de totes les fotografies obtingudes, seguidament a l'annex I hi trobarem les demés fotografies resultants de l'assaig no tant conclouents. Més en concret i tot hi haver fet anàlisi de totes les dosificacions només parlarem de la dosificació amb un 1,5% de nanofibra ja que aquesta és la proveta amb més bons resultats en la totalitat d'assajos i a la vegada de la que n'hem obtingut millors fotografies en les diferents escales resultants.

Totes les següents imatges han estat bloquejades en quant al que l'aspecte de dimensió es refereix per tal de no modificar l'escala d'aquestes.

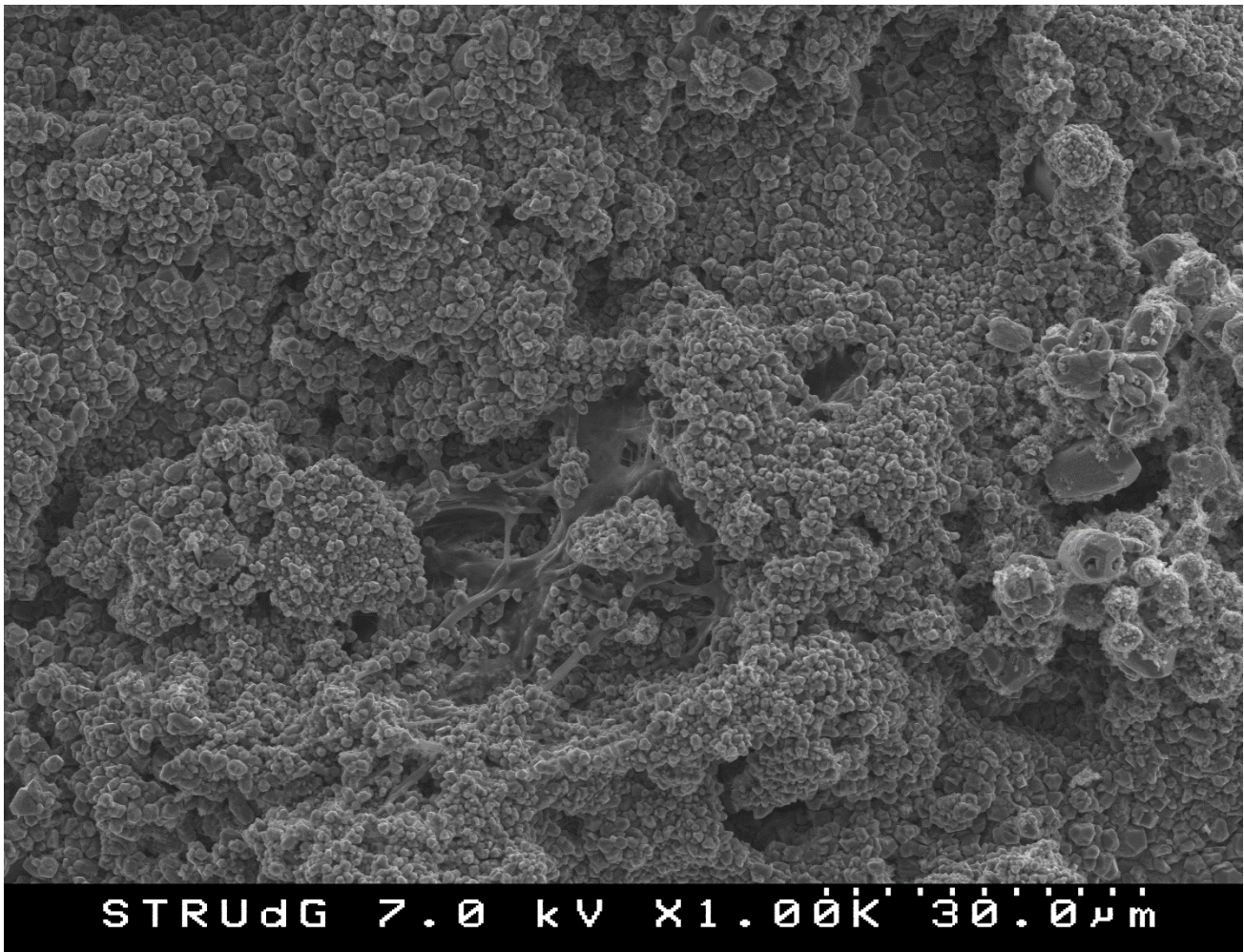


Fotografia 37 – Imatge a escala de 300 micres de proveta amb un 1,5% de nanofibra

Aquesta fotografia 37 és la primera imatge obtinguda a una ampliació d'escala de 300 micres, és el menor augment obtingut i en el qual hi podem observar com a curiositat l'aparició d'un cràter, aquests sí és visible a simple vista. Això és degut a que les mostres emprades eren les resultants d'un assaig a flexió i per tant han petit algun despreniment superficial per la força dels mateixos esforços mecànics patits. Aquests mateixos esforços també ens han deixat una zona més



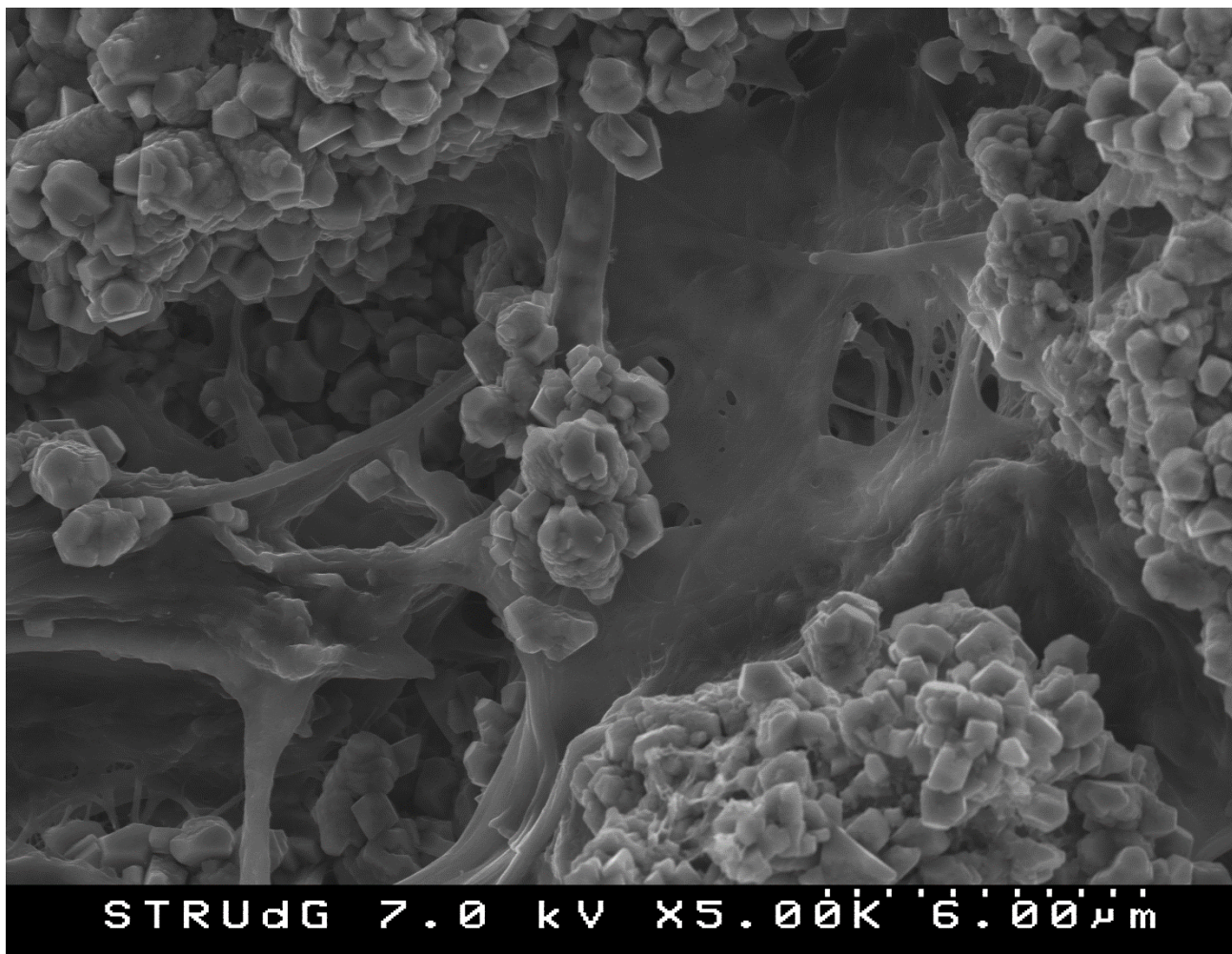
centrada a la fotografia que es veu més després de la superfície. Finalment, d'aquesta fotografia no en podríem dir gaire res més degut a que no entra en detall de res més que no sigui veure'n el ciment ben cohesionat entre sí.



*Fotografia 38 – Imatge a escala de 30 micres de proveta amb un 1,5% de nanofibra*

Amb aquesta fotografia 38 és un augment a escala de 30 micres de la fotografia anterior a 300 micres. Ja es poden començar a identificar aquells granets de pols que s'aixequen en el moment en que treballem amb el ciment abans de realitzar qualsevol treball, serien aquestes petites boletes que s'agrupen entre sí per formar-ne d'altres de més dimensió. Són cristalls de ciment i així els anomenarem a partir d'ara.

També podem observar en el centre de la imatge una massa enganxosa en forma de tela d'aranya. L'identifiquem per primera vegada com a la nanofibra que s'ha utilitzat. Queda representada en forma de tel degut a la manca de dispersió d'aquestes durant el procés de fabricació de les provetes. És una imatge representativa per tal de poder veure gràficament com un 1,5% de nanofibra en pes respecte al ciment acaba essent molt més en quant a percentatge respecte al ciment si de volum o superfície ens referíssim.

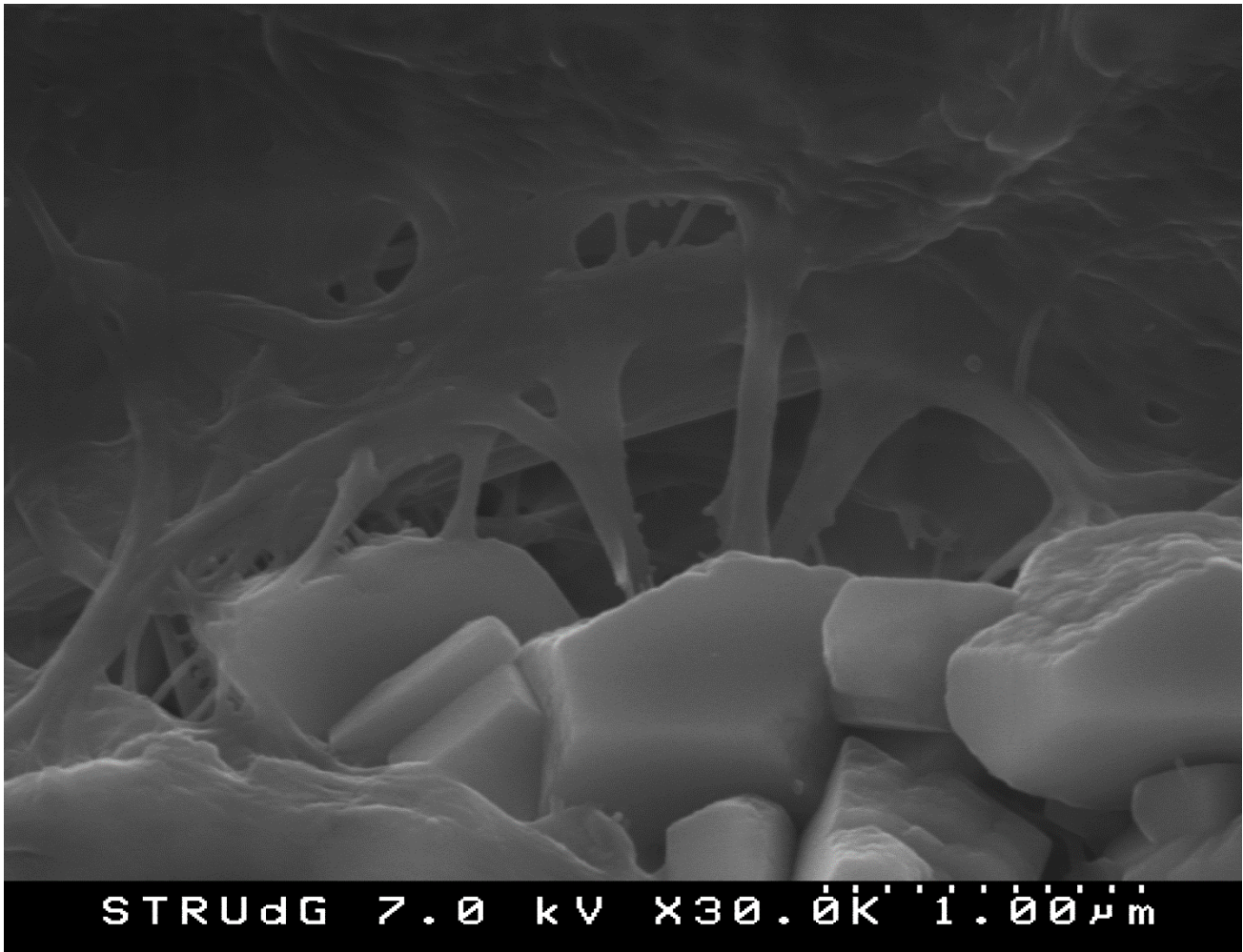


Fotografia 39 – Imatge a escala de 6 micres de proveta amb un 1,5% de nanofibra

Aquesta fotografia 39 és el resultat d'augmentar l'anterior proveta fins a obtenir-ne una escala de 6 micres. Ens resulta una imatge poc representativa en quant a la dispersió de la nanofibra amb el propi ciment però a la vegada molt interessant per demostrar la dispersió o cohesió entre aquestes mateixes. A més a més dels cristalls de ciment a una escala considerable que ens permet observar aquests i definir-ne una dimensió mitjana de més o menys al voltant d'una micra, ens permet veure un tel de nanofibra a pràcticament tota la dimensió de la imatge.

Aquest tel de nanofibra és el resultat de que les fibres tinguin grups hidroxils superficials i tenen molta afinitat entre elles per ponts d'hidrogen que han acabat formant aquesta forma cohesionant totes les nanofibres en una sola superfície. També podem veure com les connexions entre la nanofibra i el ciment és total ja que encara que aquesta proveta hagi patit un esforç de trencament a flexió i hagi trencat per aquesta superfície, encara segueix tenint adherit ciment en sí mateixa.

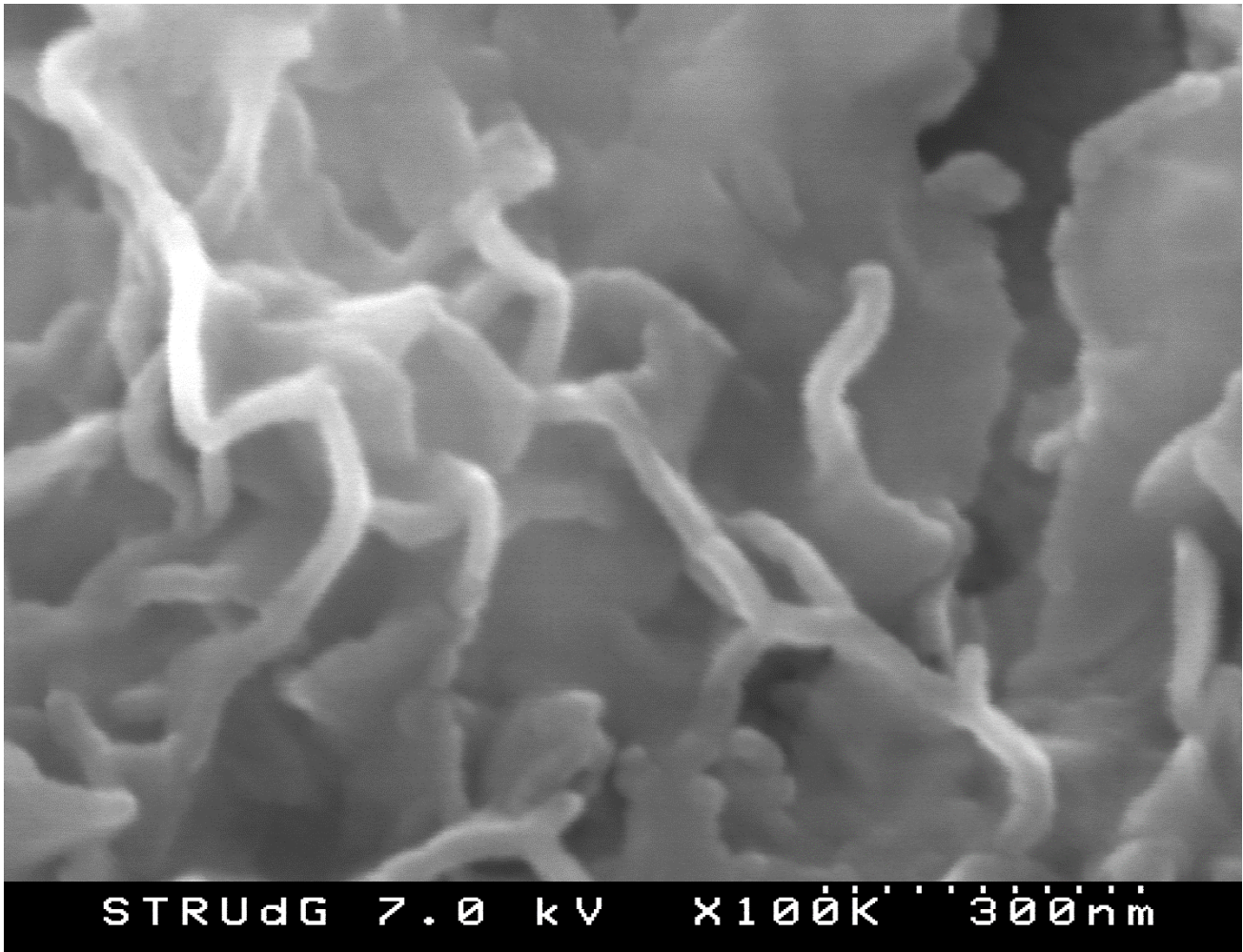




Fotografia 40 - Imatge a escala de 1 micra de proveta amb un 1,5% de nanofibra

Aquesta imatge resulta de la mateixa anterior però fins a una escala d'una sola micra. Podem veure ja perfectament aquests cristalls de ciment amb dimensió de també una micra. A la vegada veiem un tel de nanofibra que el componen varies nanofibres i les podem diferenciar.

No podem determinar la dimensió d'aquestes nanofibres resultants degut a que estan cohesionades entre elles i no resulten estar prou disperses com per poder-ne obtenir aquesta dada, tot i així podem també veure en aquesta imatge com el lligam entre els dos materials estudiats si es produeix. Concretament el podem veure en un dels cristalls de l'esquerra on sembla que del mateix en surti una nanofibra que s'ajunta seguidament amb la resta del tel.

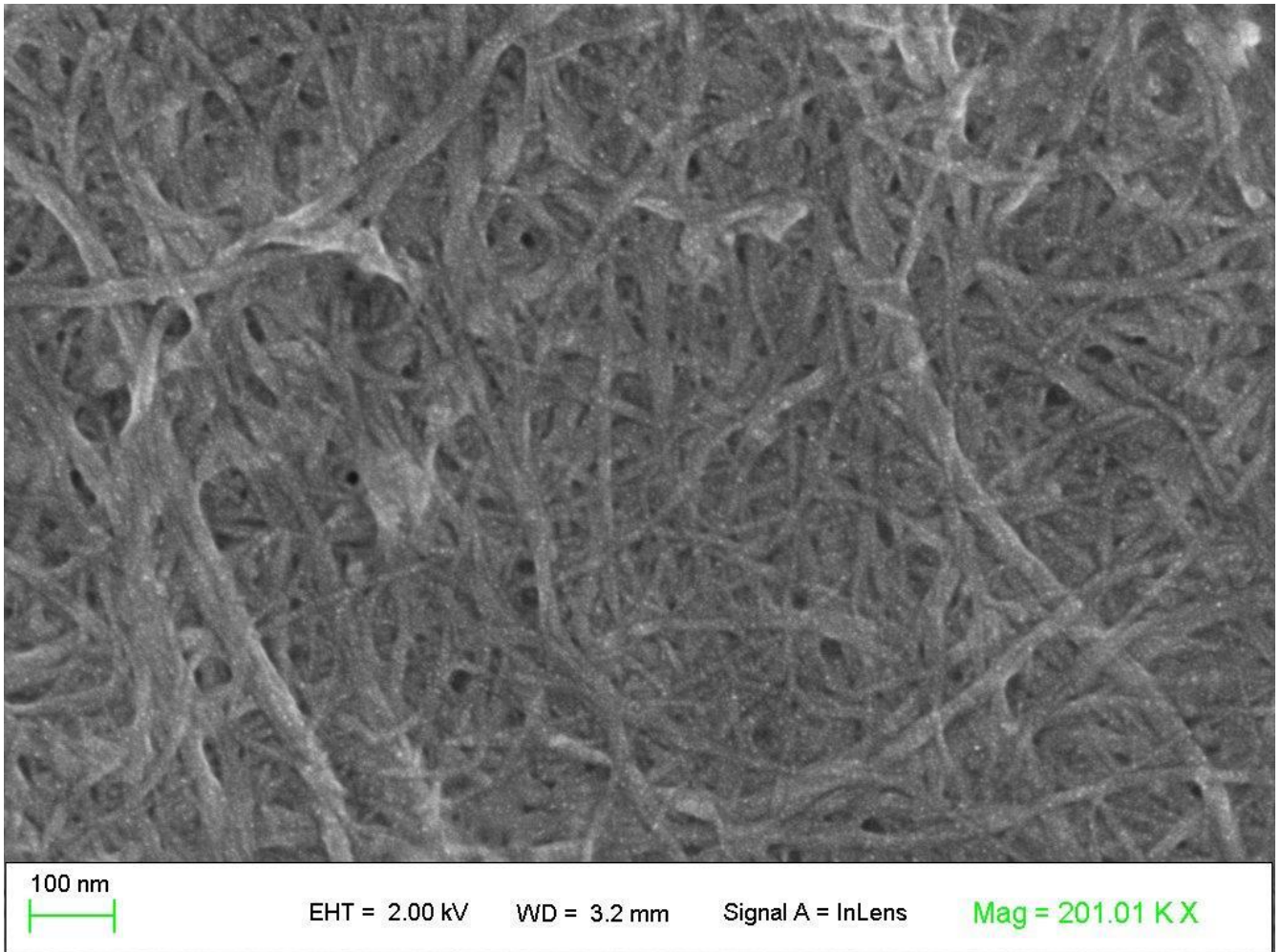


*Fotografia 41 - Imatge a escala de 300 nanòmetres de proveta amb un 1,5% de nanofibra*

En aquesta perspectiva realitzada en una altra zona de la mateixa proveta de 1,5% de nanofibra hi trobem una imatge a l'escala més petita realitzada en aquest assaig, concretament de fins a 300 nanòmetres. Pertany a una zona en la que les nanofibres han quedat molt més disperses entre sí però a la vegada poc disperses del propi ciment.

Podríem dir gràcies a l'escala que el guix d'aquests filaments està prop dels 30 nanòmetres donant a aquestes el propi nom de NANOFIBRA. Aquest assaig no pot augmentar més aquestes vistes degut a que amb el feix d'electrons es danya la cel·lulosa i acabarien fent malbé aquestes nanofibres.





Fotografia 42 – Imatge a escala de 100 nanòmetres de nanofibra sola

Aquesta imatge no pertany a cap de les nostres provetes realitzades durant l'execució del projecte sinó que és una mostra de nanofibra de cel·lulosa a 100 nanòmetres d'augment que el Dr. Marc Delgado ens ha facilitat perquè puguem mostrar un tel de nanofibra on aquesta es diferencia entre si mateixa. Aquesta imatge s'ha obtingut a una escala més petita degut a que s'ha realitzat mitjançant un microscopi atmosfèric enlloc d'un elèctric. També podríem definir aquesta nanofibra amb una dimensió d'uns 30 nanòmetres d'amplada.

Finalment definiríem com a global de resultat obtingut que aquestes imatges no són representatives en quant a la quantitat de nanofibra que hi ha a cada proveta ja que al no estar massa dispersa dins el propi ciment no es pot comparar.

### APLICACIÓ

Amb aquests resultats no podríem trobar directament cap mena d'aplicació a la construcció.

## ASSAIG DE DURABILITAT

### INTRODUCCIÓ

Aquest assaig de durabilitat pretén determinar la resistència a la desintegració dels agregats a les diferents dosificacions per acció de diferents processos d'humit sec.

El resultat és el percentatge de pèrdua de material en una mescla d'agregats durant un assaig de durabilitat d'aquestes característiques. Aquests percentatges són els que estimen la resistència de les diferents amalgames al deteriorament per accions climatològiques durant la seva vida útil.

L'assaig en si es realitza exposant les diferents mostres en forma de provetes a cicles alternatius de bany per immersió i assecat en un forn. Cada immersió i assecat equival a un cicle de durabilitat. Durant la fase de assecat, les pròpies sals precipiten en els buits de les provetes i en la següent immersió aquestes es rehidraten i exerceixen un seguit de forces d'expansió internes que simulen les forces de l'aigua congelada. El resultat és un percentatge total de la pèrdua de pes per un nombre de cicles determinat.

### NORMATIVA

La normativa que nosaltres hem adoptat i que regula aquest assaig és la norma UNE – 83980 “Durabilitat del formigó”. Amb l'objectiu de descriure un mètode d'assaig per a determinar la durabilitat del formigó.

Aquesta norma defineix els termes i definicions, un seguit de requisits generals, els aparell i materials a utilitzar, aquests últims han estat variats per a l'execució dels treballs ja que nosaltres hem utilitzat ciment amb nanofibra enlloc de formigó pròpiament dit. També defineix com han de ser les provetes a assajar i el volum que han de tenir, en el nostre cas també han estat variades utilitzant provetes de 1x1x7cm. Finalment també defineix el procediment operatori que s'ha de seguir per a la realització de l'assaig, en aquest projecte s'ha adaptat de la manera que s'ha descrit amb anterioritat no realitzant exactament el mateix procediment que la norma demana.

### PROCEDIMENT

El primer pas per a la realització de l'assaig és el de submergir les provetes totalment en aigua per un període de tres dia, de manera que el nivell de l'aigua quedi com a mínim 15mm per sobre de les provetes. Es tapa el recipient per evitar evaporacions i contaminacions externes i es manté a una temperatura d'uns 21°C.

Seguidament i una vegada passat el temps pertinent, es deixen escórrer les mostres durant 15 minuts. Es deixarà ja preparat el forn a una temperatura estable de 70°C. Una vegada passats aquests 15 minuts ja es podran introduir al forn.

A continuació i passat un temps de 4 dies es pesaran les mostres considerant com a correctes aquells pesos que no distin d'entre si de 0,10g.

Finalment, obtenint ja un pes constant de cada una d'elles es deixaran refredar a temperatura ambient i es tornaran a submergir per tal d'aconseguir una altre cicle.

RESULTAT

DADES DURANT ELS CICLES D'UMIT I SEC DEL PROCES DE DURABILITAT														
Proveta NUM	CICLE 1		CICLE 2		CICLE 3		CICLE 4		CICLE 5		CICLE 6		PES FINAL	
	HUMIT 21°C gr	SEC 70°C gr	HUMIT 21°C gr	SEC 70°C gr	HUMIT 21°C gr	SEC 70°C gr	HUMIT 21°C gr	SEC 70°C gr	HUMIT 21°C gr	SEC 70°C gr	HUMIT 21°C gr	SEC 70°C gr	%	%
PB-0	1	15,481	14,346	15,474	14,234	15,317	13,890	15,278	14,011	15,269	13,993	15,270	15,265	93,98%
	2	16,168	15,331	16,161	15,211	16,120	14,985	16,111	15,059	16,082	15,060	16,078	16,074	95,38%
	3	15,893	14,623	15,885	14,610	15,752	14,359	15,708	14,463	15,698	14,445	15,698	15,692	93,19%
	4	15,845	14,801	15,838	14,685	15,767	14,386	15,736	14,465	15,276	14,447	15,726	15,722	94,14%
	5	13,348	14,828	16,248	14,712	15,597	14,690	15,594	14,689	15,586	14,670	15,568	15,564	95,27%
	6	15,874	14,503	15,867	14,389	15,842	14,463	15,823	14,468	15,812	14,473	15,826	15,822	91,66%
PB-0,5	1	14,798	12,731	14,741	12,724	14,704	12,617	14,625	12,603	14,072	12,666	14,094	14,090	90,35%
	2	14,911	12,882	14,854	12,865	14,817	12,777	14,818	12,765	14,792	12,826	14,794	14,792	87,09%
	3	14,399	12,489	14,415	12,458	14,372	12,381	14,372	12,380	14,362	12,364	14,354	14,350	87,03%
	4	14,442	12,444	14,386	12,440	14,341	12,356	14,333	12,348	14,314	12,403	14,318	14,320	86,90%
	5	14,708	12,611	14,651	12,615	14,627	12,541	14,603	12,605	14,608	12,589	14,609	14,605	86,35%
	6	14,905	12,865	14,848	12,844	14,817	12,761	14,804	12,760	14,794	12,821	14,795	14,800	86,93%
PB-1	1	13,965	11,599	13,869	11,535	13,679	11,508	13,292	11,503	12,712	11,566	12,736	12,733	91,10%
	2	13,930	11,516	13,911	11,543	13,816	11,530	13,814	11,525	13,468	11,601	13,752	13,749	83,76%
	3	14,462	11,983	14,363	11,917	14,228	11,893	13,826	11,886	13,248	11,938	13,274	13,245	90,47%
	4	14,054	11,714	13,958	11,649	13,870	11,635	13,890	11,623	13,816	11,608	13,822	13,818	84,77%
	5	14,603	12,163	14,635	12,096	14,493	12,066	13,858	12,057	13,267	12,090	13,290	13,287	91,55%
	6	14,124	11,663	14,027	11,598	13,924	11,572	13,118	11,569	12,667	11,618	12,689	12,694	91,87%
PB-1,5	1	14,099	11,554	14,017	11,563	13,757	11,551	13,176	11,526	13,485	11,512	13,505	13,501	85,58%
	2	14,119	11,538	14,025	11,524	13,897	11,516	13,435	11,500	13,531	11,698	13,562	13,560	85,09%
	3	14,202	11,656	14,143	11,645	14,034	11,633	13,785	11,615	13,779	11,600	13,794	13,790	84,52%
	4	14,308	11,763	14,241	11,746	13,974	11,436	12,881	11,438	13,189	11,424	13,210	13,207	89,07%
	5	13,906	11,406	13,825	11,416	13,763	11,404	13,087	11,381	12,979	11,367	13,013	13,010	87,67%
	6	14,011	11,533	13,924	11,530	13,884	11,520	13,533	11,496	13,002	11,481	13,026	13,023	88,56%
PB-1,81	1	15,026	12,573	14,951	12,512	14,525	12,512	13,803	12,500	13,619	12,484	13,638	13,632	92,23%
	2	15,381	12,781	15,925	12,780	15,027	12,769	14,569	12,742	14,342	12,726	14,360	14,356	89,03%
	3	15,188	12,583	15,088	12,581	14,879	12,570	14,235	12,556	14,164	12,732	14,181	14,178	88,75%
	4	15,348	12,735	15,283	12,721	15,071	12,709	14,276	12,694	14,289	12,678	14,310	14,301	89,05%
	5	14,777	12,245	14,686	12,246	15,071	12,234	14,196	12,210	13,641	12,246	13,666	13,680	89,51%
	6	14,800	12,372	14,721	12,371	14,682	12,349	13,514	12,335	13,850	12,319	13,892	13,888	89,08%

Taula 15 - En aquesta taula podem observar els resultats de les diferents pesades corresponents a les diferents provetes durant els diferents cicles fins a un total de 6.

DADES DURANT ELS CICLES D'UMIT I SEC DEL PROCES DE DURABILITAT															
Proveta	NUM	CICLE 1		CICLE 2		CICLE 3		CICLE 4		CICLE 5		CICLE 6		PES FINAL	
		HUMIT	SEC	HUMIT	SEC	HUMIT	SEC	HUMIT	SEC	HUMIT	SEC	HUMIT	SEC	%	%
		21?C	70?C	21?C	70?C	21?C	70?C	21?C	70?C	21?C	70?C	21?C	70?C		
		gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr			
PB-0	1	15,481	14,346	15,474	14,234	15,317	13,890	15,278	14,011	15,269	13,993	15,270	15,265	93,98%	94,15%
	2	16,168	15,331	16,161	15,211	16,120	14,985	16,111	15,059	16,082	15,060	16,078	16,074	95,38%	
	3	15,893	14,623	15,885	14,610	15,752	14,359	15,708	14,463	15,698	14,445	15,698	15,692	93,19%	
	4	15,845	14,801	15,838	14,685	15,767	14,386	15,736	14,465	15,276	14,447	15,726	15,722	94,14%	
	5	13,348	14,828	16,248	14,712	15,597	14,690	15,594	14,689	15,586	14,670	15,568	15,564	95,27%	
	6	15,874	14,503	15,867	14,389	15,842	14,463	15,823	14,468	15,812	14,473	15,826	15,822	91,66%	
PB-0,5	1	14,798	12,731	14,741	12,724	14,704	12,617	14,625	12,603	14,072	12,666	14,094	14,090	90,35%	86,99%
	2	14,911	12,882	14,854	12,865	14,817	12,777	14,818	12,765	14,792	12,826	14,794	14,792	87,09%	
	3	14,399	12,489	14,415	12,458	14,372	12,381	14,372	12,380	14,362	12,364	14,354	14,350	87,03%	
	4	14,442	12,444	14,386	12,440	14,341	12,356	14,333	12,348	14,314	12,403	14,318	14,320	86,90%	
	5	14,708	12,611	14,651	12,615	14,627	12,541	14,603	12,605	14,608	12,589	14,609	14,605	86,35%	
	6	14,905	12,865	14,848	12,844	14,817	12,761	14,804	12,760	14,794	12,821	14,795	14,800	86,93%	
PB-1	1	13,965	11,599	13,869	11,535	13,679	11,508	13,292	11,503	12,712	11,566	12,736	12,733	91,10%	89,47%
	2	13,930	11,516	13,911	11,543	13,816	11,530	13,814	11,525	13,468	11,601	13,752	13,749	83,76%	
	3	14,462	11,983	14,363	11,917	14,228	11,893	13,826	11,886	13,248	11,938	13,274	13,245	90,47%	
	4	14,054	11,714	13,958	11,649	13,870	11,635	13,890	11,623	13,816	11,608	13,822	13,818	84,77%	
	5	14,603	12,163	14,635	12,096	14,493	12,066	13,858	12,057	13,267	12,090	13,290	13,287	91,55%	
	6	14,124	11,663	14,027	11,598	13,924	11,572	13,118	11,569	12,667	11,618	12,689	12,694	91,87%	
PB-1,5	1	14,099	11,554	14,017	11,563	13,757	11,551	13,176	11,526	13,485	11,512	13,505	13,501	85,58%	86,85%
	2	14,119	11,538	14,025	11,524	13,897	11,516	13,435	11,500	13,531	11,698	13,562	13,560	85,09%	
	3	14,202	11,656	14,143	11,645	14,034	11,633	13,785	11,615	13,779	11,600	13,794	13,790	84,52%	
	4	14,308	11,763	14,241	11,746	13,974	11,436	12,881	11,438	13,189	11,424	13,210	13,207	89,07%	
	5	13,906	11,406	13,825	11,416	13,763	11,404	13,087	11,381	12,979	11,367	13,013	13,010	87,67%	
	6	14,011	11,533	13,924	11,530	13,884	11,520	13,533	11,496	13,002	11,481	13,026	13,023	88,56%	
PB-1,81	1	15,026	12,573	14,951	12,512	14,525	12,512	13,803	12,500	13,619	12,484	13,638	13,632	92,23%	89,17%
	2	15,381	12,781	15,925	12,780	15,027	12,769	14,569	12,742	14,342	12,726	14,360	14,356	89,03%	
	3	15,188	12,583	15,088	12,581	14,879	12,570	14,235	12,556	14,164	12,732	14,181	14,178	88,75%	
	4	15,348	12,735	15,283	12,721	15,071	12,709	14,276	12,694	14,289	12,678	14,310	14,301	89,05%	
	5	14,777	12,245	14,686	12,246	15,071	12,234	14,196	12,210	13,641	12,246	13,666	13,680	89,51%	

A la última columna hi ha reflectits els percentatges de disminució de la massa de les diferents provetes, també hi podem trobar la mitjana d'aquesta disminució referent a la mateixa dosificació. Hem pogut concretar definitivament que no ha pogut ser possible determinar un resultat lògit degut a que aquests resultats no segueixen una regressió ni una progressió en quant a la quantitat de nanofibra.

### APLICACIÓ

No consta cap mena d'aplicació a la construcció a determinar gràcies als resultats obtinguts.

## ASSAIG D'IMPACTE

Aquest assaig ens determinarà la càrrega de ruptura per impacte.

### INTRODUCCIÓ

Per a dur a terme aquest assaig no hem trobat cap norma UNE que tracti l'energia de ruptura, dins el camp d'aplicació del ciment, com el formigó o el morter del qual el nostre conglomerant (CEM 1) que en forma part. És per això que seguim la norma UNE-EN 14158 "*Metodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la energía de rotura*", i prenem la determinació d'aplicar aquesta norma UNE donat que el ciment és el conglomerant de la pedra artificial anomenat formigó.

L'assaig com en els altres assaig mecànics de flexió i compressió, ens ha dificultat la elaboració de provetes estàndard, donat la insuficiència de material per a produir una proveta apta per al assaig. Tot i això hem pogut produir una proveta estàndard per a l'assaig, és per aquest motiu que només n'hem fet una per a cada dosificació i sabem que el resultat que obtenim de cada dosificació no és gens significatiu. Doncs la norma parla de 6 mostres i per a poder tenir un mínim de dades hauríem de haver assajat un mínim de 3 provetes de cada.

Les provetes han estat curades a la càmera de curat un mínim de 28 dies, tal i com es determina a la norma UNE-EN 196-1 "*Métodos de ensayo de Cementos*".

Per a crear les provetes s'han emprat uns llistons de fusta de melamina i aglomerat de fusta a l'ànima en que s'hi ha fixat uns llistons de 10 mm de gruix per a que en resultin unes provetes del mateix gruix. Els llistons es disposen en forma quadrada amb una dimensió de 400 x 400 mm.

Per tal de donar un millor acabat i homogeneïtat a les provetes, un cop omplert cada motlle es va apilant amb una altre fusta de melamina a sobre de cada proveta a fi de poder donar pressió amb uns serjants.

Tot seguit s'il·lustren els motlles emprats i provetes obtingudes:





Fotografia 43 – Mottle emprat



Fotografia 44 – provetes obtingudes

### NORMATIVA

La norma a seguir com hem parlat a l'apartat anterior és la UNE-EN 14158 "Metodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la energia de rotura", i que adoptem per a dur a terme



l'assaig per a la determinació de l'energia de ruptura, hem hagut de improvisar amb el material disponible al laboratori de material de construcció de l'EPS de la UdG.

La norma ens determina l'equip a emprar:

- Bola d'acer, amb una massa de  $(1,00 \pm 0,01)$  kg.
- Recipient de dimensions mínimes de 400 x 400 x 150 mm en que es col·loca un llit de 100 mm com a mínim de sorra de sílice.
- Una columna de metall de 1,5 m d'alçada i graduada cada 50 mm.
- Estructura lliscant, fixada a la columna de metall, que consisteixi en un dispositiu capaç de deixar anar la bola d'acer en direcció vertical (es pot emprar un sistema basat en l'electromagnetisme).
- Una Estufa.
- Una bascula amb una exactitud del 0,1% de la massa a pesar.
- Nivell de bombolla.

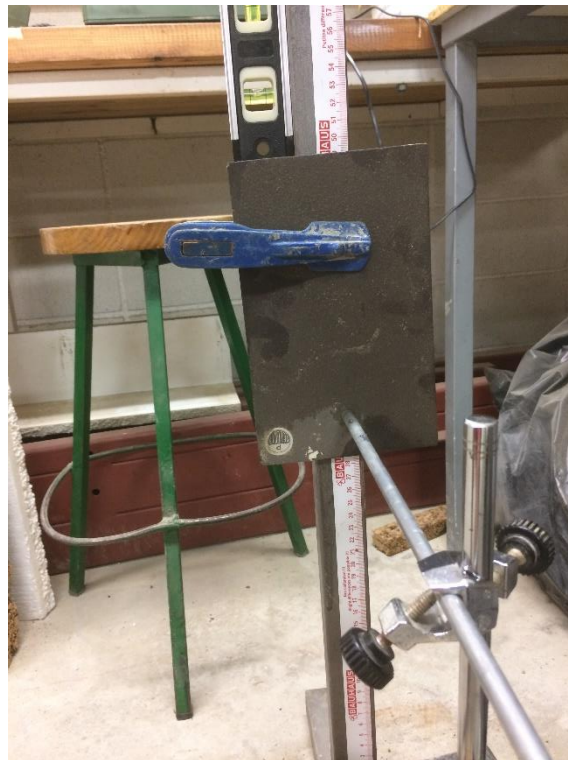
Nosaltres amb l'ajuda i les indicacions del Sr. Pere Bellvehí, per a columna reglada hem emprat un peu de tub de 40.40.2 mm amb peu en forma de creu i per a fer el reglat amb el sistema mètric hem adherit a una de les cares del tub una cinta reglada. Per a estructura lliscant, hem emprat un serjant que fixa un suport de vareta en que hi col·loquem una nou per poder subjectar un peu magnètic, que ens facilita el fet de deixar caure amb vertical la bola d'acer. Aquesta bola d'acer que normalitzada ens ha estat facilitada per un ex-estudiant el Sr. Jordi Canal, que va fer una assaig semblant, aquesta bola segons normativa ha de ser d'una massa de  $(1,00 \pm 0,01)$  kg. La nostra bola no compleix del tot la norma donat que té una massa de 1,041 kg, tot hi això es procedeix a dur a terme l'assaig amb aquesta massa donat que la diferència per a complir és del 4.1%.

Per al recipient de dimensions 400 x 400 x 150 mm hem emprat una gaveta de goma i així poder crear el llit de sorra normalitzada d'uns 130 mm. El fet de que estigui calefactada a 70 °c mitjançant una estufa en la part inferior del mateix recipient, entenem que això és per mantenir deshidratada la proveta de pedra, com nosaltres treballem amb ciment i aquest fet ens va en contra no ho apliquem, el que si que duem a terme es deshidratar la sorra posant-la 24 hores a 105 °c en una estufa i la deixem refredar durant 6 hores. Aquesta fa la funció d'esmoreir el cop i distribuir el millor possible l'energia de l'impacte i que aquesta energia trenqui la proveta per aquest esforç i no per el de flexió.

A continuació il·lustracions del material i el muntatge de l'equip:



Fotografia 45 – Equip per a assaig de energia de ruptura



Fotografia 46 – Estructura lliscant



Fotografia 47 – Peu magnètic per a deixar anar la bola verticalment

En acabar aquesta norma ens determina l'energia de ruptura ( $W$ ) en Joules mitjançant la següent equació:

$$W = m \times g \times h$$

On:

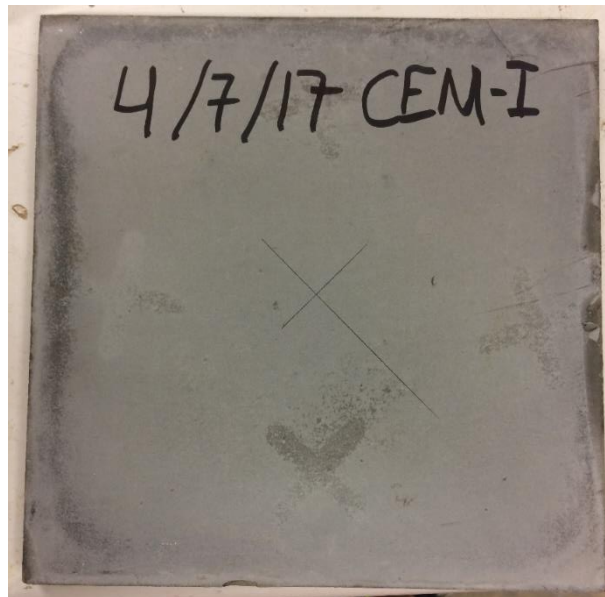
- $W$  és l'energia de ruptura, en Joules.
- $m$  és la massa de la bola, en kg.
- $g$  és l'acceleració de la gravetat ( $9,806 \text{ m/s}^2$ ).
- $h$  és l'alçada de ruptura, en metres, amb dos decimals.

### PROCEDIMENT

Es col·loca la proveta en el centre del llit de sorra de tal manera que amb l'ajuda de el nivell de bombolla, de manera que ens quedi perfectament horitzontal i tenint en compte que el centre de la proveta quedi sobre la vertical de la trajectòria de caiguda de la bola.

Es procedeix a deixar caure la bola des de una alçada inicial de 100 mm. Al deixar caure la bola a aquesta alçada se'ns trenquen totes les provetes. Segons la UNE s'hauria de rebutjar el resultat, però donat que a totes ens dona igual i no tenim mes provetes per fer repeticions prenem per bons els resultats.

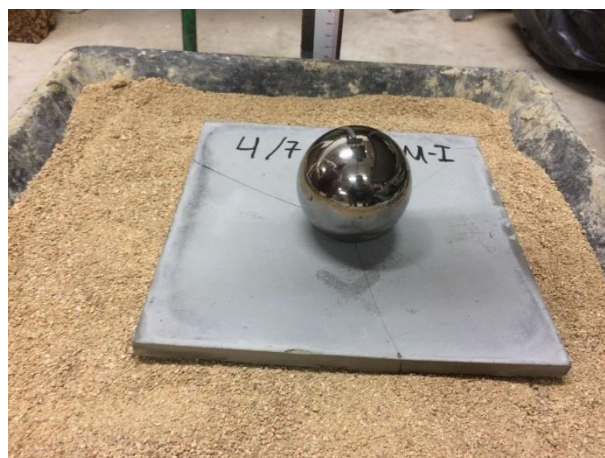
Es mostra com es du a terme l'assaig amb les següents il·lustracions:



Fotografia 48 – Proveta CEM 1 abans de l'assaig i marcat del centre.



Il·lustració 49 – Disposició proveta CEM 1 i comprovació alçada 100 mm.



Fotografia 50 – Trencat de la proveta en l'impacte de la bola a 100 mm.

## RESULTAT

Tal i com veurem en la taula següent, totes les provetes ens donen que l'energia de ruptura es de 1.02 Joules. Aquets resultats no son gens significatius, tant per el fet de nomes tenir-ne un resultat de cada dosificació de CNF, i també per el fet que hauríem de rebutjar totes les dades ja que totes les provetes es trenquen en el primer impacte.

Taula de resultats:

	Pes1	Pes2	Pes3	Pes4	Pes5	Pes6	Total (g)
Massa de la bola	1040,3	1040,2	1041,9	1041,9	1042	1042	1041,38

CÀLCULS DE ENERGIA DE ROPTURA							
Massa de la bola	1041,38			Gravetat (m/s <sup>2</sup> )			
Diametre de bola	63,49			9,806			
Proveta	Base	Ample	Gruix	Pes	h <sub>i</sub>	h	W (J)
CEM-1	200,99	200,3	9,7	815,8	0,1	0,1	1,02
CNF 0,5%	199,9	199,85	9,4	784	0,1	0,1	1,02
CNF 1%	200,81	200,9	9,85	809,4	0,1	0,1	1,02
CNF 1,5%	201,15	201,26	10,04	837	0,1	0,1	1,02
CNF 1,81%	199,94	200,5	9,93	802,5	0,1	0,1	1,02

Taula 16 - Energia de ruptura.

## APLICACIÓ

Després de dur a terme aquest assaig i de obtenir aquest resultat veiem que aquest compost de ciment CEM 1 amb CNF no es òptim per a rebre impactes, i que per tant per element d'acabat horitzontal com a paviment no és viable, donat que la norma està orientada a aquesta finalitat. Si que és veritat que només s'ha dut a terme amb un gruix i que en futures investigacions s'hauria de provar amb mes gruix de proveta.

Per altre banda com a element compost semblant a els envans lleugers com el de cartró guix se'n podria estudiar el seu comportament.



## ASSAIG DE PLASTICITAT

### INTRODUCCIÓ

Aquest assaig no programat en la pròpia proposta del projecte neix de la necessitat de poder unificar amb un sol criteri les diferents dosificacions creades per aquesta investigació. El Dr. Marc Delgado Aguilar va ser qui ens va proposar, vist la impossibilitat de tractar les diferents dosificacions amb una mateixa relació d'aigua – ciment, relacionar-les amb una mateixa plasticitat.

Una vegada fetes les primeres barreges amb nanofibra ens vam donar compte de com n'era de capaç aquesta pasta d'adulterar-ne la consistència. Amb poca nanofibra que hi afegiem, aconseguia solidificar exponencialment la pròpia massa dosificada amb una relació ciment – aigua de 1:0,3. Això feia que haguéssim d'afegir a la massa més quantitat d'aigua fent que aquesta variés circumstancialment. Per tal de poder reglar aquesta quantitat d'aigua vam haver de fer aquest assaig.

Principalment es basa en fer l'assaig de la massa de les provetes de control de 1:0,3 de relació ciment – aigua, obtenir-ne un resultat amb N·m i seguidament crear les següents amassades partint del mateix resultat final. Començant la casa per la teulada.

S'ha utilitzat un reòmetre, un instrument de laboratori que s'utilitza per mesurar la forma en que flueix un material o mescla de materials sota l'acció de forces externes. S'utilitza per a materials que no es poden definir amb un únic valor de viscositat.

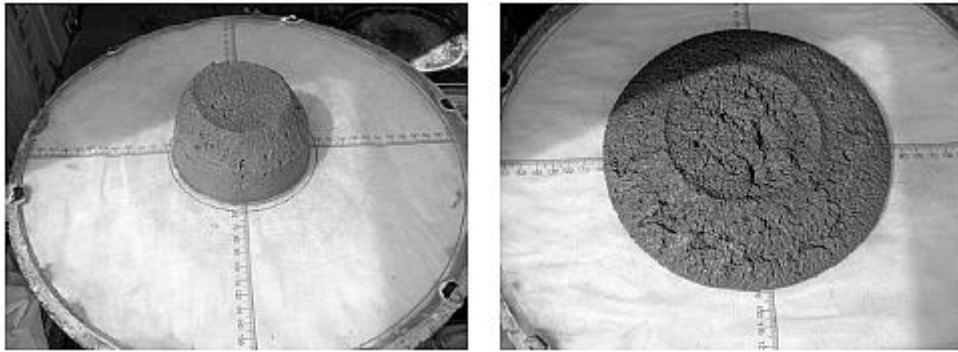
### NORMATIVA

Lluny de poder realitzar un assaig convencional, a la construcció, en el que es determina la consistència amb el morter fresc i es classifica en sec, plàstic i fluït. Nosaltres hem hagut de practicar un assaig paral·lel degut a que la metodologia d'aquest assaig normalitzat per la norma UNE-EN 1015-3 "Determinació de la consistència del morter fresc", reclama una quantitat de morter exagerada tenint en compte que la suma de nanofibra que hauríem d'utilitzar seria massa elevada.



Fotografia 51 – Tronc de con normalitzat

El tronc de con que s'utilitza per a realitzar aquest assaig té un volum de 1.025,73cm<sup>3</sup> mentre que les provetes a les que estem habituats a treballar tenen una dimensió com a màxim de 64cm<sup>3</sup>.



Fotografia 52 – Exemple assaig consistència

Així i com a repercussió del comentat anteriorment vam realitzar un assaig de par de torsió mitjançant un reòmetre, cal esmenar que amb un aparell d'aquesta mena, s'aconsegueix medir la reologia del material. No és un viscosímetre, per tant no aconseguirem un resultat de viscositat (MPa·s), finalment aconseguim un resultat de par expressat amb N·m.

La reologia estudia la relació entre l'esforç i la deformació del material que és capaç de fluir. Aquest assaig està determinat per una norma UNE que pertany a l'aplec dels plàstics, prové d'una norma ISO i es denomina amb el codi UNE-EN ISO 6721-2 "Determinació de les propietats Mecanodinàmiques.

Degut a la disparitat del material que contempla la norma amb el nostre no hem pogut seguir aquesta norma i el procediment i anàlisi dels resultats es resumeix en els següents capítols.

### PROCEDIMENT

El procediment d'aquest assaig és tant modest com afegir la massa a analitzar a l'aparell i esperar a que s'homogeneïtzi per poder captar-ne el resultat.

El que si reclama una descripció és el procediment utilitzat per igualar tots els resultats de. Par inicial a les provetes de control:

- 1r pas: Reologia de la massa control
- 2n pas: Captar el resultat amb N·m
- 3r pas: Buidar el reòmetre
- 4t pas: Posar ciment i CNF segons reclam de la dosificació
- 5è pas: Afegir un 1% del pes del ciment
- 6è pas: afegir aigua de manera controlada fins arribar als N·m de la massa control

Aquest procediment s'ha de repetir tantes vegades com dosificacions hi ha.

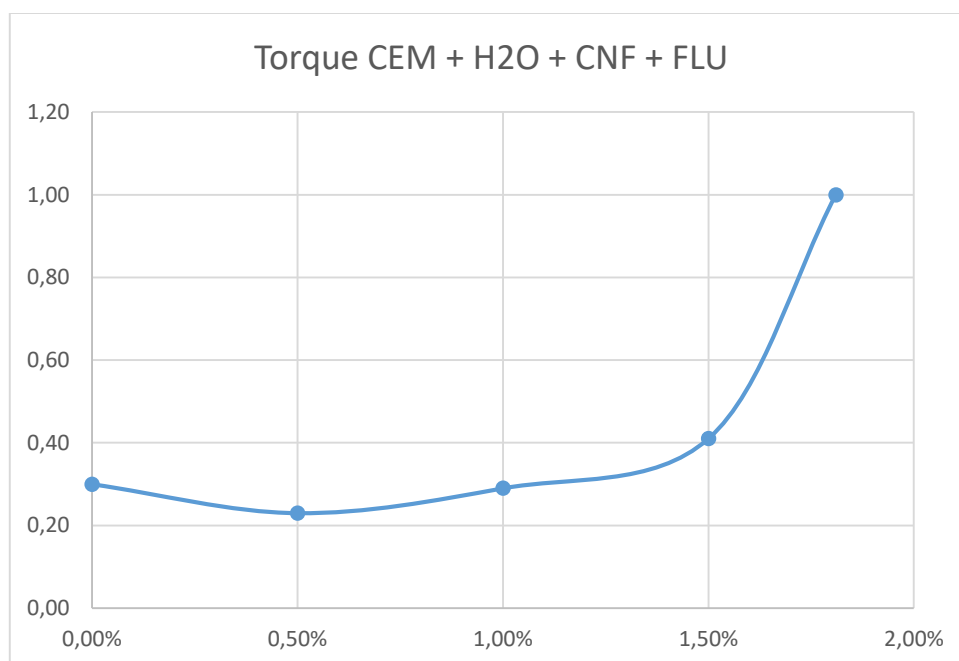
## RESULTAT

Els resultats d'aquest assaig es resumeixen amb la següent taula, aquesta relaciona la quantitat de nanofibra amb % per pes de ciment i la quantitat d'aigua afegida.

CEM	Nano fibres	H2O	Fluïdificant	Torque (N·m)
1	0,00%	0,30	0,00%	0,20
1	0,50%	0,23	1,00%	0,20
1	1,00%	0,29	1,00%	0,20
1	1,50%	0,41	1,00%	0,20
1	1,81%	1,00	0,00%	0,20

Taula 17 – Assaig de par CEM + H2O + CNF + FLU

La particularitat d'aquestes dades és que la primera dosificació de control i la última de 1,81% de nanofibra no contenen cap additiu fluïdificant. Això ha tingut una repercussió diferent a cada una de les dues dosificacions. A la primera, sense nanofibra, no va fer falta degut a que ja aconseguia una plasticitat adequada. A la dosificació de 1,81% tampoc hi trobem nanofibra però a canvi hi tenim una quantitat d'aigua molt més alta, amb anterioritat, s'ha comentat el motiu pel qual aquesta dosificació no conté fluïdificant.



Gràfica 2 – Aquesta és la gràfica resultat de la taula 10

En aquesta gràfica podem observar com les tres dosificacions amb additiu de fluidificant segueixen una mateixa tendència mentre que les altres dues, una per no contenir nanofibra i l'altre per no haver estat fluïda químicament no segueixen cap regressió.



## APLICACIÓ

L'aplicació a l'àmbit de la construcció degut als resultats obtinguts no consta, si és cert que aquest assaig seria curiós realitzar-lo en formigons, morters, morters auto - anivellats... i d'aquesta manera poder observar quina diferència hi ha entre ells.

## ASSAIG TGA I TMA

### INTRODUCCIÓ

Hem englobat aquest dos assaig en un apartat, donat que es duen a terme per el departament de Física aplicada de l'Escola Politècnica Superior de la Universitat de Girona.

En primer lloc parlarem de que tracta el TGA i en segon lloc el TMA en tot aquest apartat.

#### TMA (Termomecànica)

El TMA és l'anàlisi de termomecànica, permet mesurar les variacions en les dimensions d'una mostra, en funció de la temperatura, quan es sotmet a una càrrega no oscil·lant. Aquesta tècnica és particularment apropiada per mesurar variacions en les dimensions de sòlids o pólvores. La mesura pot correspondre tant a una dilatació si la càrrega no provoca una deformació de la mostra, com a una mesura de la deformació a causa de la càrrega aplicada, o bé una variació de les dimensions provocada per la temperatura i la càrrega.

#### TGA (Termogravimetria)

El TGA és l'anàlisi de termogravimetria, és una tècnica que mesura el canvi de pes d'una mostra quan aquesta mostra és escalfada, refredada o mantinguda a una temperatura constant. Els usos principals de la TGA són proporcionar informació sobre l'estabilitat tèrmica dels materials així com la seva composició. Les àrees d'aplicació inclouen plàstics, elastòmers i termostables metalls, compostos minerals i ceràmics i també un ampli rang d'anàlisi en les indústries químiques farmacèutiques.

### NORMATIVA

#### TMA (Termomecànica)

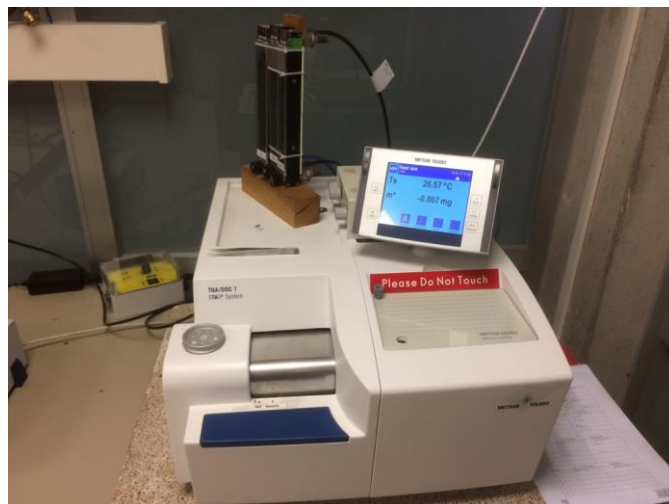
La normativa que regula el procés d'assaig de termomecànica és la UNE-EN 60034, "Màquines elèctriques rotatives".



Fotografia 53 – Aparell d'anàlisi TMA

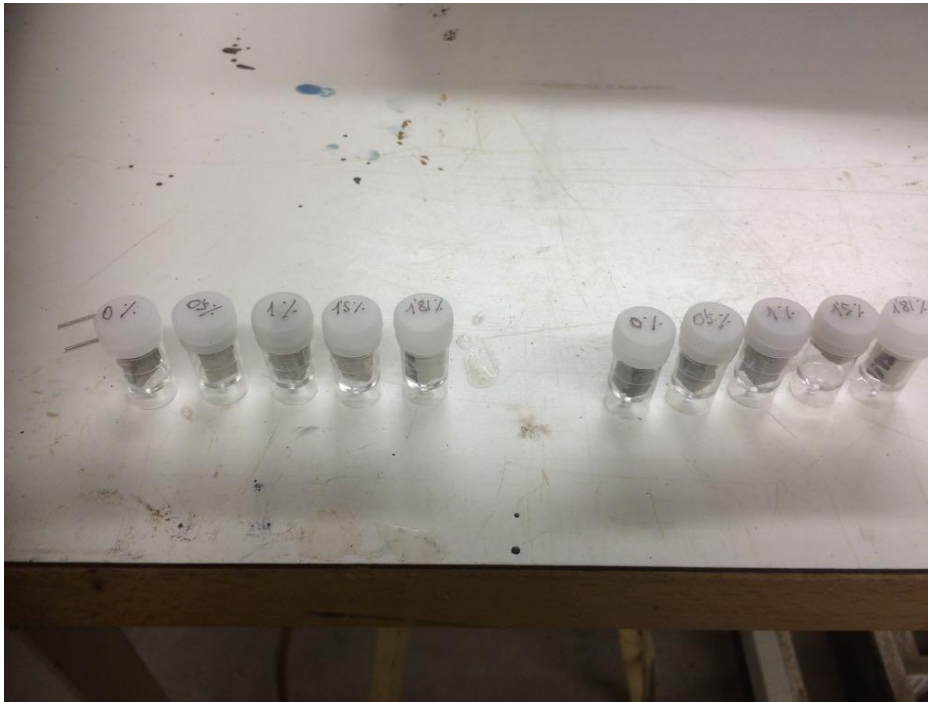
#### TGA (Termogravimetria)

La normativa que regula el procés d'assaig de termogravimetria és la UNE-EN ISO 11358 "Termogravimetria de polímers".



Fotografia 54 – Aparell d'anàlisi TGA

## PROCEDIMENT



Fotografia 55 – Conjunt de provetes a punt pels assaigs

### TMA (Termomecànica)

El procediment de realització de l'anàlisi termomecànic inicia amb la preparació de la cambra calenta de l'aparell fins a una temperatura preestablerta. Seguidament, a partir de l'estat homogeni del material, s'inicia el procés injectant aire a pressió a través d'uns orificis existents dins la cambra. Els paràmetres utilitzats són els següents:

- Rang de temperatures: 30°C a 110°C
- Velocitat d'escalfament: 2°C/min
- Gas de purga: nitrogen (40ml/min)
- Mode: compressió

Finalment i gràcies als sensors d'expansió de l'aparell obtindrem els resultats amb tota la informació de la mostra pel que fa referència a l'expansió d'aquesta.

### TGA (Termogravimetria)

Per a la realització de l'anàlisi inicialment hem de preparar la mostra, si aquesta és sòlida s'hauria d'obtenir-ne d'homogènies i representatives de diferents punts de la mostra. Seguidament s'ha d'encendre l'equip i mantenir-lo encès per a calibrar. Una vegada entrats els paràmetres:

- Rang de temperatures: 30°C a 900°C

- Velocitat d'escalfament: 20°C/min
- Gas de purga: nitrogen (40ml/min)
- Gresol porta-mostra: Alúmina

Es col·loca la mostra a la seva posició i l'equip va analitzant els canvis de massa durant l'escalfament. La pèrdua de massa es pot expressar en percentatge o en mil·ligrams en el termograma. Quan s'arriba a la temperatura màxima s'inicia el refredament, s'extreu la mostra, es tanquen les línies de gas i s'obté el termograma resultant amb tota la informació de la mostra.

## RESULTAT

### TMA (Termomecànica)

Per al càlcul del coeficient d'expansió tèrmica promig ( $\alpha_m$ ) s'utilitza la següent fórmula:

$$\alpha_m = \frac{\Delta L}{\Delta T} \times \frac{1}{L_0}$$

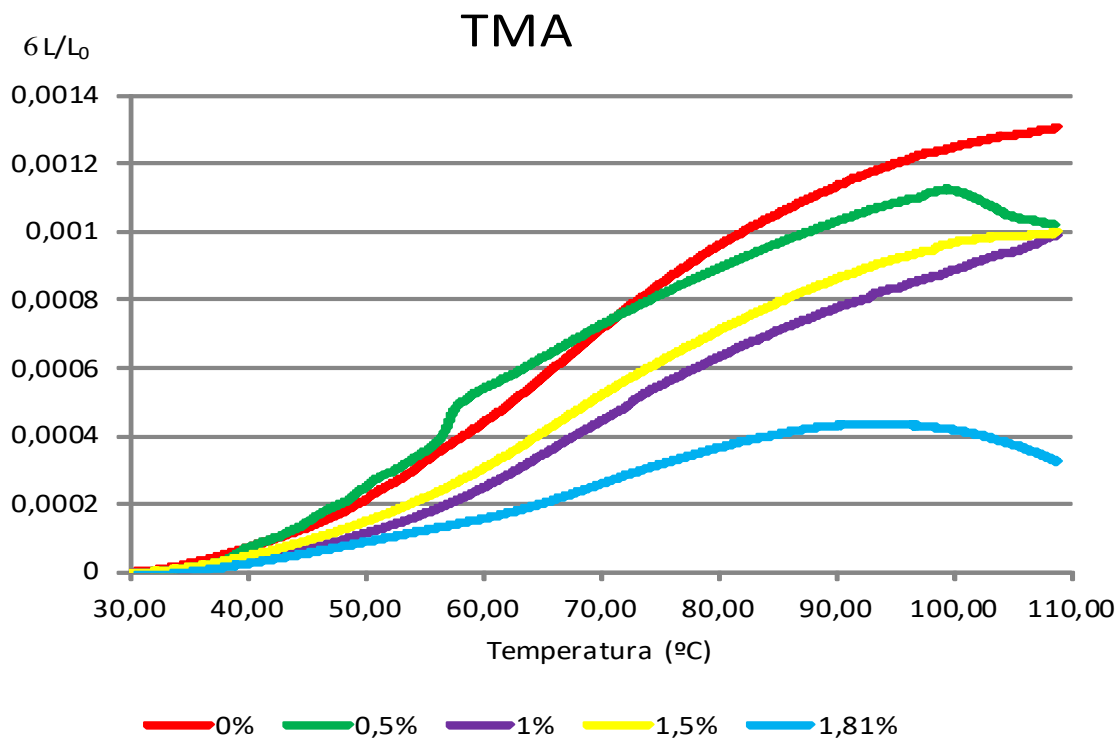
On:

$\alpha_m$ : Coeficient d'expansió tèrmica promig

$\Delta L$ : Increment de longitud de la peça

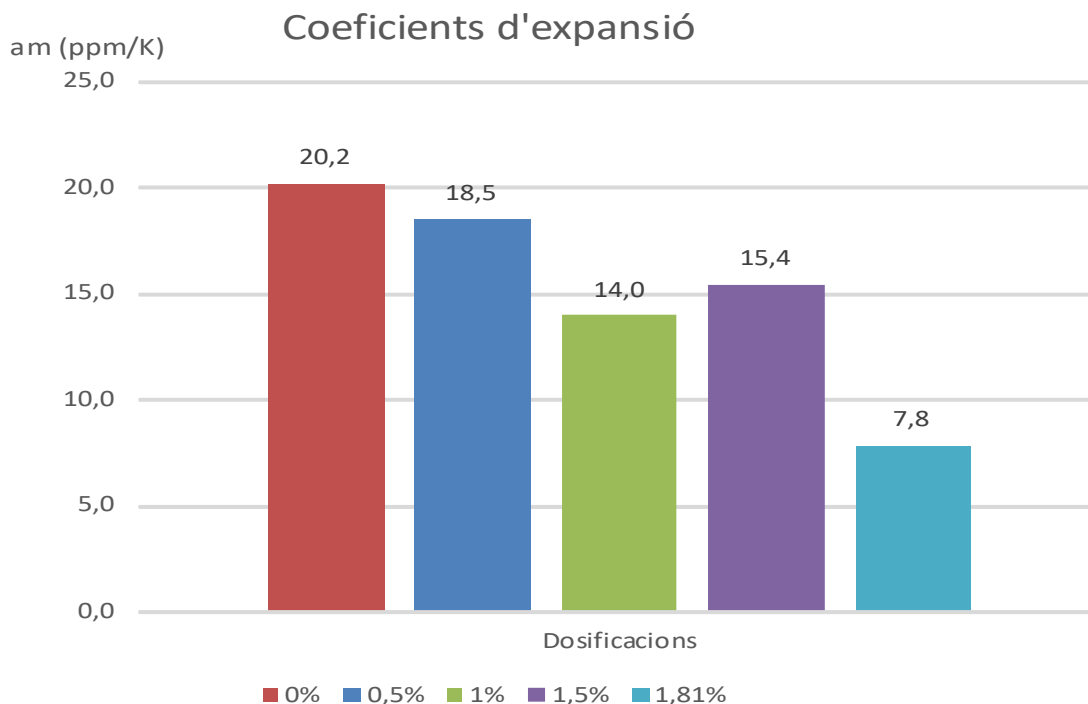
$\Delta T$ : Increment de temperatura aplicat

$L_0$ : Longitud inicial de la peça



Gràfica 3 – Gràfica resum resultats TMA

Aquesta gràfica adjuntada anteriorment reflexa els resultats de les 5 provetes assajades amb les diferents dosificacions de nanofibra i aigua respecte a una base de ciment tipus I. Es pot observar amb més o menys claredat com l'augment en percentatge d'aigua i nanofibra, resulta fer conservar més la dimensió de les provetes. Cert és que observant les diferents gràfiques s'observa una retracció a les provetes de 0,5% i a la de 1,81%. Aquesta reacció podria ser degut a la pèrdua d'humitat, si bé no s'observa en totes les mostres. Tot i així també podria resultar degut al col·lapse d'algun poro que es col·lapsa degut a la nanofibra.



Gràfica 4 – Resultats d'expansió de les diferents dosificacions

Amb aquesta gràfica podem interpretar aquesta mateixa varietat de resultats que amb l'increment de nanofibra i a la vegada d'aigua podem observar una disminució circumstancial de l'expansió de les peces.

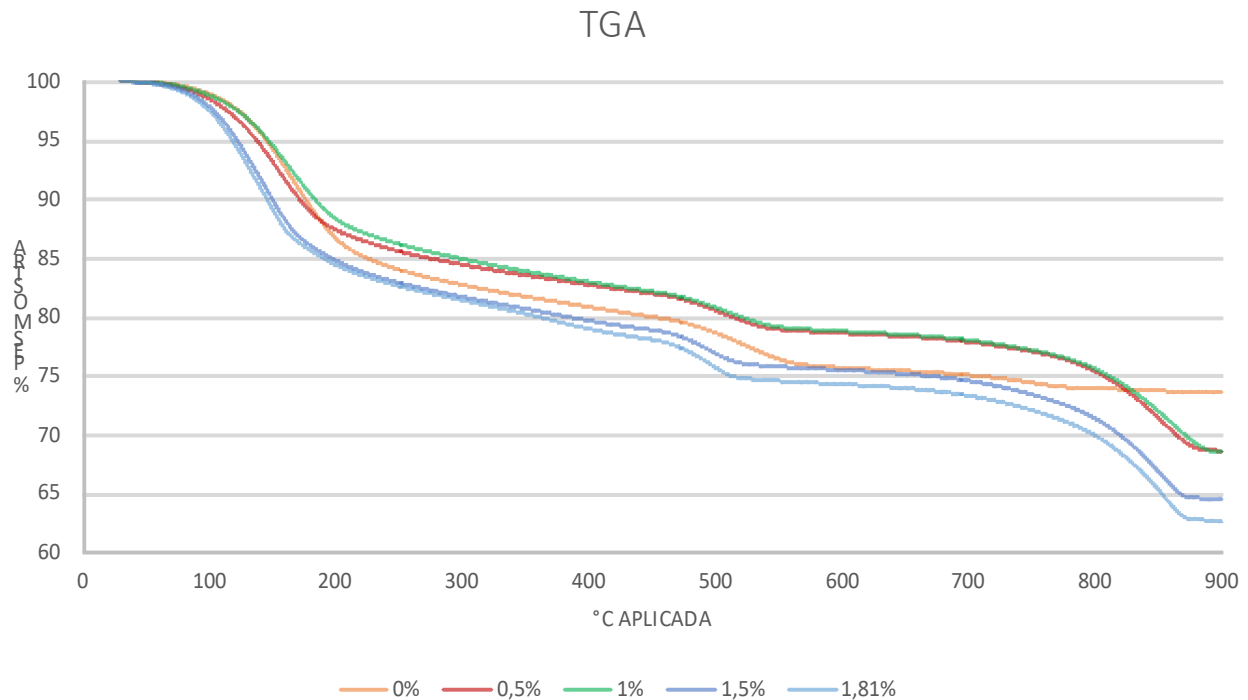
#### TGA (Termogravimetria)

Els resultats de l'anàlisi TGA s'expressen principalment en forma de gràfica, tot i que també s'acostuma a presentar-los en mode de taula. En aquest cas i degut a la varietat de provetes i la similitud entre elles es representarà amb la següent gràfica. Aquesta engloba el canvi de massa en funció de la temperatura aplicada a la proveta.

A la gràfica es podrà observar que hi ha varies etapes que es diferencien entre si per un seguit de pendents més senyalades que la pròpia etapa. Aquestes etapes s'anomenen etapes de descomposició. Com a norma general, les causes del canvi de pes són:

- Reaccions de descomposició
- Reaccions d'oxidació
- Vaporització
- Sublimació
- Desorció





Gràfica 5 - Taula resultats TGA

Com a resultat d'aquesta gràfica podem diferenciar, com és habitual en aquests tipus d'assaigs, quatre etapes que a continuació es defineixen, amb elles també s'especifica el significat de cada un tipus de corba.

A la primera etapa podem observar una pèrdua de pes d'es de l'inici de l'assaig fins a més o menys als 100°C, això és degut a la pèrdua de l'aigua que podien dur les diferents mostres, aquesta corba és molt regular a totes les mostres. Hi ha doncs una deshidratació de l'Hidrat de Silicat Càlcic (CSH) Tot i així podríem dir que quan la dosificació conté més aigua, aquesta disminueix més de pes.

La segona fase es defineix a partir dels 100°C, una vegada s'ha perdut tota l'aigua, fins a uns 500°C. Aquesta corba ens presenta una ràpida pèrdua de massa inicial i una regularització posterior d'aquesta. Això ens porta a pensar que s'estan creant els processos de desorció i assecat. Les diferents dosificacions presenten més o menys la mateixa proporció de pèrdua de massa tot i que una vegada més les provetes amb més aigua són les que disminueixen de pes amb més celeritat. Al final doncs d'aquesta etapa la defineix la descomposició de l'Hidròxid Càlcic (HC) en CaO.

La tercera fase la comprendria aquesta zona des dels 500°C fins als 700°C una vegada més també es diria que aquesta pèrdua de massa pertany a processos de desorció i assecat complet de les diferents peces.

Per últim, fins als 900°C finals del procés observem una ràpida pèrdua de massa i una estabilitat final. Aquesta corba ens mostra una descomposició de les mostres amb un procés simple. A partir d'aquest tram podem veure com incorporant la derivada de la funció de pèrdua de pes la resta de pèrdua és molt similar en totes les mostres.

Finalment, com a comentari del resultat final cal esmenar que aquelles provetes que més material content de CEM I són les que han conservat més massa al final del procés. En canvi per altra banda, les dosificacions amb més aigua i nanofibra han volatilitzat aquests dos últims materials deixant només la poca quantitat de ciment que portaven. També cal esmenar que la corba del 0% és poc habitual en el tram final. Hauria de ser més similar a la resta.

### APLICACIÓ

L'aplicació resultant a la construcció d'aquests assaigs només ens defineix un dels dos resultants, justament el TMA. Hem pogut observar que les dosificacions amb més quantia de nanofibra eren les que més expansió tèrmica patien així que a la construcció es podrien utilitzar amb formigons estructurals per a evitar aquestes esquerdes per dilatacions i retraccions.

## ASSAIG DE TRANSMITÀNCIA TÈRMICA

### INTRODUCCIÓ

En aquest assaig el que es pretén és determinar el coeficient de conductivitat tèrmica,  $\lambda$  (W/mK o W/m°C), aquest paràmetre expressa la propietat fisicoquímica de tot material en que defineix: la quantitat de calor que passa en una unitat de temps a través d'una unitat d'àrea d'una mostra d'extensió infinita, plans paral·lels i gruix unitari, quant estableix una diferència de temperatura entre les cares exposades d'un grau.

Amb aquest paràmetre i el gruix de l'element assajat, entre les dues cares plano-paral·leles i perpendiculars o semi-perpendiculars (angle d'incisió  $> 60^\circ$ ) al flux de calor, en podem determinar la capacitat aïllant de la mateixa.

Per al camp dels materials per a la construcció, aquest paràmetre ens permetrà conèixer les propietats de transmissió de calor d'aquest material, i que d'acord amb una composició de possibles elements i de diferents solucions constructives validat per la conformitat de la normativa vigent. Aquesta normativa en matèria de construcció a Espanya, be reglada per el CTE concretament en el DB HE estalvi energètic, determina les exigents mínimes als materials i elements constructius de les seves característiques físiques i entre elles la de transmissió de calor.

Fem constar que el treball al no estudiar cap aplicació concreta en la construcció, es recomana que en futurs estudis en el mateix camp d'aquest treball es consulti i/o es faci una simulació en que el material es pugui aplicar, tot consultant el catàleg d'elements constructius del CTE. Així un cop estudiades totes les qualitats del material se'n pot trobar l'aplicació més idònia per a la construcció, també amb aquest catàleg es podrà determinar la transmissió de calor del conjunt de l'element constructiu del qual en formi part el nou material format per ciment CEM 1 mes CNF de cel·lulosa de PI.

El mètode seguit per la determinació del coeficient de conductivitat tèrmica de les mostres elaborades per a quest assaig, és el de l'anàlisi de transmissió de calor en règim estacionari mitjançant el mètode de la caixa calibrada normalitzada per la norma UNE-EN ISO 8990:1997.

A fi i efecte de seguir les indicacions d'aquesta norma i de la no disposició d'una caixa calibrada, hem agut de construir una segona caixa tèrmica calibrada i a escala a la homologada. Això ha esdevingut així per la situació de que s'han dut a terme diferents treballs d'investigació en que han confluït en les mateixes dates per a l'estudi tèrmic, i que un en concret n'ha hagut de disposar de la primera caixa tèrmica per un període llarg, en el qual la caixa tèrmica no ha estat

lliure en cap moment. En l'apartat de l'annex C en que es descriu la construcció de la segona caixa tèrmica per nosaltres.

## NORMATIVA

Tal i com hem esmentat en l'apartat anterior la norma UNE a seguir per a aquest assaig, ha estat la UNE-EN ISO 8990:1997.

Aquesta ens determina els principis per al disseny de aparells i exigències mínimes per a la determinació de transmissió tèrmica en estat estacionari per als elements de construcció. Les propietats que es poden llegir són: el coeficient de transmissió tèrmica i la resistència tèrmica. S'hi especifiquen dos mètodes possibles, el de caixa calenta guardada i el de caixa calenta calibrada, que és el que duem a terme nosaltres. En el cas nostre com és una petita mostra de 0,04 x 0,16 m de superfície del material, i que la norma ens determina que la superfície mínima hauria de ser de 1,5 x 1,5 m, que aquesta si que en podria formar part d'una mostra significativa de la construcció i per això que no es podran donar per bons els resultats obtinguts, donat que s'hauria de fer amb una mostra prou important que en representes la realitat.

## PROCEDIMENT

En primer lloc, com a altres assaig, degut a la dificultat de l'elaboració de les CNF de Pi i la correcte barreja del material per obtenir prou material s'ha disposat a l'elaboració de provetes de dimensió 40 x 10 x 160 mm, i un nombre de 3 per a cada dosificació i que tot i saber que és un nombre insuficient al que diu la norma, s'ha dut a terme així donat a l'abast d'aquest treball.

Es procedeix a es explicar en que consisteix l'assaig, i es que es tracta de disposar la mostra fixada en un marc construït expressament per a aquesta finalitat. Aquest es disposa entremig de dues caixes anomenades: cambra calenta, la qual te una font de calor i que una de les cares de la proveta en queda exposada, l'altre és la cambra freda i que també hi queda exposada l'altre cara de la proveta.

El marc està construït de manera que queda totalment segellada la proveta, amb la finalitat de que no hi hagi transmissió de calor en cap altre lloc que no sigui per la proveta. La construcció d'aquest marc es descriu en l'annex C.

La caixa tèrmica a l'interior conté uns sensors anomenats termoparells que van enregistrant la temperatura a intervals de 1 minut de les següents disposicions: 2 Termoparell estan dintre de la cambra calenta, un al centre de la caixa calenta, enregistra la temperatura ambient, i l'altre a la cara de la proveta que dona a la cara calenta. A l'altre cambra, la freda també hi han 2 termoparells, un al centre de la càmera i l'altre a la cara de la proveta que dona a aquesta cambra freda.

El procés a seguir per a la col·locació dels termoparells és el de fixar-los a les cares amb una cinta adhesiva metàl·lica d'alumini, que condueixi el calor per tal de no interferir en la mateixa a la peça. S'ha tingut la precaució de protegir el termoparell de la cambra calenta amb llana de roca, de tal manera que la lectura de la temperatura provingui de la proveta i no de l'ambient de la cambra calenta.

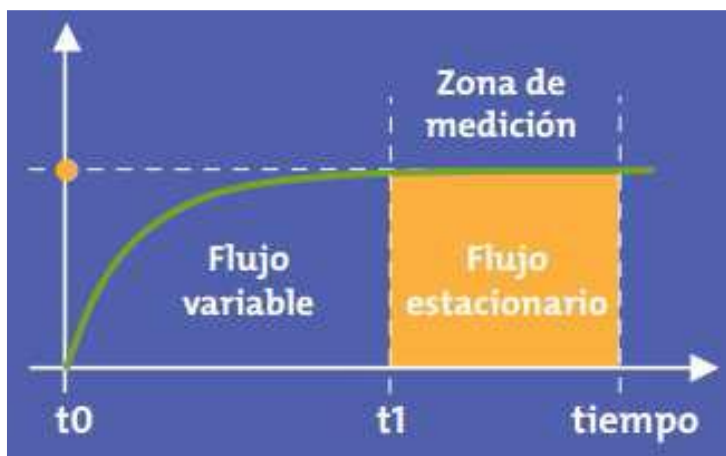
La norma UNE-EN ISO 8990:1997, apartat 2.7.5 "*Regulación de temperaturas*" ens determina el regim estacionari, aquest es dona quant la peça té una diferència de temperatura entre les seves cares sigui estable i que no es modifiqui inferior al 1%. Així doncs el règim estacionari vindrà determinat en el moment en que en un mínim de 3 lectures consecutives en un moment semblant però espaiades en el temps per una hora., que la temperatura de la cambra calenta i la freda siguin iguals a si mateixes amb una variació de 0,5°C.

Els cicles de temperatura que s'han analitzat de la cambra calenta durant els assaigs s'ha detectat que la tot i regular el termòstat a 60°C, la temperatura d'aquesta cambra calenta va oscil·lant entre 61,6°C, temperatura màxima, i 59,9°C, temperatura mínima.

L'obtenció del règim estacionari varia en funció de les peces, la humitat exterior i si el canvi de col·locació de les peces es fa ràpidament aprofitant-ne les temperatures de la proveta anterior, aconseguint d'aquesta manera una estabilització més ràpidament. L'assoliment d'aquest regim l'hem estipulat a partir de la 3era hora. Tot hi això, com ja hem esmentat que no hem pogut disposar de la caixa tèrmica prou temps per dur a terme els assaig amb una durada mínima de 6 hores s'ha procedit de la següent manera: hem assajat 1 proveta de cada dosificació un mínim de 6 hores per a determinar correctament el règim estacionari i la resta de provetes s'han assajat 3 hores i mitja i obtenir dades per poder tenir dades per els càlculs ja en aquesta estadia.

Es cita el text de la norma UNE-EN ISO 8990:1997, on ens determina la presa de dades i la seva durada en l'apartat 3.5 "*duracions de la medidas*". També s'aporta un gràfic representatiu de les fases de l'assaig.

*El tiempo necesario para la obtención de la estabilización para los ensayos en régimen estacionario, dependen de factores tales como la resistencia térmica y la capacidad térmica de la probeta, los coeficientes superficiales, la existencia de una transferencia de masa y/o una redistribución de la humedad en el interior de la probeta, el tipo y el funcionamiento de los sistemas de regulación automáticos del equipo. A causa de las variaciones de estos factores, es imposible dar un criterio único para el estado estacionario. Un ejemplo sobre las exigencias requeridas para el estado estacionario, se da a continuación: Las mediciones de R, U,  $\phi p$  y T efectuadas en un intervalo de tiempo de al menos 3h después de haber obtenido una cierta estabilidad, deben coincidir o concordar en un 1% aproximadamente y los resultados obtenidos no deben variar en el mismo sentido. (...)*



Fotografía 56 – Gràfic tipus s'identificació del règim estacionari

Per a el càlcul del coeficient de conductivitat tèrmica,  $\lambda$ , caldrà fer la mitjana aritmètica de les temperatures que tot seguit relacionem:

- Temperatura ambient de la cambra calenta ( $T_{ai}$ )
- Temperatura de la cambra freda ( $T_{ae}$ )
- Temperatura superficial de la cara calenta ( $T_{si}$ )
- Temperatura superficial de la cara freda ( $T_{se}$ )

Tot seguit es determinen les característiques físiques de cada proveta, també es termina el valor de la resistència de les cares de les provetes ( $R_s$ ) a partir de les taules estandarditzades extretes del CTE DB HE-1. El valor be determinat per la direcció del flux de calor i la consideració de les cambres. Ens recolzem a la taula en que el flux és horitzontal amb cares interiors, tal i com es mostra a la taula:

Tabla E.1 Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en  $m^2K/W$

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor	$R_{se}$	$R_{si}$
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo horizontal	0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente	0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente	0,04	0,17

Figura 1 – Taula de resistències superficiales (CTE DB-HE 2009)

Per tant el nostre valor  $R_s$  en serà la resultant de la suma de dues vegades la  $R_{si} = 0,13 m^2 \text{ } ^\circ C/W$ , essent el valor resultant de  $R_s = 0,26 m^2 \text{ } ^\circ C/W$ . Ara que ja tenim aquestes dades, es procedeix

a trobar el coeficient de conductivitat tèrmica  $\lambda$  (W/m<sup>0</sup>C), la transmitància tèrmica U (W/m<sup>2</sup> °C) i el flux de calor Q (W), en caldrà aplicar algunes formules de la tèrmica.

Antes de esmentar les formules en el projecte es deixen clars alguns conceptes, la formulació emprada es la descrita per la Norma UNE EN ISO 8990:1997 de la caixa calenta i aplicades en altres projectes.

#### Resistència Tèrmica interna

Oposició al pas d'un flux de calor, en que és la resistència tèrmica referida a una unitat de superfície unitària depenent del gruix d'aquesta superfície i del seu coeficient de conductivitat tèrmica.

$$R = e/\lambda$$

On:

- R és la resistència tèrmica en (m<sup>2</sup> °C/W)
- e és el gruix de la superfície en (m)
- $\lambda$  és el coeficient de conductivitat tèrmica en (W/m °C)

#### Transmitància (U) o Coeficient de Transmissió tèrmica (K) d'un tancament

És la inversa de la resistència tèrmica total. Expressa el flux de calor per unitat de superfície i de temps i per grau de diferència de temperatura entre els dos ambients que separa el tancament.

$$U = 1/R$$

On:

- U és la transmitància en (W/m<sup>2</sup> °C)

Formula1: de flux de calor

$$Q = \frac{S \cdot \lambda \cdot (T_{si} - T_{se})}{e}$$

On:

- Q és el valor del flux de calor en (W)
- S és l'àrea de la proveta en (m<sup>2</sup>)
- e és el gruix de la proveta en (m)



- $\lambda$  és el coeficient de conductivitat tèrmica en (W/m °C)
- (Tsi-Tse) és l'increment de temperatures de la superfície entre cara calenta i freda en (°C)

Formula2: de quantitat de calor que passa a través d'un tancament per una unitat de temps

$$Q = S \cdot U \cdot (T_{ai} - T_{ae})$$

On:

- Q és el valor del flux de calor en (W)
- S és l'àrea de la proveta en (m<sup>2</sup>)
- U és la transmissió en (W/m<sup>2</sup> °C)
- (T<sub>ai</sub>-T<sub>ae</sub>) és l'increment de temperatures de l'aire entre cambra calenta i freda en (°C)

Formula3: de la Temperatura de la superfície interior d'un tancament.

$$T_{si} = T_{ai} - \frac{(T_{ai} - T_{ae}) \cdot U}{h_i}$$

On:

- T<sub>ai</sub> és la temperatura de la cambra calenta
- (T<sub>ai</sub>-T<sub>ae</sub>) és l'increment de temperatures de l'aire entre cambra calenta i freda en (°C)
- h<sub>i</sub> és el Coeficient superficial de transmissió interior ( 1/h<sub>i</sub> = R<sub>si</sub>)
- U és la transmissió en (W/m<sup>2</sup> °C)
- T<sub>si</sub> és la temperatura de la cara calenta

Un cop tenim les 3 formules amb les 3 incògnites:  $\lambda$ , U i Q, es disposa a transformar la 3era formula fins a aïllar la incògnita a aïllar la U.

$$U = \frac{(T_{ai} - T_{si})}{(T_{ai} - T_{ae}) \cdot R_{si}}$$

On:

- T<sub>sc</sub> és la temperatura de la cara calenta
- T<sub>c</sub> és la temperatura de la cambra calenta

- $(T_{ai}-T_{ae})$  és l'increment de temperatures de l'aire entre cambra calenta i freda en ( $^{\circ}\text{C}$ )
- $U$  és la transmitància en ( $\text{W}/\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
- $R_{si}$  és la resistència tèrmica superficial interior ( $\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{W}$ )

Amb la fórmula disposada d'aquesta manera podem calcular directament la transmitància,  $U$ , de la proveta.

Finalment amb la transmitància,  $U$ , coneguda ens disposem a resoldre per igualació les fórmules 1 i 2 i que quedaran resoltes de la següent manera:

$$Q = \frac{S \cdot \lambda \cdot (T_{si} - T_{se})}{e} \quad i \quad Q = S \cdot U \cdot (T_{ai} - T_{ae})$$

Igualades:

$$\frac{S \cdot \lambda \cdot (T_{si} - T_{se})}{e} = S \cdot U \cdot (T_{ai} - T_{ae})$$

Aïllant la  $\lambda$ :

$$\lambda = \frac{e \cdot S \cdot (T_{ai} - T_{ae})}{(T_{si} - T_{se})}$$

On:

- $\lambda$  és el coeficient de conductivitat tèrmica en ( $\text{W}/\text{m }^{\circ}\text{C}$ )
- $e$  és el gruix de la proveta en (m)
- $S$  és l'àrea de la proveta en ( $\text{m}^2$ )
- $(T_{ai}-T_{ae})$  és l'increment de temperatures de l'aire entre cambra calenta i freda en ( $^{\circ}\text{C}$ )
- $(T_{si}-T_{se})$  és l'increment de temperatures de la superfície entre cara calenta i freda en ( $^{\circ}\text{C}$ )

Ara per a trobar el valor de  $Q$ , només caldrà resoldre una de les fórmules 1 i 2.

## RESULTAT

Ens disposem a explicar amb un exemple els càlculs explicats i per tal d'agilitzar i fer més ràpida la tasca s'ha dissenyat un full de càlcul amb l'Excel per tal de determinar els paràmetres objecte d'aquest assaig,  $\lambda$ ,  $U$  i  $Q$ , amb les dades obtingudes amb la caixa tèrmica. Un cop obtingut

els resultats se'n podran treure conclusions i valorar les característiques tèrmiques de les diferents provetes amb diferents dosificacions.

En la següent fotografia es mostra la conductivitat tèrmica del ciment CEM1 (32,5 N) extret de la web de la Universitat de Barcelona, en que es veu com a  $T_{amb}$  la conductivitat tèrmica,  $\lambda=0,530$  W/m·K. Com que nosaltres ens hem basat en tot el projecte amb un ciment CEM 1 (52,5 N) hem trobat una altre dada

Conductividad térmica:

A la temperatura de:	Conductividad térmica
$T_{amb}$	0.530 W/m·K

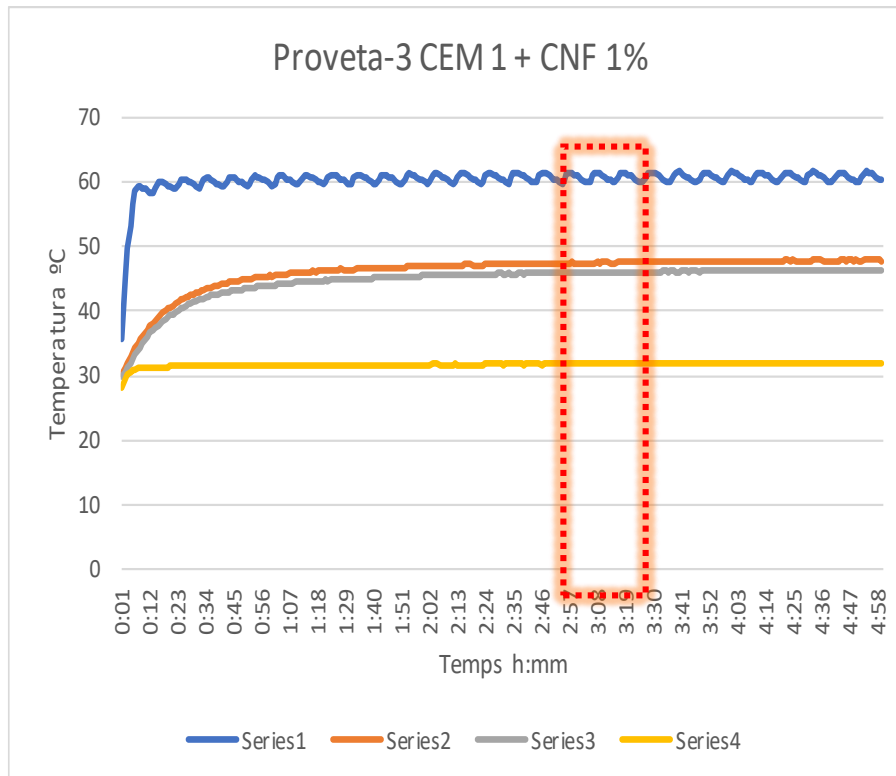
Fotografia 57 – Conductivitat tèrmica CEM 1 (32,5 N). Font: Web universitat de Barcelona (<http://www.ub.edu/cmematerials/es/content/cemento-portland>)

Per validar els resultats s'ha dut a terme l'assaig amb provetes de només ciment CEM 1. Per tal de contrastar amb la dada de la Universitat de Barcelona.

Tot seguit s'adjunta part d'una taula en que se'n extreuen les dades com a exemple del procediment explicat.

TEMPS	CAMARA CALENTA	CARA CALENTA	CARA FREDA	CAMARA FREDA
3:00	54,0727	41,04375	39,88223	26,32238
3:01	54,10899	41,0729	39,88515	26,3359
3:02	54,12779	41,19265	39,94029	26,33594
3:03	53,9795	41,18237	39,95144	26,3685
3:04	53,80652	41,09813	39,92029	26,35702
3:05	53,60868	41,03146	39,98995	26,43211
3:06	53,78561	41,06343	39,99286	26,3867
3:07	54,17179	41,1481	40,01148	26,42744
3:08	54,3755	41,17161	40,03407	26,43285
3:09	54,32147	41,14423	40,05184	26,39401
3:10	54,21054	41,16766	40,05238	26,43262
3:11	54,10482	41,18451	40,03623	26,35968
3:12	53,929	41,12669	39,97448	26,32569
3:13	53,82219	41,05486	40,06279	26,45153
3:14	54,05078	41,18596	40,05338	26,44719
3:15	54,3716	41,18422	39,98152	26,37876
3:16	54,51196	41,28104	40,0125	26,42636
3:17	54,47147	41,27742	40,07381	26,41109
3:18	54,26009	41,28262	40,04067	26,41019
3:19	54,05182	41,20893	40,09294	26,4705
3:20	53,90791	41,21146	40,06529	26,49966
3:21	54,08626	41,24195	40,08347	26,49118
3:22	54,40623	41,31384	40,06196	26,47357
3:23	54,57085	41,35325	40,11524	26,51726
3:24	54,58107	41,30447	40,13568	26,49476
3:25	54,47985	41,35909	40,15233	26,52993
3:26	54,23154	41,27199	40,17558	26,5464
3:27	54,07675	41,25588	40,18583	26,54655
3:28	54,10085	41,27632	40,14405	26,52797
3:29	54,40584	41,31165	40,12263	26,47407

Taula 18 – Extracte de dades per a els càlculs de A, R i U. (Proveta-3 de CEM 1 + CNF 1%)



Gràfica 6 – Evolució de les temperatures a la caixa tèrmica i marcat de rang de dades per al càlcul

Un cop es determina l'inici de l'estabilització del regim estacionari de l'assaig, es prendrà sempre el mateix rang de dades des de aquest inici, tal i com es mostra en la gràfica anterior. S'adjunta la correlació de les diferents sèries amb les temperatures de cada part de la caixa tèrmica amb la següent taula.

Correlació de numero de sèrie amb temperatura de la caixa tèrmica	
Sèrie 1	Cambra calenta ( $T_{ai}$ )
Sèrie 2	Cara calenta ( $T_{si}$ )
Sèrie 3	Cara freda ( $T_{se}$ )
Sèrie 4	Cambra freda ( $T_{ae}$ )

Taula 19 – Correlació de numero de sèria amb lectura de dades a l'interior de la caixa tèrmica.

Es realitza la mitjana aritmètica de la Taula 18 de les dades de cada temperatura i s'inicia el procés de càlcul.

TEMPERATURA (°C)			
$T_{ai}$	$T_{si}$	$T_{se}$	$T_{ae}$
60,74	47,53	46,04	31,85

Taula 20 - Mitjana aritmètica de la Taula 18

INCREMENT DE TEMPERATURES (°C)	
$T_{ai}-T_{ae}$ (°C)	$T_{si}-T_{se}$ (°C)
28,89	1,49

Taula 21 – Increment de temperatures de la proveta 3 de CEM 1 + CNF 1%

El pas següent és determinar la superfície en m<sup>2</sup> i el gruix en m<sup>2</sup> de cadascuna de les provetes sotmeses a l'assaig. Així es mostra de la proveta 3 de la dosificació de CNF al 1%.

MESURES PROVETA Num 3		
	mm	m
LLARG	160,16	0,1602
AMPLE	39,92	0,0399
GRUIX	9,85	0,0099
	mm <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
SUPERFICIE	6393,59	0,0064

Taula 22 – Determinació de les dimensions i determinació de la superfície de la Proveta 3 de CEM 1 + CNF 1%

S'ha de determinar els valors de les Resistències superficials ( $R_{si}$ ,  $R_{se}$  i  $R_s$  “suma de les dues anteriors”)

$R_{si}$	0,13
$R_{se}$	0,13
$R_s$	0,26

Taula 23 – Valors de resistències superficials.

A continuació s'aplica la següent fórmula, per tal de trobar el valor de la transmitància, U, de cada una de les provetes.

Càlcul de la transmitància U	$U = \frac{(T_{ai} - T_{si})}{(T_{ai} - T_{ae}) \cdot R_{si}}$	3,52	W/m <sup>2</sup> °C
------------------------------	--	------	---------------------

Taula 24 – Transmitància de la proveta 3 de CEM 1 + CNF 1%

En aquest punt procedim a determinar la conductivitat tèrmica,  $\lambda$ , de cada una de les provetes, la fórmula que permet fer-ho es la inclosa en la taula següent.

Càlcul de la Conductivitat $\lambda$	$\lambda = \frac{e \cdot S \cdot (T_{ai} - T_{ae})}{(T_{si} - T_{se})}$	0,67	W/m °C
--------------------------------------	---	------	--------

Taula 25 – Conductivitat tèrmica de la proveta 3 de CEM 1 + CNF 1%

Un cop obtingut el coeficient de conductivitat tèrmica,  $\lambda$ , es pot aplicar la següent fórmula per a conèixer el flux de calor da cada una de les provetes.

Càlcul del flux de calor Q	$Q = S \cdot \lambda \cdot (T_{si} - T_{se})/e$	0,65	W/m °C
----------------------------	---	------	--------

Taula 26 – Flux de calor de la proveta 3 de CEM1 + CNF 1%

En la següent taula es recullen els valors de cada proveta i es troba la mitja aritmètica per determinar el valor de la mostra.

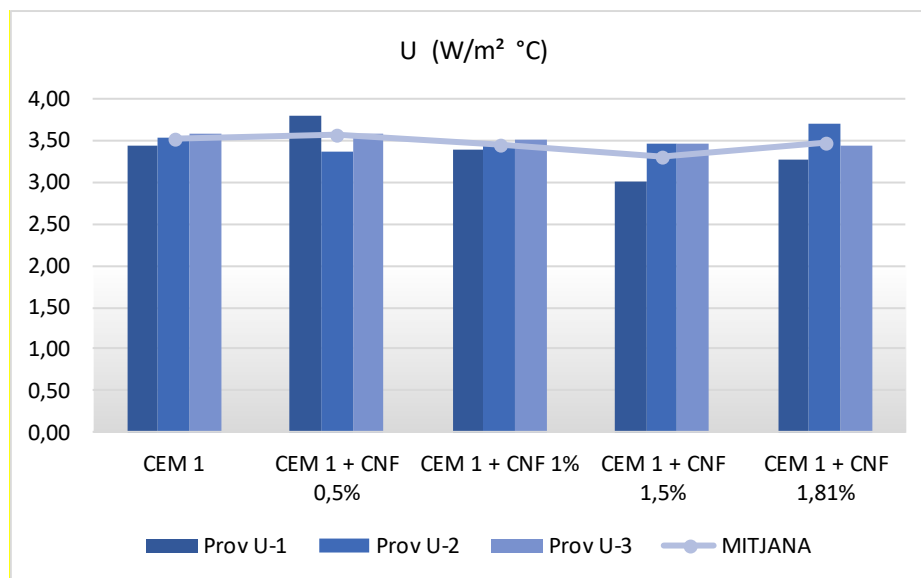
TEMPS	CAMARA CALENTA	CARA CALENTA	CARA FREDA	CAMARA FREDA
3:00	59,74768	47,64176	45,61002	32,0172
3:01	59,62682	47,57642	45,57462	31,94435
3:02	60,49483	47,69904	45,60319	31,9742
3:03	61,21998	47,77692	45,56148	31,96448
3:04	61,24564	47,70434	45,64588	31,99704
3:05	61,18816	47,78319	45,66821	32,02685
3:06	60,97355	47,762	45,71211	32,04543
3:07	60,70406	47,74748	45,66998	31,98812
3:08	60,41235	47,73028	45,673	31,98864
3:09	60,16955	47,72644	45,646	31,96883
3:10	59,88663	47,68525	45,66887	31,98473
3:11	59,66963	47,67584	45,66265	32,0358
3:12	59,85175	47,64806	45,63847	31,95324
3:13	60,81119	47,83033	45,63419	32,00476
3:14	61,22144	47,82492	45,66067	32,01852
3:15	61,12616	47,76636	45,66796	31,98802
3:16	61,03473	47,80113	45,73889	32,00108
3:17	60,78695	47,79208	45,69657	31,96511
3:18	60,51781	47,81218	45,6931	31,96988
3:19	60,28844	47,80867	45,73361	32,03368
3:20	60,00041	47,75464	45,67923	31,9676
3:21	59,81712	47,75912	45,71478	32,04552
3:22	59,79258	47,73338	45,77349	32,03909
3:23	60,59279	47,80036	45,70922	32,02104
3:24	61,148	47,81375	45,69859	32,00454
3:25	61,21048	47,91011	45,69658	31,9971
3:26	61,13213	47,90477	45,67258	31,99231
3:27	60,83032	47,84811	45,74675	32,02589
3:28	60,63255	47,86937	45,81422	32,07625
3:29	60,35053	47,82172	45,75219	31,99953

Taula 27 - Resultats assaig tèrmic mètode de caixa calibrada

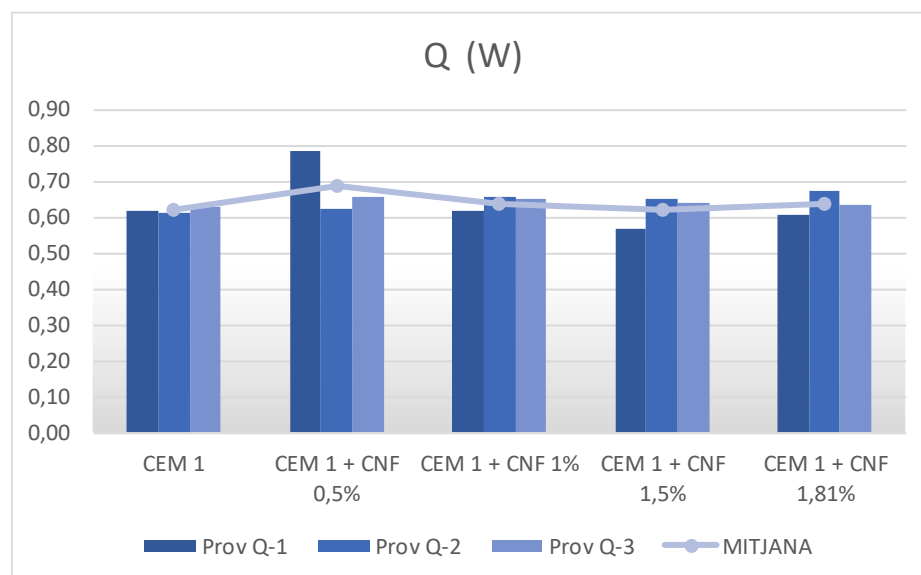
La Taula 27 conté els valors obtinguts per la caixa tèrmica d'un temps determinat i a un temps desde la posta en marxa de la mateixa.

Tot seguit es representen els resultats obtinguts, un cop fets els càlculs, de la transmissió i la conductivitat tèrmica juntament amb la del flux de calor.

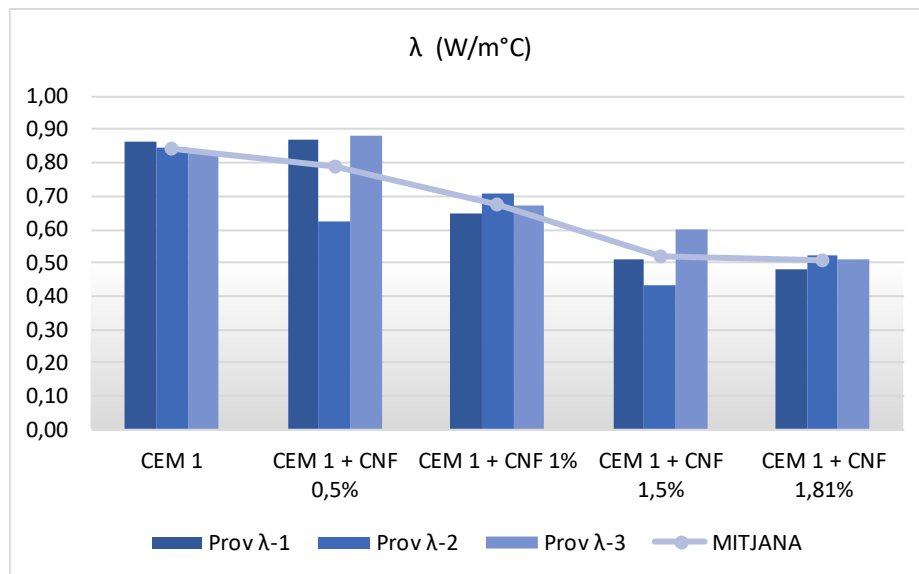




Gràfica 7 – Resultats de la Transmitància Tèrmica



Gràfica 8 – Resultats de Flux de Calor



Gràfica 9 – Resultats de la Conductivitat Tèrmica

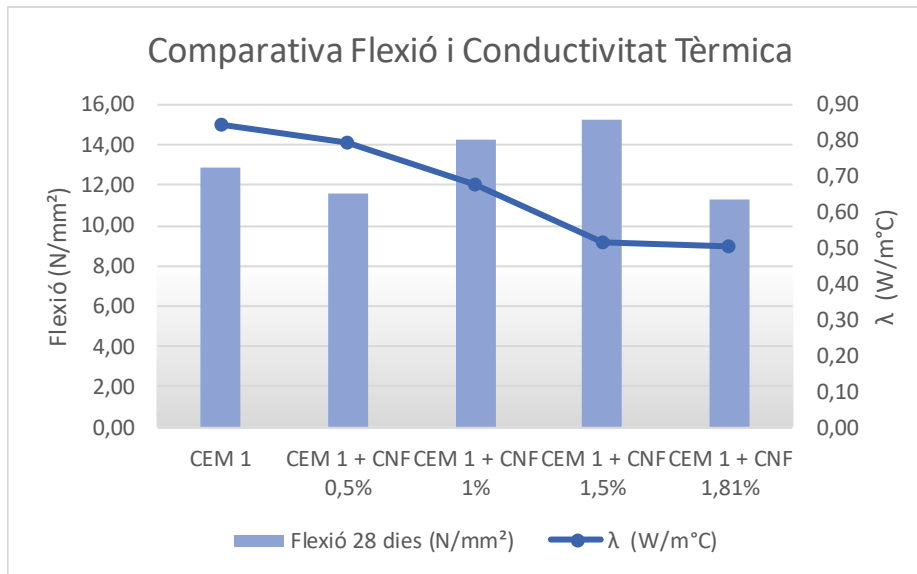
La transmitància tèrmica i el flux de calor no segueixen ben bé un tendència descendent però l'insinuen, de tal manera que ja ens indiquen que poden tenir incidència envers a les provetes de contrast de ciment CEM 1.

En l'últim gràfic es veu clarament la regressió de la conductivitat tèrmica i per tant la millora és prou significativa com per estudiar en futurs treballs en aquest camp com per fer un estudi tèrmic molt més acurat.

En acabat posem en comú els resultats de flexió amb aquets últims de tèrmica per tal de determinar quina és la dosificació mes idònia de quantitat de nanofibres amb el ciment CEM 1. Així mateix s'observa que aquesta és la de 1,5% de CNF en pès, tal i com es veu en la següent taula, acompanyada de la gràfica.

	CEM 1	CEM 1 + CNF 0,5%	CEM 1 + CNF 1%	CEM 1 + CNF 1,5%	CEM 1 + CNF 1,81%
λ (W/m°C)	0,84	0,79	0,68	0,52	0,51
Flexió 28 dies (N/mm <sup>2</sup> )	12,83	11,60	14,26	15,21	11,31

Taula 28 – Comparativa Flexió i Tèrmica.



Gràfica 10 – Gràfica de comparació entre Flexió i Tèrmica.

### APLICACIÓ

L'aplicació d'aquest material a la construcció en quant a l'assaig de Transmissió tèrmica seria bona la seva aplicació com a un element més d'un conjunt d'una fulla. Clarament s'observa una millora en la conductivitat tèrmica i per tant es podrien afegir nanofibres en el ciment CEM 1 i formar un material nou i que conjuntament als diferents elements envoltants d'una edificació en poden millorar-ne les propietats tèrmiques.

# CONCLUSIONS

Aquest apartat final del nostre projecte, com a qualsevol projecte d'investigació sintetitza els resultats d'aquest. Per tant, podríem dir que les conclusions són el producte resultant dels objectius generals i específics traçats des de l'inici. Durant les següents línies d'aquesta secció de la nostra investigació serà on conclourem els aspectes més rellevants.

Tot i que dins de cada un dels assaigs que s'han realitzat hi ha un apartat de resultat on s'hi explica més extensament cada un dels casos, aquí de manera més genèrica es redactaran quines són les conclusions finals i més rellevants.

## DESTACAT

En aquest capítol resumirem tots aquells fets que com a novells en la matèria ens han sobtat ja sigui per quelcom que no esperàvem com per un senzill fet teòric que a la pràctica no ha resultat igual.

Com a més destacat d'aquesta investigació senyalem varis punts dels tractats:

### EL TREBALL AMB LA NANOFIBRA

Un bon apartat com per poder realitzar un sol estudi titulat "l'adhesió de nanofibra en el ciment". Per si fos senzill el procés de fabricació de la nanofibra de cel·lulosa, un pas tant senzill com el barrejar-la amb el ciment se'ns ha convertit en un mon.

El fet de barrejar-la de forma que poguéssim obtenir una amalgama suficientment dispersa ha estat molt complicat ja que a la vegada havíem d'utilitzar un percentatge d'aigua no molt elevat i la nanofibra de seguida agafa molta consistència. És per aquest motiu que s'han utilitzat diferents mètodes no normalitzats de barreig.

### RESISTÈNCIA DEL CIMENT TUPUS I

No érem conscients de la gran capacitat de resistència a compressió que una proveta de "control" de sols ciment tipus CEM I podia obtenir. Per tal de poder assajar les provetes de 4x4cm de superfície hem hagut de menester en alguns casos prop de 300KN.

### RETRACCIÓ PROVETES NORMALITZADES

Durant la realització de l'assaig de durabilitat amb les provetes normalitzades de format 40x40x160mm, hem descobert que al cap de 10 cicles aquestes es trencaven realitzant un esforça a flexió amb les pròpies mans.

Això era degut a que aquestes, degut a la saturació i evaporació experimentaven una retracció interna. Doncs llavors no vam poder assajar-les.

### QUANTIA DE PROVETES

Per a la realització d'aquest projecte d'investigació s'han realitzat prop de 275 provetes per a poder fer tots els assajos descrits anteriorment. Cert és que des de bon principi no pensàvem que arribaríem a necessitar tal xifra de provetes amb el que això comporta en quant a temps de fabricació i curat.

## CONCLUSIÓ FINAL

En aquest apartat hi trobem aquella hipòtesi final, tot i que gràcies als diferents assajos que s'han realitzat hem pogut obtenir varies conclusions.

### RESISTÈNCIA A FLEXIÓ I TÈRMICA

Al cap i a la fi i sense desmerèixer cap altre assaig, els més determinants han estat els de flexió, compressió i tèrmica, una vegada vist que la incidència de la nanofibra no transcendeix amb massa influència pel que els altres assajos fan. Suposant que això ha resultat així per la poca quantia de nanofibra adherida a l'amalgama.

En primer lloc cal parlar dels resultats de resistència a flexió a la vegada que parlem dels de transmitància tèrmica. Aquests dos assajos són els que millors resultants han donat en quant a les seves propietats.

Com veiem a la gràfica 10 de l'assaig de transmitància tèrmica, la resistència a flexió ha resultat experimentar una millora, hem pogut afirmar que aquesta millora del ciment una vegada s'hi ha afegit la nanofibra ha arribat a una millora a flexió del 16% afegint-hi només un 1,5% de material. A la vegada, també hem pogut observar com la nanofibra millora molt les prestacions de transmitància tèrmica, també a la taula podem observar com aquests valors disminueixen a més quantitat de nanofibra a la vegada que milloren aquesta transmitància.

Com a contra hem de dir que s'ha d'anar amb molta cautela amb la nanofibra ja que cal esmenar que tot i guanyar fins a un 16% de la seva resistència a flexió hem perdut a la vegada 45% de la seva resistència a compressió.

Finalment, hem d'esmenar que els resultats dels assaigs mecànics els hem obtingut amb unes desviacions considerables, tant a flexió com a compressió. Això ho atribuïm a la dispersió de les nanofibres dins les mateixes provetes, la nanofibra reclama una energia de dispersió molt gran per evitar que es cohesioni en si mateix i de manera que quedi molt distribuïda per la proveta. Hem pogut veure com aquesta nanofibra de cel·lulosa actuava de lligam entre els cristalls de ciment però evidentment només a les zones on n'hi havia, si s'aconseguís una millor dispersió d'aquesta segurament milloraríem els resultats dels assaigs i a la vegada les desviacions.

## NOVES LINIES D'INVESTIGACIÓ

Com ja hem comentat amb anterioritat creiem adient l'estudi d'aquests mateixos materials treballats conjuntament però no en forma de barreig abans de ser emmotllats juntament. Sinó per estrats on una proveta portés a la seva part inferior més quantitat de nanofibra que a la superior en forma de capes. D'aquesta manera aconseguiríem una millor acció de les nanofibres en la zona de les provetes on més reclam a flexió hi ha, en canvi, a la part superior on la necessitat és de compressió no hi haurien nanofibres que fan disminuir considerablement aquesta necessitat.

Per altra banda també proposem com a nova línia d'investigació la pròpia dispersió de les nanofibres a la barreja per tal de que els resultats finals no tinguessin una desviació com la que hem obtingut, aconseguint així uns resultats més homogenis.

A la vegada, i per poder seguir amb el mateix sistema de barreig utilitzat per nosaltres, proposem investigar un altre sistema o un altre procediment per aconseguir una millor dispersió de la nanofibra dins les provetes. Degut a que les nanofibres requereixen d'una gran energia de dispersió hem trobat tals d'aquest material dins les provetes perceptibles a partir de les 30 micres. Si s'aconseguís solucionar aquest entrebanc segurament la desviació dels resultats obtinguts no desviarien tant entre ells.



## APLICACIÓ

Per acabar cal definir quina seria l'aplicació final d'aquest compost de materials caracteritzat. Aquesta hauria de ser clarament en matèria d'estructura, essent tant evident la millora a flexió es podria utilitzar en tots aquells elements que formen part de l'estructura de qualsevol edificació a mode i treball de flexió. Cert és també que vista la minva a compressió faria falta estudiar molt bé en quins elements s'utilitza aquest material, però ben analitzat es podrien reduir moltes de les seccions de biguetes, jàsseres i lloses entre d'altres.

Aquesta aplicació però hauria de ser sempre amb materials prefabricats degut a que la confecció i tractament de la nanofibra resulta molt meticulosa i delicada com per realitzar-se en el procés d'execució d'una obra.

En quan a l'aplicació de la nanofibra com a aïllament tèrmic ho veiem com complicat ja que es necessiten grans superfícies d'un material que és molt costós de fabricar i molt delicat. Si s'utilitzés a la vegada que s'utilitza en elements estructurals seria més adient, però els elements estructurals que recomanaríem serien només aquells que no formen grans superfícies de l'evolvent.

# REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

## ARTICLES CIENTÍFICS

- E. Espinosa, Q. Tarrés, M. Delgado Aguilar, I. González, P. Mutjé, A. Rodríguez, (2016). Suitability of wheat straw semichemical pulp for the fabrication of lignocellulosic nanofibres and their application to papermaking slurries. *Springer Science+Business Media Dordrecht. Cellulose* (2016) 23:837–852. DOI: 10.1007/s10570-015-0807-8. Pàgina 840.
- O. Nechyporchuk, M. Naceur Belgacem, J. Bras, (25 December 2016). Production of cellulose nanofibrils: A review of recent advances. *Industrial Crops and Products. Volume 93, Pages 2-25, G Model INDCRO-8731; No. of Pages 24.* DOI: 10.1016/j.indcrop.2016.02.016
- Azwa, Z.N., Yousif, B.F., Manalo, A.C., Karunasena, W. (May 2013). A review on the degradability of polymeric composites based on natural fibres. *Materials and Design 47 (2013) 424–442.* DOI: 10.1016/j.matdes.2012.11.025
- S. Alila, I. Besbesa, M. Rei Vilar, P. Mutjé, S. Boufi, (Juny 2013). Non-woody plants as raw materials for production of microfibrillated cellulose (MFC): A comparative study. *Industrial Crops and Products. Volume 41, Issue 1, Pages 250-259.* DOI: 10.1016/j.indcrop.2012.04.028.
- M. Ardanuy, J. Claramunt, R. Arévalo, F. Parés, E. Aracri i T. Vidal (2012). Nanofibrillated cellulose (nfc) as a potential reinforcement for high performance cement mortar composites. *Bio Resources. Volum 7, Pag 3883-3894.*
- Y. Cao, P. Zavaterra, J. Youngblood, R. Moonc, J. Weiss, (February 2015). The influence of cellulose nanocrystal additions on the performance of cement paste. *Cement & Concrete Composites. Volume 56, Pages 73-83.* DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2014.11.008.

## WEBGRAFIA

- Universitat de Barcelona en que publica característiques i dades del ciment CEM 1 i que l'identifiquen: 32,5N / CEM1 (EN 197-1), Tipus 1 (ASTM) <http://www.ub.edu/cmematerials/ca/content/ciment-p%C3%B2rtland>
- Seneca, Instrumental DATA LOGGER instrumental de la caixa tèrmica. SENECA AUTOMATION INTERFACES. <https://www.seneca.it/linee-di->

[produtto/comunicazione-industriale-e-telecontrollo/apparati-gsmgprs-teleallarmedatalogger/z-logger-seal/](http://produtto/comunicazione-industriale-e-telecontrollo/apparati-gsmgprs-teleallarmedatalogger/z-logger-seal/)

### TESIS i TFG

- J. Canal (2016). *Influència de la pressió de fabricació i temperatura de cocció en la resistència a compressió i conductivitat tèrmica de la ceràmica porosa fabricada amb fangs procedents de centrals d'àrids*. TFG no publicat.

### NORMATIVA

- Comité Técnico CEN/TC 51 Cemento y cales de construcción, cuya Secretaría desempeña NBN. *UNE-EN 197-1. Cemento, Parte1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los Cementos comunes. (Septiembre 2011)*. Madrid. EN 197-1:2011. AENOR.
- Comité Técnico CEN/TC 51 Cemento y cales de construcción, cuya Secretaría desempeña IBN/BIN. *UNE-EN 196-1 Métodos de ensayo de Cementos Parte 1: Determinación de resistencias mecánicas. (Noviembre 2005)*. Madrid. EN 196-1:2005. AENOR.
- Comité Técnico AEN/CTN 83 Hormigón, cuya Secretaría desempeña ANEFHOP. *UNE-EN 83980. Durabilidad del hormigón. Metodos de ensayo. Determinación de la absorcion de agua, la densidad y la porosidad accesible al agua del hormigón. (Diciembre 2014)*. Madrid. EN 83980:2014. AENOR.
- Comité Técnico AEN/CTN 22 Minería y Explosivos, cuya Secretaría desempeña AITEMIN. *UNE-EN 14158. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la energía de rotura. (Diciembre 2004)*. Madrid. EN 14158:2004. AENOR.
- Comité Técnico AEN/CTN 92 Aislamiento térmico, cuya Secretaría desempeña ANDIMAT. *UNE-EN ISO 8990. Determinación de las propiedades de transmisión tèrmica en régimen estacionario. Metodos de la caja caliente guarada y calibrada (Junio 1997)*. Madrid. EN ISO 8990:1997. AENOR.
- Serveis Tècnics de Recerca de la Universitat de Girona. *Anàlisi termogravimètrica (TGA)*. <http://www.udg.edu/str/>
- Serveis Tècnics de Recerca de la Universitat de Girona. *Anàlisi termomecànica (TMA)*. <http://www.udg.edu/str/>

# ANNEXOS

## ANNEX A – FABRICACIÓ MOTLLES 10 x 10 x 70 mm

### COMPOSICIÓ

La fabricació dels 5 motlles necessaris consten de dos parts: el bloc, el qual és rígid per tal d'obtenir uns prismes de 10 x 10 x 70 mm iguals i regulars i la base transparent i ferma, per tal de fer inspecció ocular .

#### El bloc

Aquesta part esta construïda amb acer inoxidable. Mitjançant talls de barra de secció de 10 x 10 mm i 1 m de llarg. Per a la fabricació d'un motlle calen 7 talls de 130 mm de longitud i 12 talls de 30 mm de longitud d'una barra de secció quadrada de 10 x 10 m. Per tal de aconseguir els buits per a les futures provetes, la disposició és de entremig de les 7 barres llargues disposar les 12 barres curtes alineades per les cares exteriors, de tal manera que l'espai buit que queda al mig és de 10 x 10 x 70 mm.

Per tal de poder emmotllar i desemmotllar es perforen amb  $\varnothing 7$  mm totes les barres. Les llargues a 15 mm dels extrems i les curtes al centre, que coincideix a 15 mm dels extrems. Un cop foradades totes les peces es tallen dues barres roscades de M5 amb una longitud de uns 300 mm en que en un extrem s'enrosca una femella i una contra femella per tal de immobilitzar-les en un punt concret. S'enfilen les dos barres per tal d'immobilitzar les peces en el pla. Tot seguit s'assegura el muntatge amb una femella cupla per tal de poder manipular fàcilment amb les mans i poder fixar el motlle. Tot el muntatge forma un quadrat de 130 x 130 mm.

#### La base

La base del motlle és realitza amb polimetraquilat (PMMA), per tal de poder fer una inspecció visual en el moment de la elaboració de les provetes, ja que ens permetrà veure que la massa hagi omplert tot l'espai disponible i si no es així poder-ho corregir al moment i no esperar a que fregui la barreja. Aquesta té una superfície que en supera en 20 mm del bloc del motlle, amb unes dimensions de 180 x 180 mm. El PMMA es fixa al bloc amb 4 cargols al bloc per tal de poder emmotllar i desemmotllar bé.

### PROCES DE FABRICACIÓ

#### Disseny

En primer lloc s'elaboren uns plànols del bloc del motlle en el qual és determina l'especejament i dimensions de cada peça i la situació concreta dels forats per a poder fer el muntatge i desmuntatge correctament.

Plànol 1: Planta, Alçat i seccions.

Plànol 2: Perspectiva.

### Fabricació

Tallat de la barra de secció de 10 x 10 mm i 1000 mm de llarg a 7 trossos de 130 mm i 12 trossos de 30 mm. El tallat és realitza amb una serra de trepar de disc del taller de mecànica de la UdG situat al PII.

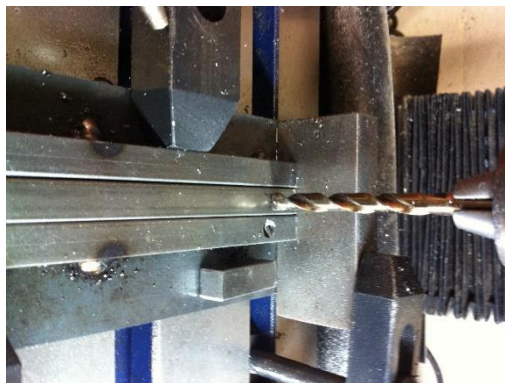
Foradar les peces transversalment amb trepat de sobretaula del taller de maquetes del PII a la UdG. El trepat el fem amb una broca de 7 mm de diàmetre, l'eix del mateix esta centrat i a 1,5 mm dels extrems.

Foradat i formació de la rosca de per a poder fixar la base de PMMA a la part inferior amb cargols de M4 x 1 mm. Per poder fer la rosca es trepa amb broca del 3,5 mm de diàmetre i a 40 mm dels extrems en les dues peces llargues anteriors a les exteriors. Posteriorment es forma la rosca amb la màquina de rosca de braç articulat del mateix taller de mecànica del PII de la UdG.

Tallat de la base de PMMA de forma quadrada i de 150 x 150 mm amb serra circular del taller de maquetes, posterior trepat dels forats per a fixar-la al bloc del motlle. Per a fer-ho es pren de guia el mateix motlle, el qual ja té els orificis de fixació fets, per tal de que amb posterioritat encaixi. En aquest moment és procedeix a marcar tant la base com el bloc del motlle, i així quant es desemmotlli es podrà tornar a emmotllar ràpidament.



Fotografia 58 – Barres ja tallades



Fotografia 59 – Trepat de barres

1. Tallat de barres
2. Barra llarga de 130 mm
3. Trepat transversal per muntatge
4. Trepat muntatge base i rosca
5. Tallat de base

## MAQUINÀRIA EMPRADA

Serra trepant de disc del taller de mecànica a l'edifici PII de l'escola politècnica de la UdG.  
Marca Tejero i model T 315 B.

### 1. Serra trepant de disc Tejero T 315 B

Màquina de rosca de braç articulat també està en el taller de mecànica a l'edifici PII de  
l'escola politècnica de la UdG. Marca Roscamat



*Fotografia 60 – Serra de disc*

### 2. Màquina de rosca amb braç articulat Roscamat

Trepant de sobre taula del taller de maquetes de a l'edifici PII de l'escola Politècnica de la  
UdG. Marca Belflex Model BF-32-VARIO.

### 3. Trepant Belflex BF-32-VARIO



## ANNEX B - MODIFICACIÓ DE MOTLLES DE 40 x 40 x 160 mm

### DESCRIPCIÓ

La missió és arribar a obtenir unes provetes de dimensions 10x40x160mm, un format amb característiques de plaquetes per tal d'evitar l'esforç de bieles en un assaig a flexió i a la vegada per realitzar aquells estudis de transmitància tèrmica que reclament una superfície considerable per un gruix relativament petit.

Els motlles de 3 provetes de 40x40x160mm s'adapten de tal manera per aconseguir aquestes provetes. Ja que aquest tipus de provetes ens permetran caracteritzar l'esforç a flexió pur, eliminant gairebé en la totalitat les bieles que formen part en tot element estructural sotmès a aquest esforç i realitzar un assaig de transmitància tèrmica adient.

### COMPOSICIÓ

#### Motlle 40 x 40 x 160 mm

Per una banda necessitem un motlle com els que hem utilitzat de dimensions 40x40x160mm.

#### Negatiu de 40 x 30 x 160 mm

Per tal de transformar els motlles estàndard de morters, es col·loca un negatiu de ferro mecanitzat de 40 x 30 x 160 mm. L'espai que en resta és de 40 x 10 x 160 mm d'aquesta manera en podem fer un enrassat correcte per la part superior per tal d'obtenir-ne aquestes provetes requerides pel procés.

## ANNEX C – FABRICACIÓ DE LA CAIXA TÈRMICA

### DESCRIPCIO

Per necessitats acadèmiques s'acorda construir una nova caixa tèrmica igual a l'existent, donat que hi han varies demandes d'aquest d'estudi d'altres estudiants.

La necessitat d'una caixa tèrmica per l'estudi de la transmitància la crea el fet de que aquest estudi s'ha de fer en un medi controlat tèrmicament i en el que no hi pugui haver alteracions externes.

La nova caixa tèrmica es compon exactament igual a l'existent, de dues caixes quadrades i metàl·liques obertes en una de les cares del cub, entre aquestes dues una vegada col·locades oposadament s'hi col·loca un marc de fusta. Dins aquest marc en forma de sandwich s'hi col·loca un aïllament tèrmic d'altres prestacions per evitar al màxim el pas de calor entre les dues cambres. En aquest mateix marc és on es fixarà la proveta a assajar. S'instrumenta una de les dues caixes amb un quadre de comandament i mesura del qual en deriven una resistència i 8 termopars

. Un termopar és un transductor format per la unió de dos metalls que produeix una diferència de potencial molt petita en funció de la diferència de temperatura. Aquests es col·loquen de forma simetria de la següent manera, 4 a la caixa calenta i 4 a la caixa freda.

### COMPOSICIÓ

Cada caixa té fixades quatre rodes per tal de poder-les desplaçar tot seguint uns rails i així unir-les o separar-les, a fi de poder enquibir un marc entre elles amb la proveta a assajar. Cada caixa està folrada en les 5 cares interiors del cub amb dues capes de plaques de suro de 5 cm de gruix a trenca junts, formant un gruix total d'aïllament de 10 cm de gruix.



Fotografia 61 – Caixa tèrmica en procés de trasdossat d'aïllament

Per tal que les unions siguin perfectes entre els diferents plans i no hi hagin escletxes per on hi puguin haver pèrdues, es rejunten amb llana de vidre. Tot seguit s'instrumenta la caixa calenta amb una resistència tèrmica al fons de la caixa (font de calor), a l'exterior de la mateixa s'hi fixa un quadre de comandament amb una placa base de captació de dades i una tarja amb connexions per poder ser transferides directament a un software en el pc.



Fotografia 62 – Resistència ja instal·lada

També s'hi instal·len dos LCDs per controlar les temperatures interiors de les dues cambres. A l'interior de les caixes s'hi fan arribar 4 termopars a cada una a fi d'obtenir lectures de temperatures. Els termopars obtindran lectures de l'interior de la cara calenta del marc on es fixa la proveta a assajar i seran els encarregats de transportar aquestes dades a la placa base i d'aquesta a l'ordinador on s'hi generarà una taula amb la que més tard treballarem i n'estudiarem els resultats obtinguts.

## ANNEX D – RESULTATS DE FLEXIÓ

Seguidament s'adjunten les taules i les gràfiques resum de tots els resultats dels assaigs a flexió realitzats a les diferents provetes. Per aquest ordre trobarem:

1. Taules de resultats de flexió provetes de control per formats
2. Gràfiques resum de resultats de provetes de control per formats
3. Taula resultats de flexió provetes 0,5% de nanofibra
4. Gràfiques resum de resultats de provetes 0,5% de nanofibra
5. Taula resultats de flexió provetes 1% de nanofibra
6. Gràfiques resum de resultats de provetes 1% de nanofibra
7. Taula resultats de flexió provetes 1,5% de nanofibra
8. Gràfiques resum de resultats de provetes 1,5% de nanofibra
9. Taula resultats de flexió provetes 1,81% de nanofibra
10. Gràfiques resum de resultats de provetes 1,81% de nanofibra
11. Taula resultats de flexió provetes 1,81\*% de nanofibra
12. Gràfiques resum de resultats de provetes 1,81\*% de nanofibra

Les taules es troben titulades amb la composició de les provetes que contenen, diferenciant amb color **vermell** la quantitat de nanofibra que hi ha a la mescla. Totes aquestes quantitats estan representades sobre 1, una unitat, sempre respecte al ciment i al propi pes d'aquests elements.

CEM = Ciment tipus I

**CNF = Nanofibra**

H<sub>2</sub>O= Aigua

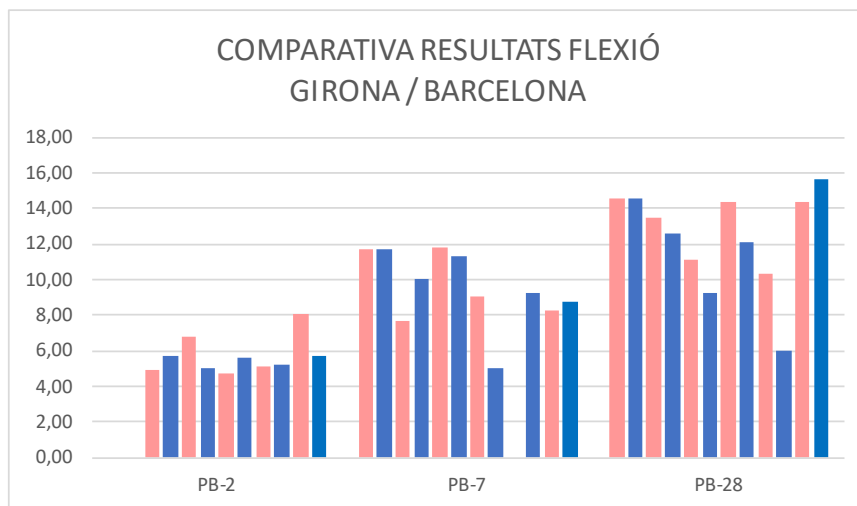
FL = Fluïdificant

**ASSAIG DE FLEXIÓ**

CEM / NAF / H2O / FL

1 / 0 / 0,3 / 0

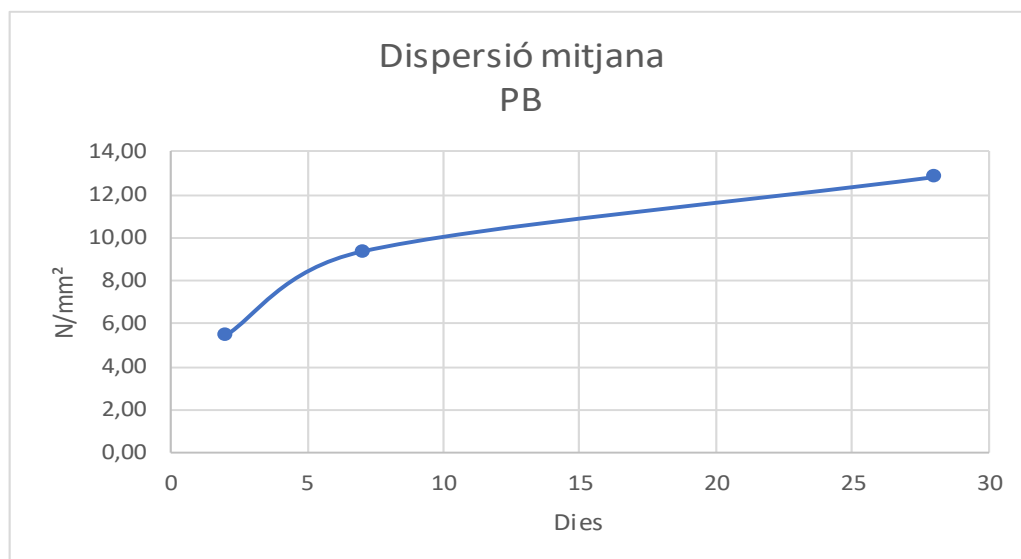
NOM PROVETA	DIES	NUM	DIMENSIONS PROVETES (mm)			DISTÀNCIA SUPPORTS L	UBICACIÓ ASSAIG	RESISTÈNCIA PREMSA	ESFORÇ	Descart optimista i	Mitjana de resultats
			X	Y	Z			N	N/mm <sup>2</sup>		
PB-2.1		1					UDG	108,100	8,108	-	5,497
							UPC	76,670	5,750	5,750	
PB-2.2		2					UDG	0,000	0,000	-	
							UPC	94,887	7,117	-	
PB-2.3		3					UDG	65,800	4,935	4,935	
							UPC	76,458	5,734	5,734	
PB-2.4	2	4					UDG	91,310	6,848	6,848	
							UPC	66,840	5,013	-	
PB-2.5		5					UDG	63,110	4,733	4,733	
							UPC	74,831	5,612	5,612	
PB-2.6		6					UDG	68,820	5,162	5,162	
							UPC	69,322	5,199	5,199	
PB-7.1		1					UDG	110,300	8,273	8,273	9,385
							UPC	117,015	8,776	8,776	
PB-7.2		2					UDG	155,800	11,685	11,685	
							UPC	135,544	10,166	10,166	
PB-7.3		3					UDG	103,100	7,733	7,733	
							UPC	134,508	10,088	10,088	
PB-7.4	7	4	10	10	70	50	UDG	158,300	11,873	-	
							UPC	151,402	11,355	-	
PB-7.5		5					UDG	121,400	9,105	9,105	
							UPC	67,423	5,057	-	
PB-7.6		6					UDG	0,000	0,000	-	
							UPC	123,376	9,253	9,253	
PB-28.1		1					UDG	191,400	14,355	14,355	12,830
							UPC	208,756	15,657	-	
PB-28.2		2					UDG	193,900	14,543	-	
							UPC	202,839	15,213	15,213	
PB-28.3		3					UDG	180,600	13,545	13,545	
							UPC	168,014	12,601	12,601	
PB-28.4	28	4					UDG	148,000	11,100	11,100	
							UPC	123,574	9,268	9,268	
PB-28.5		5					UDG	192,200	14,415	14,415	
							UPC	161,855	12,139	12,139	
PB-28.6		6					UDG	137,600	10,320	-	
							UPC	80,304	6,023	-	



UBICACIÓ	PB-2	PB-7	PB-28
UDG	8,11	8,27	14,36
UPC	5,75	8,78	15,66
UDG	0,00	11,69	14,54
UPC	7,12	10,17	15,21
UDG	4,94	7,73	13,55
UPC	5,73	10,09	12,60
UDG	6,85	11,87	11,10
UPC	5,01	11,36	9,27
UDG	4,73	9,11	14,42
UPC	5,61	5,06	12,14
UDG	5,16	0,00	10,32
UPC	5,20	9,25	6,02

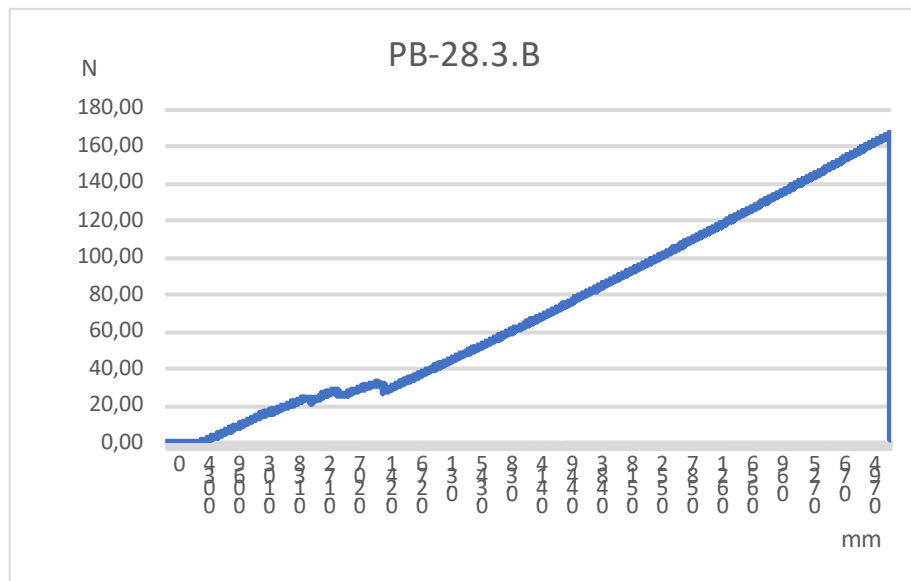
Resultat més proper a la mtijana determinada final.





PB	DIES		
	2	7	28
N/mm <sup>2</sup>	5,50	9,38	12,83

Aquesta gràfica és el resultat de la mateixa taula, ambdues ens mostren el resultat mig de resistència a flexió de les provetes assajades per aquesta dosificació.

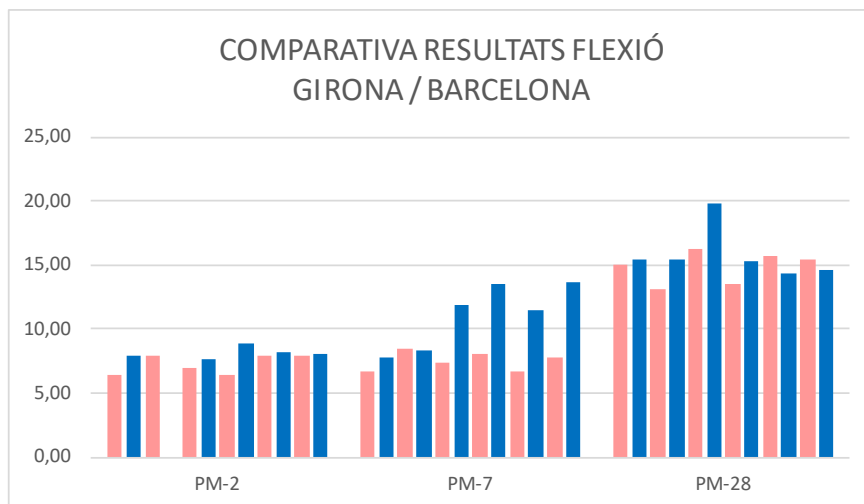


**ASSAIG DE FLEXIÓ**

CEM / NAF / H2O / FL

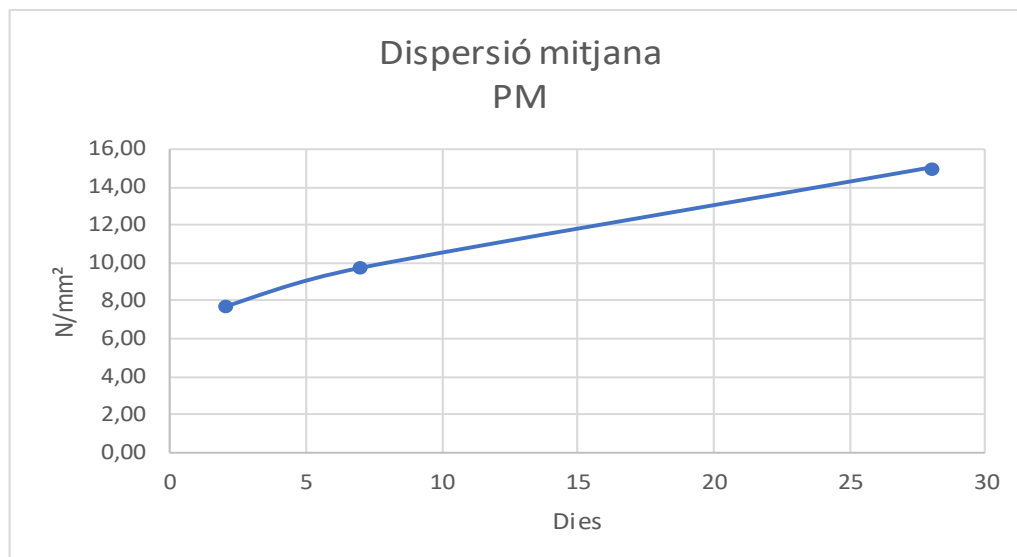
1 / 0 / 0,3 / 0

PM-2.1	.GI	1						UDG	211,300	7,924	7,924	
	.B	1						UPC	0,000	0,000	-	
PM-2.2	.GI	2						UDG	186,700	7,001	7,001	
	.B	2						UPC	204,900	7,684	7,684	
PM-2.3	.GI	3						UDG	170,700	6,401	-	
	.B	3						UPC	238,100	8,929	-	
PM-2.4	.GI	4	2					UDG	211,200	7,920	7,920	7,683
	.B	4						UPC	220,300	8,261	8,261	
PM-2.5	.GI	5						UDG	211,800	7,943	-	
	.B	5						UPC	215,700	8,089	8,089	
PM-2.6	.GI	6						UDG	171,400	6,428	6,428	
	.B	6						UPC	217,560	8,159	8,159	
PM-7.1	.GI	1						UDG	224,800	8,430	-	
	.B	1						UPC	223,100	8,366	-	
PM-7.2	.GI	2						UDG	198,400	7,440	7,440	
	.B	2						UPC	315,900	11,846	11,846	
PM-7.3	.GI	3						UDG	217,000	8,138	8,138	
	.B	3	7		10	40	160	100	UPC	360,200	13,508	13,508
PM-7.4	.GI	4						UDG	179,800	6,743	6,743	
	.B	4						UPC	305,900	11,471	11,471	
PM-7.5	.GI	5						UDG	208,800	7,830	7,830	
	.B	5						UPC	362,900	13,609	-	
PM-7.6	.GI	6						UDG	177,800	6,668	-	
	.B	6						UPC	289,400	10,853	10,853	
PM-28.1	.GI	1						UDG	350,120	13,130	-	
	.B	1						UPC	411,200	15,420	15,420	
PM-28.2	.GI	2						UDG	432,420	16,216	-	
	.B	2						UPC	530,000	19,875	-	
PM-28.3	.GI	3						UDG	359,960	13,499	13,499	
	.B	3						UPC	410,000	15,375	15,375	
PM-28.4	.GI	4	28					UDG	418,340	15,688	15,688	15,020
	.B	4						UPC	384,100	14,404	-	
PM-28.5	.GI	5						UDG	413,610	15,510	15,510	
	.B	5						UPC	390,000	14,625	14,625	
PM-28.6	.GI	6						UDG	401,210	15,045	15,045	
	.B	6						UPC	400,000	15,000	15,000	



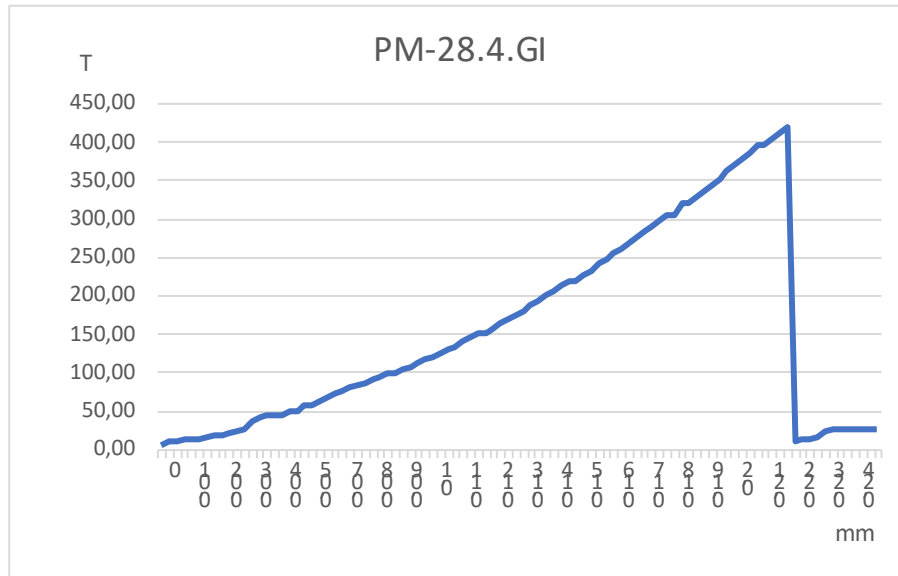
UBICACIÓ	PM-2	PM-7	PM-28
UDG	7,92	8,43	13,13
UPC	0,00	8,37	15,42
UDG	7,00	7,44	16,22
UPC	7,68	11,85	19,88
UDG	6,40	8,14	13,50
UPC	8,93	13,51	15,38
UDG	7,92	6,74	15,69
UPC	8,26	11,47	14,40
UDG	7,94	7,83	15,51
UPC	8,09	13,61	14,63
UDG	6,43	6,67	15,05
UPC	8,16	10,85	15,00

Resultat més proper a la mtijana determinada final.



PM	DIES		
	2	7	28
N/mm <sup>2</sup>	7,68	9,73	15,02

Aquesta gràfica és el resultat de la mateixa taula, ambdues ens mostren el resultat mig de resistència a flexió de les provetes assajades per aquesta dosificació.



Aquesta gràfica és un dels exemples de trencament de les provetes, concretament aquesta correspon al resultat de la proveta en particular que més s'ha acostat a la mitjana determinada finalment com a acceptada. Amb una resistència de:

**15,02 N/mm<sup>2</sup>**

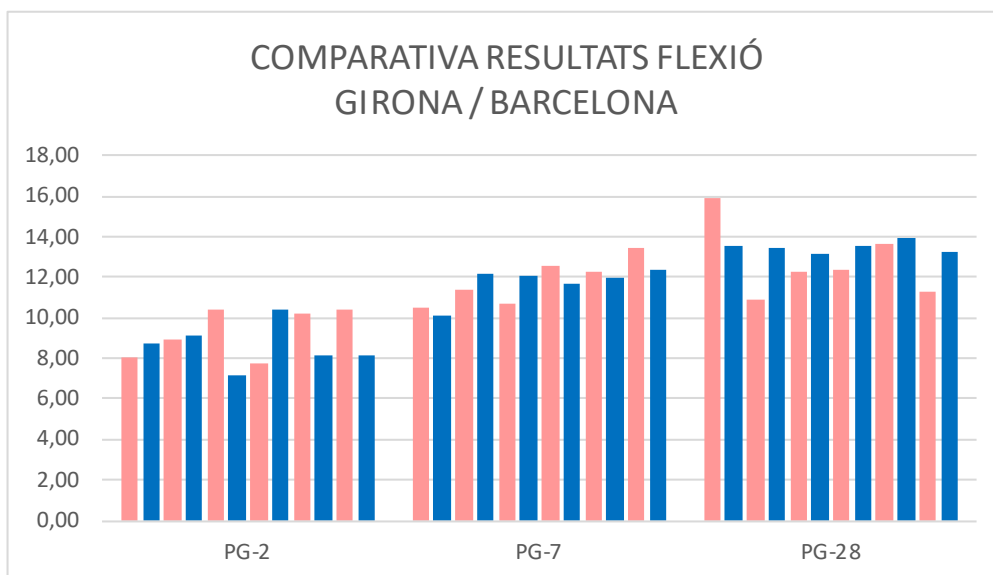
### ASSAIG DE FLEXIÓ

CEM / NAF / H2O / FL

1 / 0 / 0,3 / 0

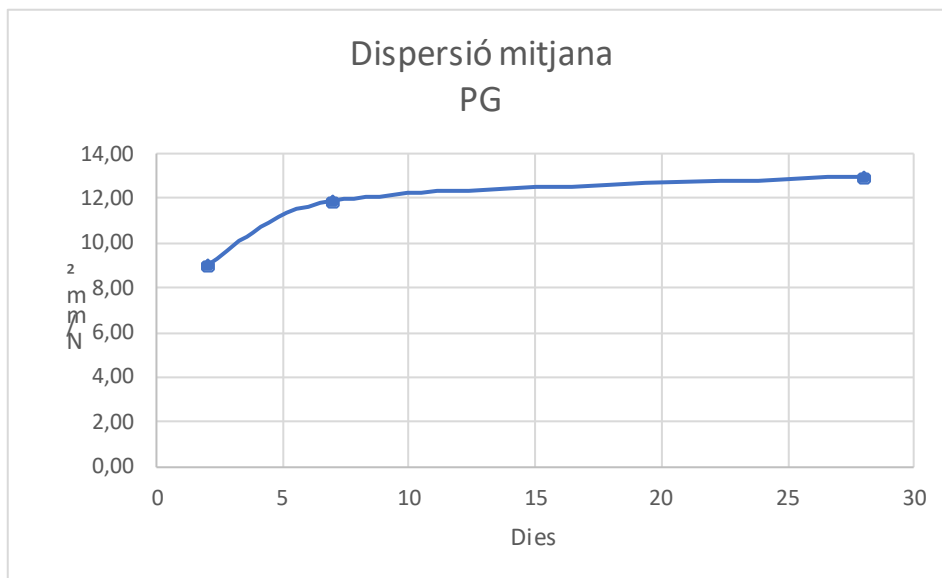
PG-2.1	.GI	1						UDG	3.449,000	8,084	8,084	
	.B	1						UPC	3.733,300	8,750	8,750	
PG-2.2	.GI	2						UDG	3.831,000	8,979	8,979	
	.B	2						UPC	3.889,000	9,115	9,115	
PG-2.3	.GI	3						UDG	4.452,000	10,434	10,434	
	.B	3						UPC	3.055,500	7,161	-	
PG-2.4	.GI	4	2					UDG	3.311,000	7,760	-	8,995
	.B	4						UPC	4.454,100	10,439	-	
PG-2.5	.GI	5						UDG	4.382,000	10,270	10,270	
	.B	5						UPC	3.476,400	8,148	8,148	
PG-2.6	.GI	6						UDG	4.461,000	10,455	-	
	.B	6						UPC	3.491,300	8,183	8,183	
PG-7.1	.GI	1						UDG	4.470,000	10,477	-	
	.B	1						UPC	4.500,000	10,123	-	
PG-7.2	.GI	2						UDG	4.870,000	11,414	11,414	
	.B	2						UPC	5.200,000	12,188	12,188	
PG-7.3	.GI	3						UDG	4.570,000	10,711	10,711	
	.B	3	7		40	40	160	100	UPC	5.150,000	12,070	12,070
PG-7.4	.GI	4						UDG	5.350,000	12,539	12,539	
	.B	4						UPC	4.980,000	11,672	11,672	
PG-7.5	.GI	5						UDG	5.240,000	12,281	12,281	
	.B	5						UPC	5.100,000	11,953	11,953	
PG-7.6	.GI	6						UDG	5.750,000	13,477	-	
	.B	6						UPC	5.300,000	12,422	-	
PG-28.1	.GI	1						UDG	6.800,000	15,938	-	
	.B	1						UPC	5.800,000	13,594	13,594	
PG-28.2	.GI	2						UDG	4.660,000	10,922	-	
	.B	2						UPC	5.750,000	13,477	13,477	
PG-28.3	.GI	3						UDG	5.230,000	12,258	12,258	
	.B	3						UPC	5.623,900	13,181	-	
PG-28.4	.GI	4	28					UDG	5.300,000	12,422	12,422	12,952
	.B	4						UPC	5.800,000	13,594	13,594	
PG-28.5	.GI	5						UDG	5.840,000	13,688	13,688	
	.B	5						UPC	5.950,000	13,945	-	
PG-28.6	.GI	6						UDG	4.830,000	11,320	11,320	
	.B	6						UPC	5.658,700	13,263	13,263	





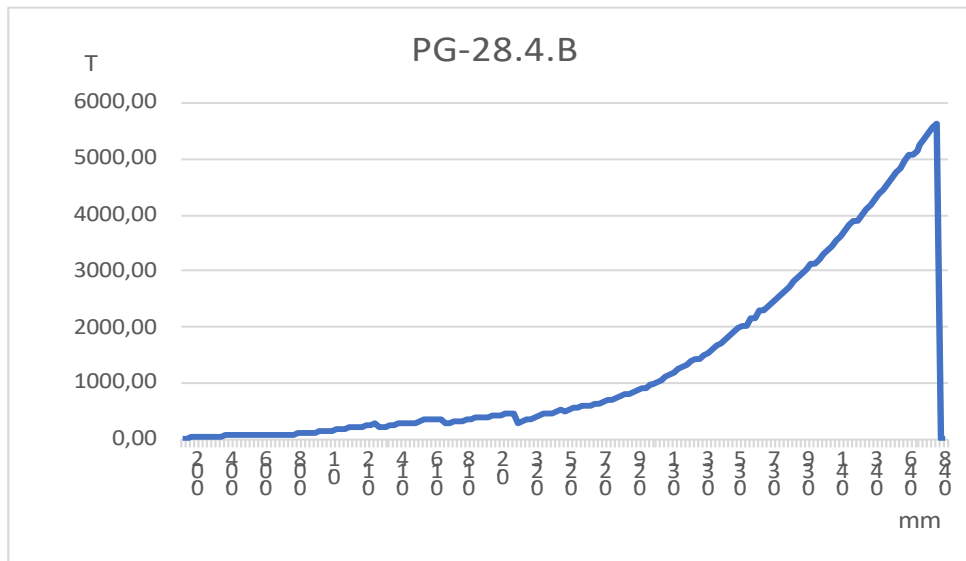
UBICACIÓ	PG-2	PG-7	PG-28
UDG	8,08	10,48	15,94
UPC	8,75	10,12	13,59
UDG	8,98	11,41	10,92
UPC	9,11	12,19	13,48
UDG	10,43	10,71	12,26
UPC	7,16	12,07	13,18
UDG	7,76	12,54	12,42
UPC	10,44	11,67	13,59
UDG	10,27	12,28	13,69
UPC	8,15	11,95	13,95
UDG	10,46	13,48	11,32
UPC	8,18	12,42	13,26

Resultat més proper a la mtijana determinada final.



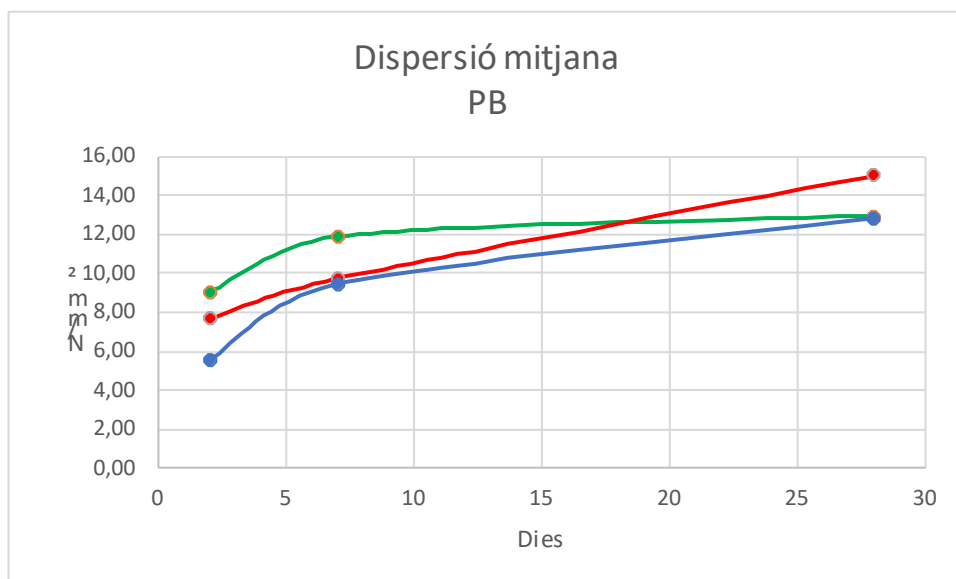
PG	DIES		
	2	7	28
N/mm <sup>2</sup>	9,00	11,85	12,95

Aquesta gràfica és el resultat de la mateixa taula, ambdues ens mostren el resultat mig de resistència a flexió de les provetes assajades per aquesta dosificació.



Aquesta gràfica és un dels exemples de trencament de les provetes, concretament aquesta correspon al resultat de la proveta en particular que més s'ha acostat a la mitjana determinada finalment com a acceptada. Amb una resistència de:

**12,95 N/mm<sup>2</sup>**



N/mm <sup>2</sup>	DIES		
	2	7	28
PB	5,50	9,38	12,83
PM	7,68	9,73	15,02
PG	9,00	11,85	12,95

Aquestes són la taula i a la vegada la gràfica resultants d'aquests assajos de resistència a flexió realitzats.

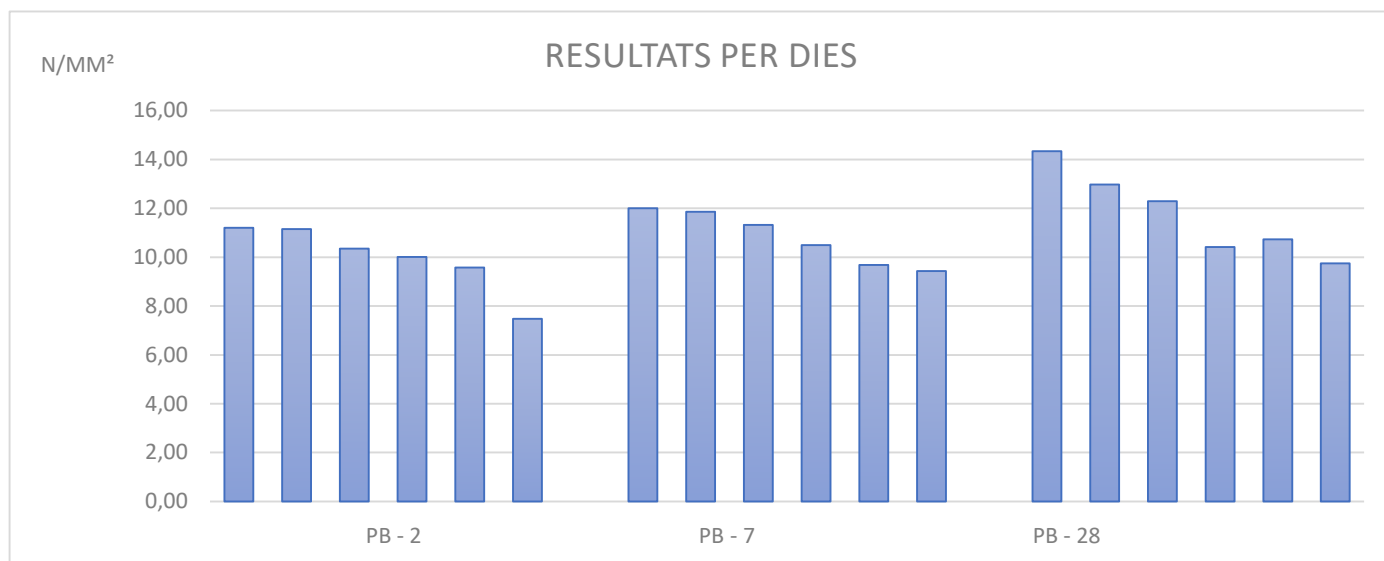
En elles hi trobem les diferents dispersions mitjanes obtingudes dels diferents formats de provetes assajades, es relaciona la resistència d'aquestes amb els dies de curat concurrents.

## ASSAIG DE FLEXIÓ

CEM / NAF / H2O / FL

1 / 0,5 / 0,23 / 0,01

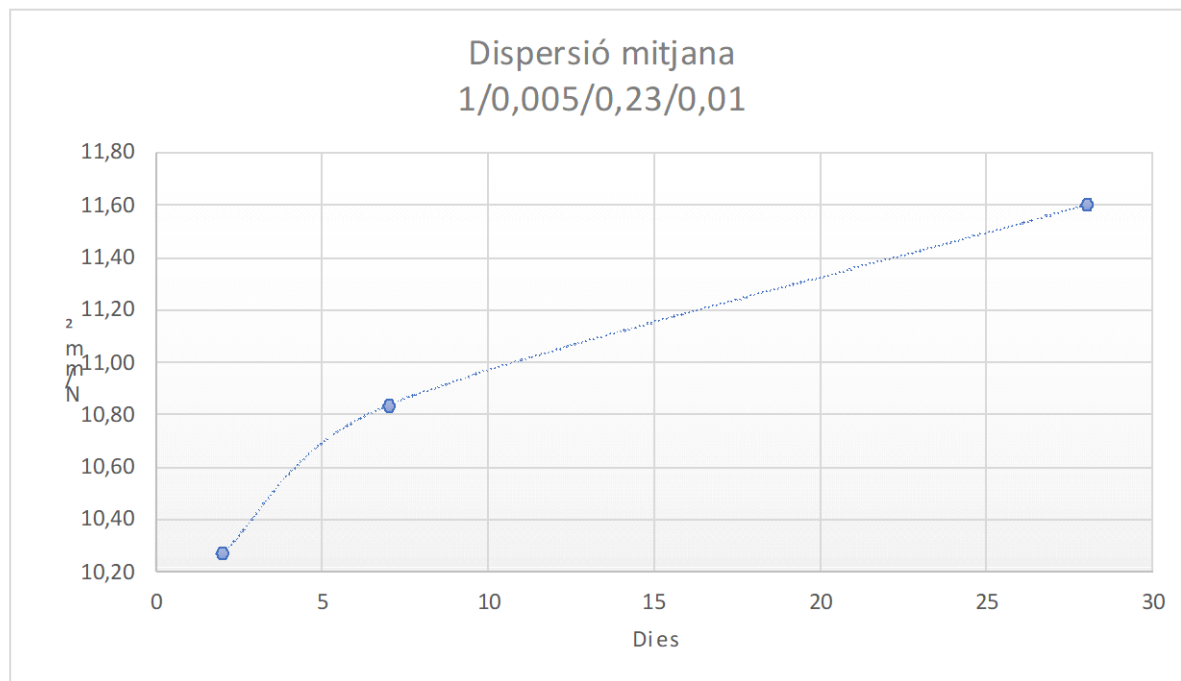
NOM PROVETA	DIES	NUM	DIMENSIONS PROVETES (mm)			DISTÀNCIA SUPPORTS L	UBICACIÓ ASSAIG	RESISTÈNCIA PREMSA	ESFORÇ	Descart optimista i	Mitjana de resultats
			X	Y	Z			N	N/mm <sup>2</sup>		
PB-2.1 .GI		1					UDG	127,600	9,570	9,570	
PB-2.2 .GI		2					UDG	133,400	10,005	10,005	
PB-2.3 .GI	2	3					UDG	149,400	11,205	-	10,269
PB-2.4 .GI		4					UDG	99,700	7,478	-	
PB-2.5 .GI		5					UDG	138,000	10,350	10,350	
PB-2.6 .GI		6					UDG	148,700	11,153	11,153	
PB-7.1 .GI		1					UDG	160,000	12,000	-	
PB-7.2 .GI		2					UDG	150,900	11,318	11,318	
PB-7.3 .GI	7	3	10	10	70	50	UDG	139,900	10,493	10,493	10,836
PB-7.4 .GI		4					UDG	125,800	9,435	-	
PB-7.5 .GI		5					UDG	129,000	9,675	9,675	
PB-7.6 .GI		6					UDG	158,100	11,858	11,858	
PB-28.1 .GI		1					UDG	138,800	10,410	10,410	
PB-28.2 .GI		2					UDG	163,800	12,285	12,285	
PB-28.3 .GI	28	3					UDG	191,200	14,340	-	11,599
PB-28.4 .GI		4					UDG	129,870	9,740	-	
PB-28.5 .GI		5					UDG	172,900	12,968	12,968	
PB-28.6 .GI		6					UDG	143,100	10,733	10,733	



PB-2	PB-7	PB-28
11,21	12,00	14,34
11,15	11,86	12,97
10,35	11,32	12,29
10,01	10,49	10,41
9,57	9,68	10,73
7,48	9,44	9,74

Resultat més proper a la mtijana determinada final.

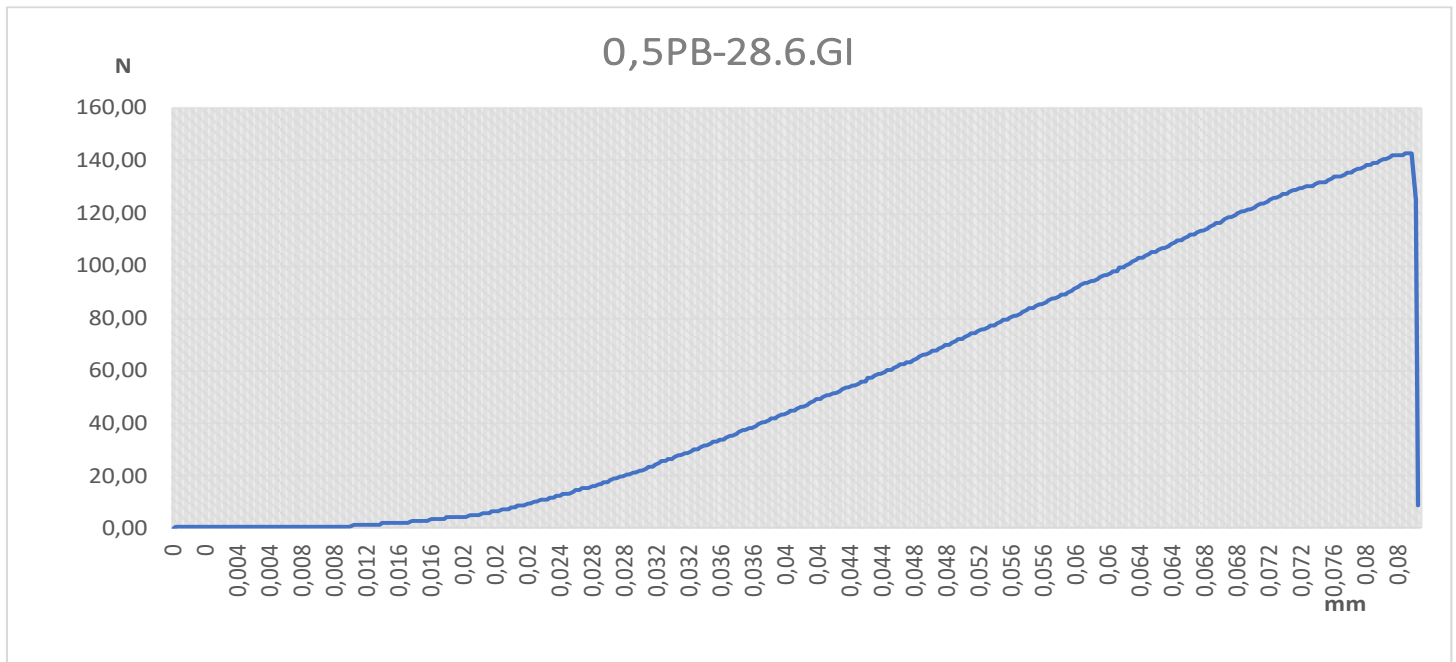
Aquest conjunt de taula i gràfica mostren els diferents resultats de resistència a flexió relacionats a la vegada amb els dies de curat de les sis unitats de provetes realitzades per cada sèrie.



0,50%	DIES		
	2	7	28
N/mm <sup>2</sup>	10,27	10,84	11,60

Aquesta gràfica és el resultat de la mateixa taula, ambdues ens mostren el resultat mig de resistència a flexió de les provetes assajades per aquesta dosificació.





Aquesta gràfica és un dels exemples de trencament de les provetes, concretament aquesta correspon al resultat de la proveta en particular que més s'ha acostat a la mitjana determinada finalment com a acceptada i vàlida segons els demás resultats obtinguts.

Amb una resistència de:

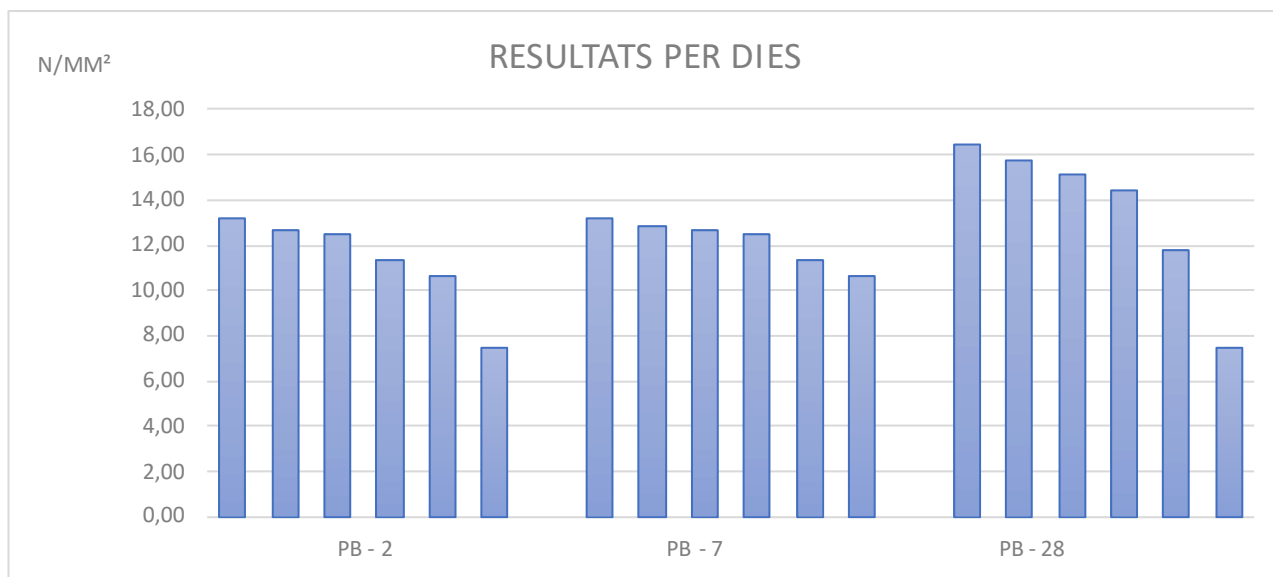
**11,60 N/mm<sup>2</sup>**

### ASSAIG DE FLEXIÓ

CEM / NAF / H2O / FL

1 / 0,01 / 0,29 / 0,01

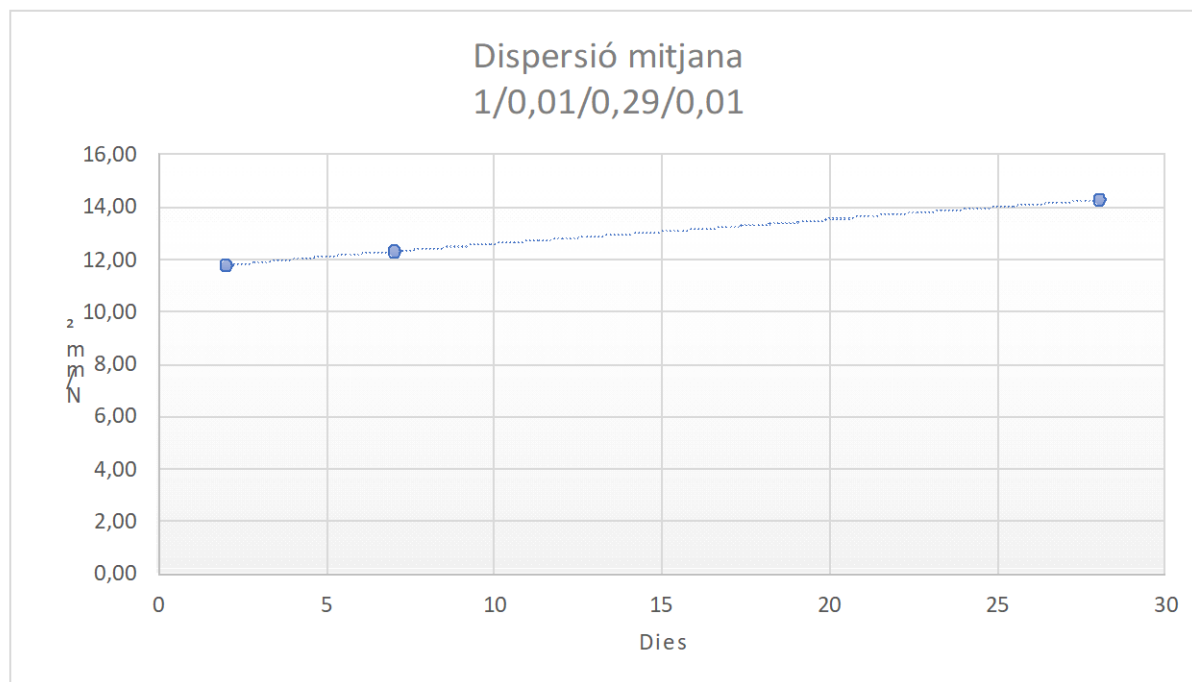
NOM PROVETA	DIES	NUM	DIMENSIONS PROVETES (mm)			DISTÀNCIA SUPPORTS L	UBICACIÓ ASSAIG	RESISTÈNCIA PREMSA	ESFORÇ	Descart optimista i	Mitjana de resultats	
			X	Y	Z			N	N/mm <sup>2</sup>			
PB-2.1 .GI		1					UDG	168,700	12,653	12,653		
PB-2.2 .GI		2					UDG	151,600	11,370	11,370		
PB-2.3 .GI	2	3					UDG	176,400	13,230	-	11,786	
PB-2.4 .GI		4					UDG	99,900	7,493	-		
PB-2.5 .GI		5					UDG	166,000	12,450	12,450		
PB-2.6 .GI		6					UDG	142,300	10,673	10,673		
PB-7.1 .GI		1					UDG	168,700	12,653	12,653		
PB-7.2 .GI		2					UDG	151,600	11,370	11,370		
PB-7.3 .GI	7	3	10	10	70	50	UDG	176,400	13,230	-	12,334	
PB-7.4 .GI		4					UDG	171,500	12,863	12,863		
PB-7.5 .GI		5					UDG	166,000	12,450	12,450		
PB-7.6 .GI		6					UDG	142,300	10,673	-		
PB-28.1 .GI		1					UDG	210,500	15,788	15,788		
PB-28.2 .GI		2					UDG	219,000	16,425	-		
PB-28.3 .GI	28	3					UDG	201,300	15,098	15,098	14,261	
PB-28.4 .GI		4					UDG	99,870	7,490	-		
PB-28.5 .GI		5					UDG	191,900	14,393	14,393		
PB-28.6 .GI		6					UDG	156,900	11,768	11,768		



PB-2	PB-7	PB-28
13,23	13,23	16,43
12,65	12,86	15,79
12,45	12,65	15,10
11,37	12,45	14,39
10,67	11,37	11,77
7,49	10,67	7,49

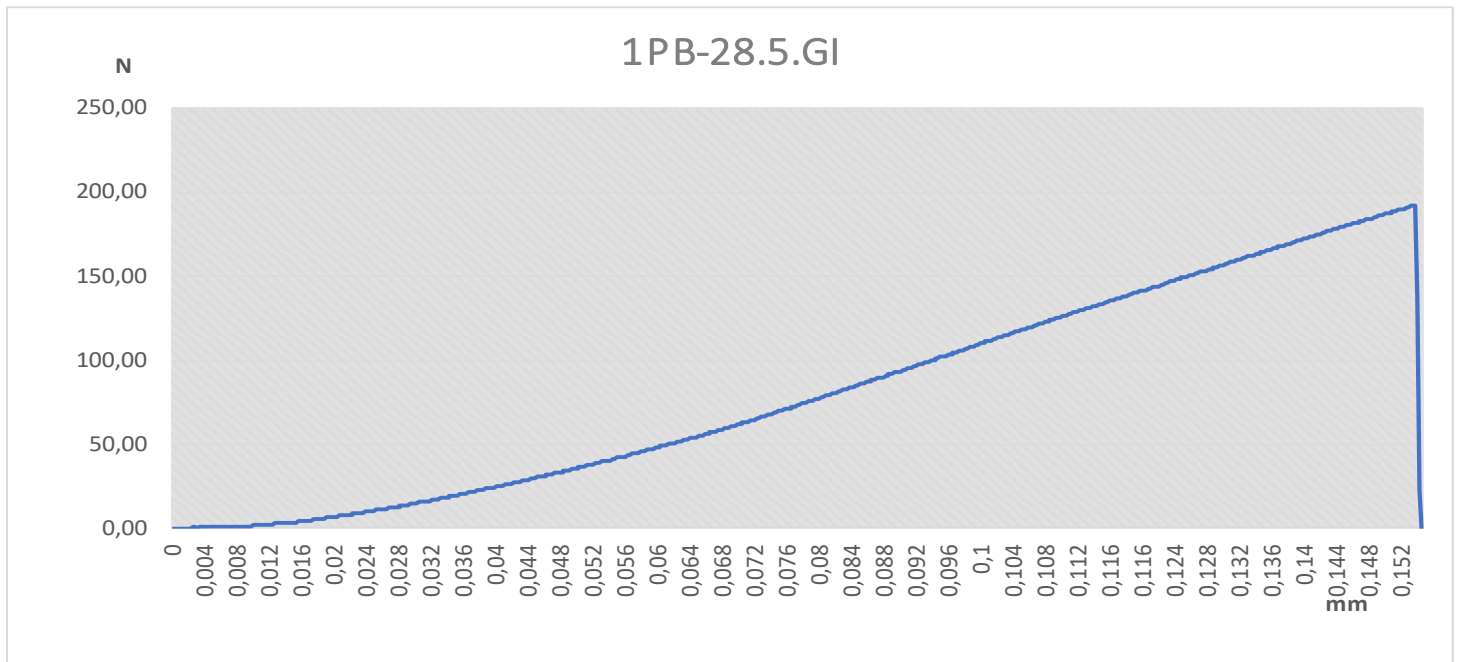
Resultat més proper a la mitjana determinada final.

Aquest conjunt de taula i gràfica mostren els diferents resultats de resistència a flexió relacionats a la vegada amb els dies de curat de les sis unitats de provetes realitzades per cada sèrie.



1%	DIES		
	2	7	28
<b>N/mm<sup>2</sup></b>	<b>11,79</b>	<b>12,33</b>	<b>14,26</b>

Aquesta gràfica és el resultat de la mateixa taula, ambdues ens mostren el resultat mig de resistència a flexió de les provetes assajades per aquesta dosificació.



Aquesta gràfica és un dels exemples de trencament de les provetes, concretament aquesta correspon al resultat de la proveta en particular que més s'ha acostat a la mitjana determinada finalment com a acceptada i vàlida segons els demás resultats obtinguts.

Amb una resistència de:

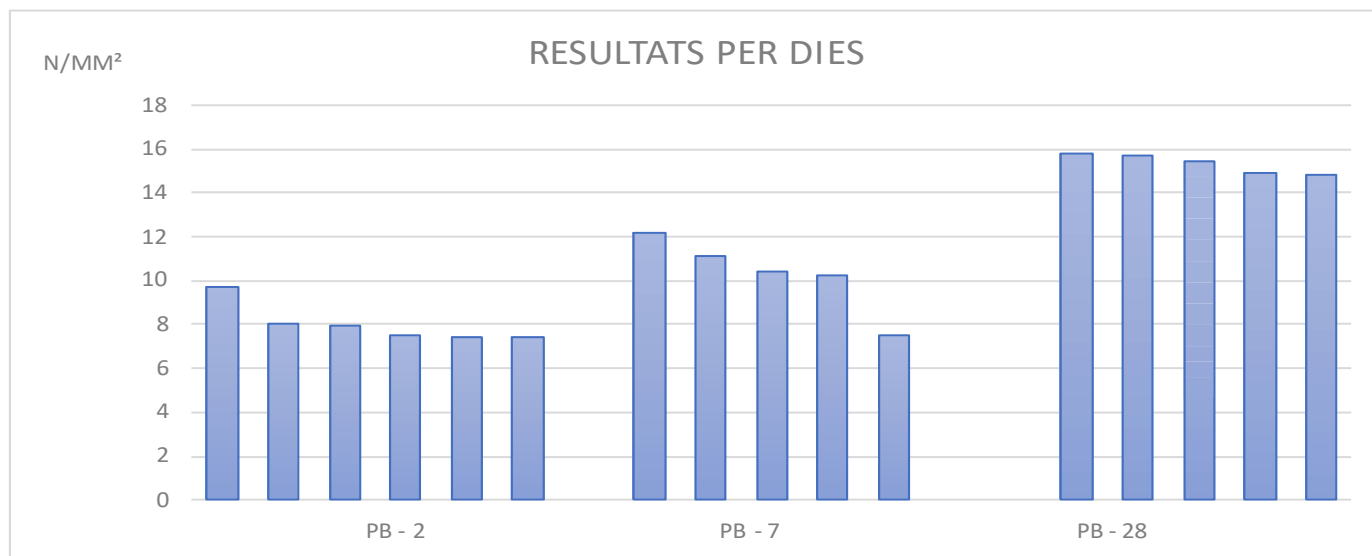
**14,26 N/mm<sup>2</sup>**

### ASSAIG DE FLEXIÓ

CEM / NAF / H2O / FL

1 / 0,015 / 0,41 / 0,01

NOM PROVETA	DIES	NUM	DIMENSIONS PROVETES (mm)			DISTÀNCIA SUPPORTS L	UBICACIÓ ASSAIG	RESISTÈNCIA PREMSA	ESFORÇ	Descart optimista i	Mitjana de resultats
			X	Y	Z			N	N/mm <sup>2</sup>		
PB-2.1 .GI		1					UDG	129,900	9,743	-	
PB-2.2 .GI		2					UDG	99,030	7,427	-	
PB-2.3 .GI	2	3					UDG	107,800	8,085	8,085	7,746
PB-2.4 .GI		4					UDG	99,700	7,478	7,478	
PB-2.5 .GI		5					UDG	106,600	7,995	7,995	
PB-2.6 .GI		6					UDG	99,030	7,427	7,427	
PB-7.1 .GI		1					UDG	136,100	10,208	10,208	
PB-7.2 .GI		2					UDG	148,700	11,153	11,153	
PB-7.3 .GI	7	3	10	10	70	50	UDG	162,000	12,150	-	9,828
PB-7.4 .GI		4					UDG	99,870	7,490	7,490	
PB-7.5 .GI		5					UDG	139,500	10,463	10,463	
PB-7.6 .GI		6					UDG	0,000	0,000	-	
PB-28.1 .GI		1					UDG	210,510	15,788	-	
PB-28.2 .GI		2					UDG	198,550	14,891	14,891	
PB-28.3 .GI	28	3					UDG	206,330	15,475	15,475	15,214
PB-28.4 .GI		4					UDG	209,000	15,675	15,675	
PB-28.5 .GI		5					UDG	197,540	14,816	14,816	
PB-28.6 .GI		6					UDG	169,410	12,706	-	

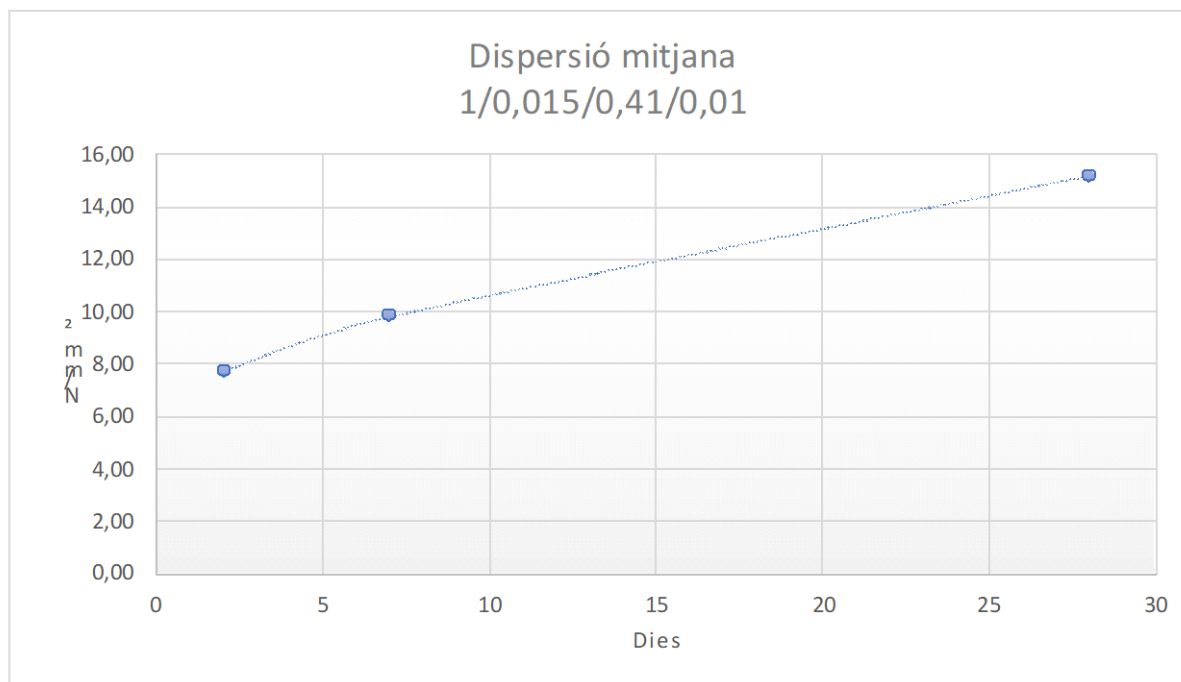


PB-2	PB-7	PB-28
9,74	12,15	15,79
8,09	11,15	15,68
8,00	10,46	15,47
7,48	10,21	14,89
7,43	7,49	14,82
7,43	0,00	12,71

Resultat més proper a la mtijana determinada final.

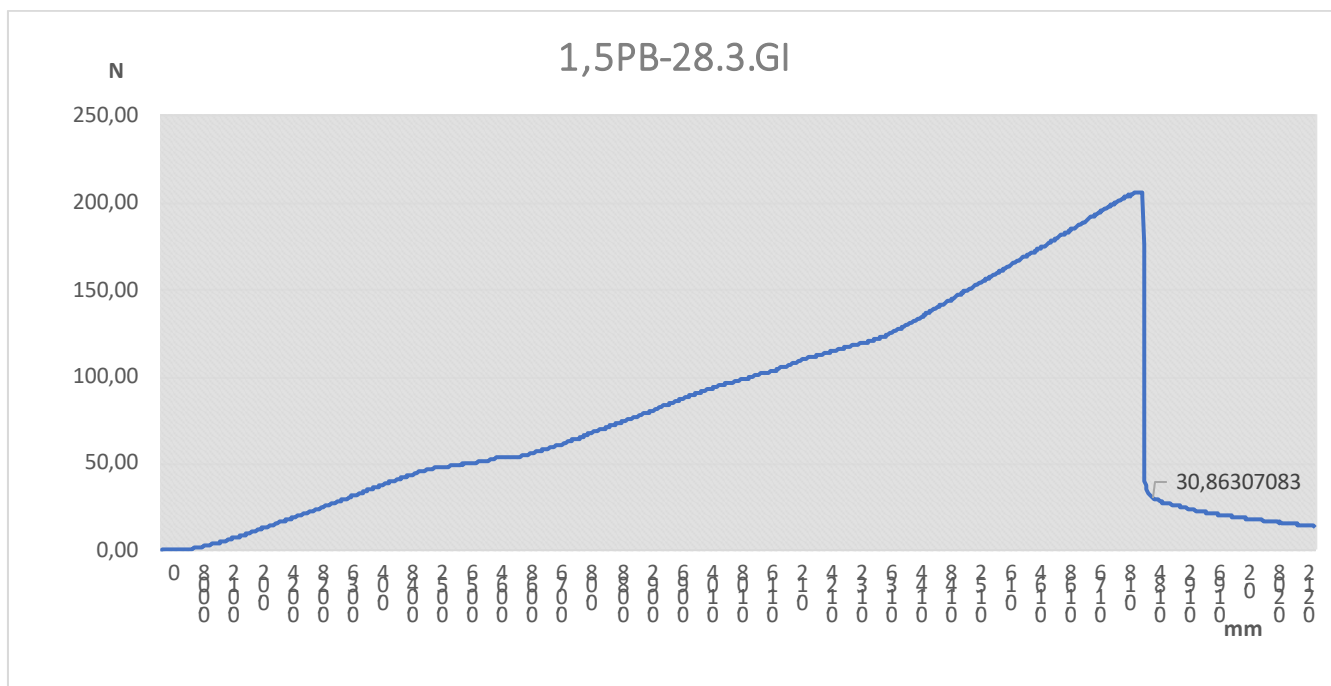
Aquest conjunt de taula i gràfica mostren els diferents resultats de resistència a flexió relacionats a la vegada amb els dies de curat de les sis unitats de provetes realitzades per cada sèrie.





1,5%	DIES		
	2	7	28
N/mm <sup>2</sup>	7,75	9,83	15,21

Aquesta gràfica és el resultat de la mateixa taula, ambdues ens mostren el resultat mig de resistència a flexió de les provetes assajades per aquesta dosificació.



Aquesta gràfica és un dels exemples de trencament de les provetes, concretament aquesta correspon al resultat de la proveta en particular que més s'ha acostat a la mitjana determinada finalment com a acceptada i vàlida segons els demás resultats obtinguts.

Amb una resistència de:

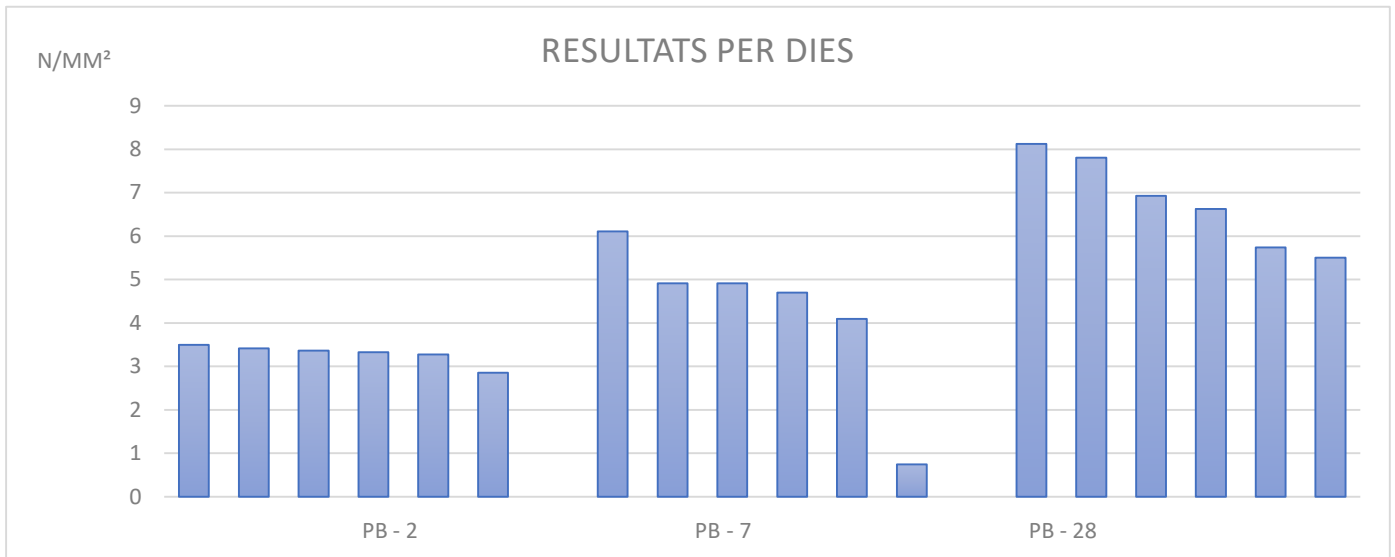
**15,21 N/mm<sup>2</sup>**

## ASSAIG DE FLEXIÓ

CEM / NAF / H2O / FL

1 / 0,0181 / 1 / 0

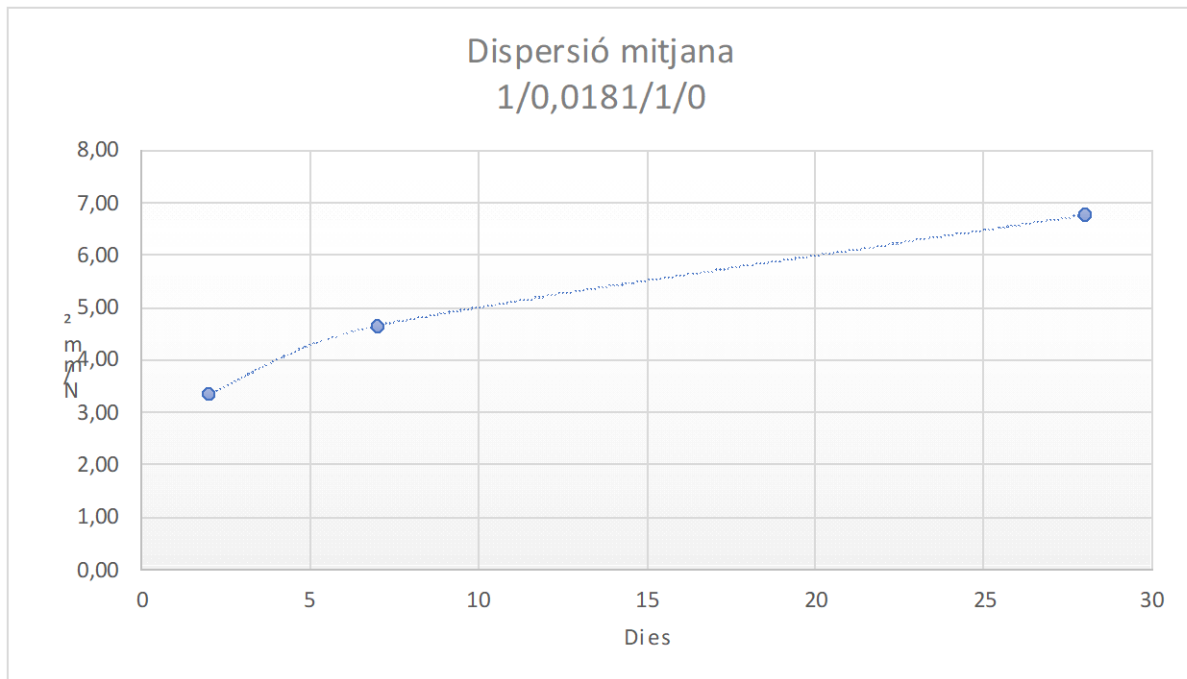
NOM PROVETA	DIES	NUM	DIMENSIONS PROVETES (mm)			DISTÀNCIA SUPORTS	UBICACIÓ ASSAIG	RESISTÈNCIA PREMSA	ESFORÇ	Descart optimista i	Mitjana de resultats
			X	Y	Z	L		N	N/mm <sup>2</sup>		
PB-2.1 .GI		1					UDG	46,660	3,500	-	<b>3,342</b>
PB-2.2 .GI		2					UDG	45,490	3,412	3,412	
PB-2.3 .GI	2	3					UDG	44,310	3,323	3,323	
PB-2.4 .GI		4					UDG	43,640	3,273	3,273	
PB-2.5 .GI		5					UDG	44,820	3,362	3,362	
PB-2.6 .GI		6					UDG	38,100	2,858	-	
PB-7.1 .GI		1					UDG	81,410	6,106	-	<b>4,652</b>
PB-7.2 .GI		2					UDG	9,950	0,746	-	
PB-7.3 .GI	7	3	10	10	70	50	UDG	54,550	4,091	4,091	
PB-7.4 .GI		4					UDG	62,610	4,696	4,696	
PB-7.5 .GI		5					UDG	65,460	4,910	4,910	
PB-7.6 .GI		6					UDG	79,230	4,910	4,910	
PB-28.1 .GI		1					UDG	92,320	6,924	6,924	<b>6,773</b>
PB-28.2 .GI		2					UDG	76,540	5,741	5,741	
PB-28.3 .GI	28	3					UDG	104,100	7,808	7,808	
PB-28.4 .GI		4					UDG	108,300	8,123	-	
PB-28.5 .GI		5					UDG	73,350	5,501	-	
PB-28.6 .GI		6					UDG	88,290	6,622	6,622	



PB-2	PB-7	PB-28
3,50	6,11	8,12
3,41	4,91	7,81
3,36	4,91	6,92
3,32	4,70	6,62
3,27	4,09	5,74
2,86	0,75	5,50

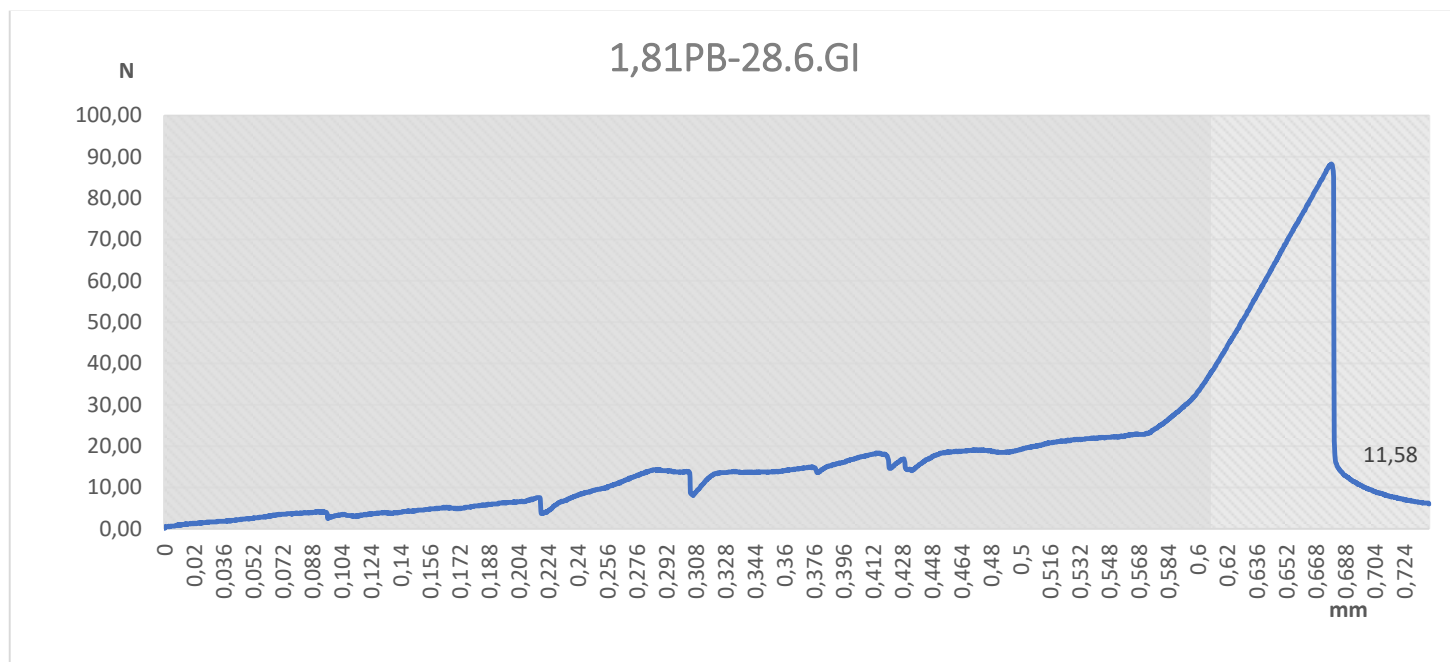
Resultat més proper a la mtijana determinada final.

Aquest conjunt de taula i gràfica mostren els diferents resultats de resistència a flexió relacionats a la vegada amb els dies de curat de les sis unitats de provetes realitzades per cada sèrie.



1,81%	DIES		
	2	7	28
<b>N/mm<sup>2</sup></b>	<b>3,34</b>	<b>4,65</b>	<b>6,77</b>

Aquesta gràfica és el resultat de la mateixa taula, ambdues ens mostren el resultat mig de resistència a flexió de les provetes assajades per aquesta dosificació.



Aquesta gràfica és un dels exemples de trencament de les provetes, concretament aquesta correspon al resultat de la probeta en particular que més s'ha acostat a la mitjana determinada finalment com a acceptada i vàlida segons els demás resultats obtinguts.

Amb una resistència de:

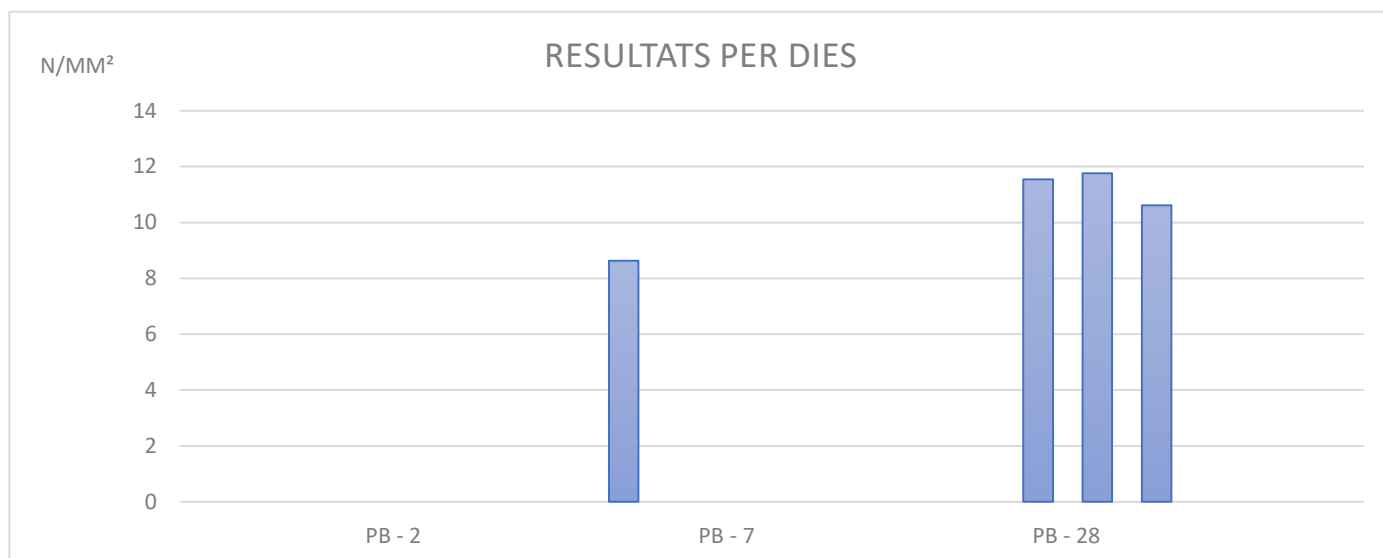
**6,77 N/mm<sup>2</sup>**

## ASSAIG DE FLEXIÓ

CEM / NAF / H2O / FL

1 / 0,0181 / 0,3 / 0,08

NOM PROVETA	DIES	NUM	DIMENSIONS PROVETES (mm)			DISTÀNCIA SUPPORTS	UBICACIÓ ASSAIG	RESISTÈNCIA PREMSA	ESFORÇ	Descart optimista i	Mitjana de resultats	
			X	Y	Z	L		N	N/mm <sup>2</sup>			
PB-2.1 .GI		1					UDG	0,000	0,000			
PB-2.2 .GI		2					UDG	0,000	0,000			
PB-2.3 .GI	2	3					UDG	0,000	0,000		0,000	
PB-2.4 .GI		4					UDG	0,000	0,000			
PB-2.5 .GI		5					UDG	0,000	0,000			
PB-2.6 .GI		6					UDG	0,000	0,000			
PB-7.1 .GI		1					UDG	115,000	8,625	8,625		
PB-7.2 .GI		2					UDG	0,000	0,000			
PB-7.3 .GI	7	3	10	10	70	50	UDG	0,000	0,000		8,625	
PB-7.4 .GI		4					UDG	0,000	0,000			
PB-7.5 .GI		5					UDG	0,000	0,000			
PB-7.6 .GI		6					UDG	0,000	0,000			
PB-28.1 .GI		1					UDG	153,900	11,543	11,543		
PB-28.2 .GI		2					UDG	156,800	11,760	11,760		
PB-28.3 .GI	28	3					UDG	141,500	10,613	10,613		
PB-28.4 .GI		4					UDG	0,000	0,000		11,305	
PB-28.5 .GI		5					UDG	0,000	0,000			
PB-28.6 .GI		6					UDG	0,000	0,000			

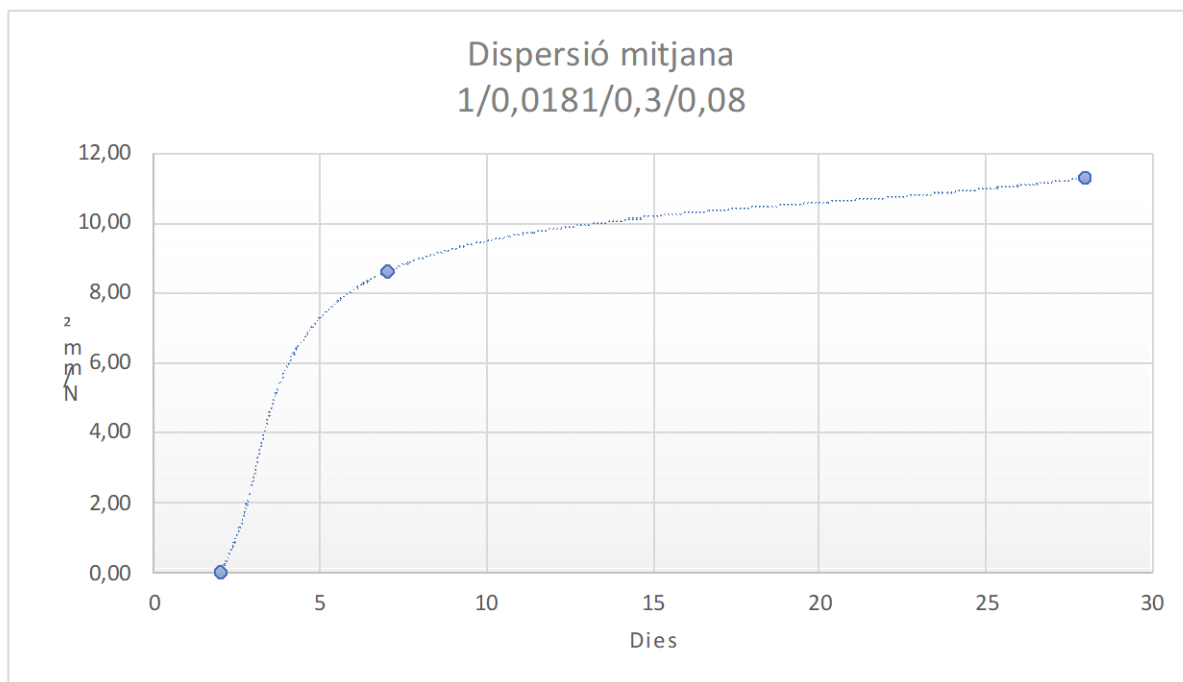


PB-2	PB-7	PB-28
0,00	8,63	11,54
0,00	0,00	11,76
0,00	0,00	10,61
0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00

Resultat més proper a la mtijana determinada final.

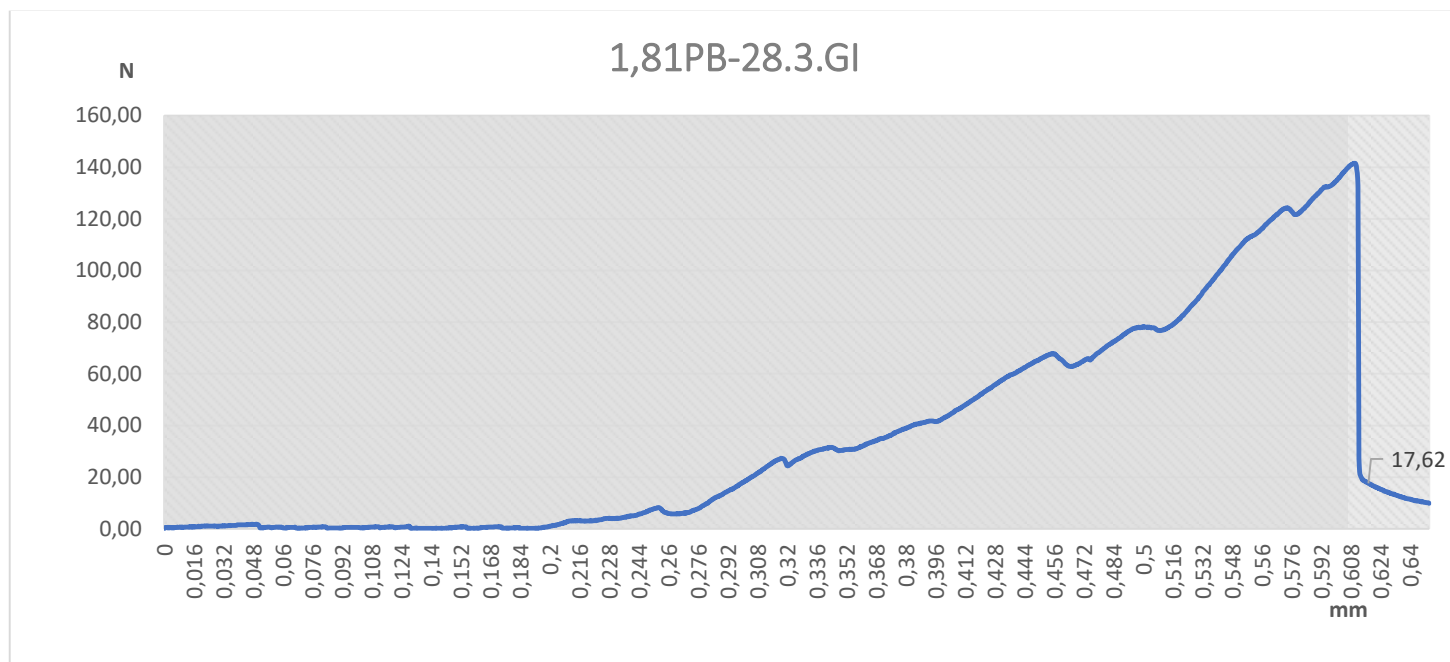
Aquest conjunt de taula i gràfica mostren els diferents resultats de resistència a flexió relacionats a la vegada amb els dies de curat de les sis unitats de provetes realitzades per cada sèrie.





1,81%*	DIES		
	2	7	28
N/mm <sup>2</sup>	0,00	8,63	11,31

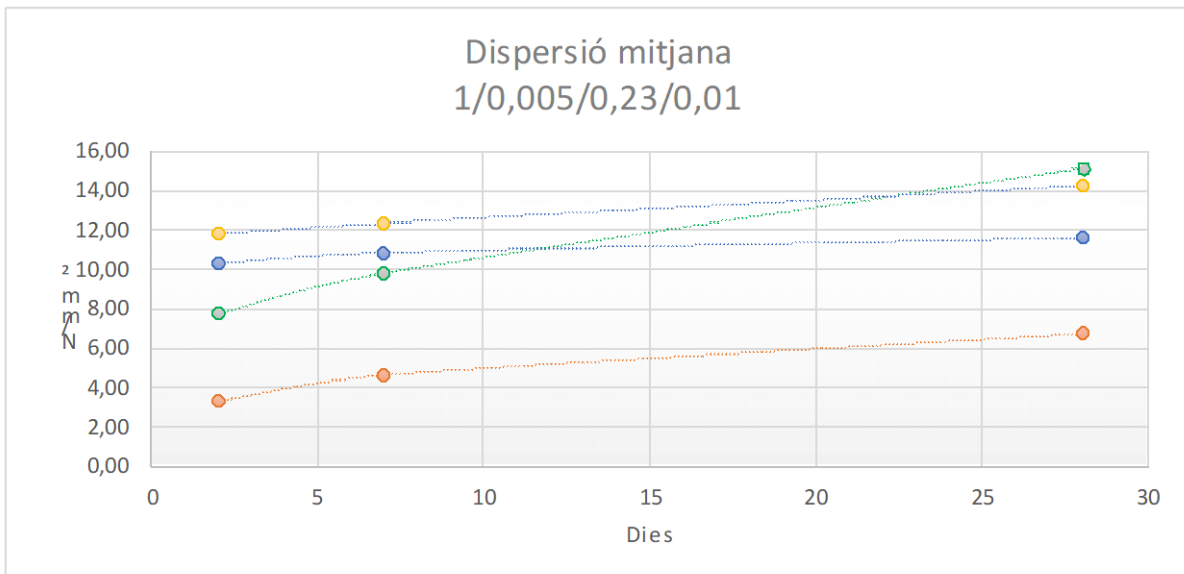
Aquesta gràfica és el resultat de la mateixa taula, ambdues ens mostren el resultat mig de resistència a flexió de les provetes assajades per aquesta dosificació.



Aquesta gràfica és un dels exemples de trencament de les provetes, concretament aquesta correspon al resultat de la probeta en particular que més s'ha acostat a la mitjana determinada finalment com a acceptada i vàlida segons els demás resultats obtinguts.

Amb una resistència de:

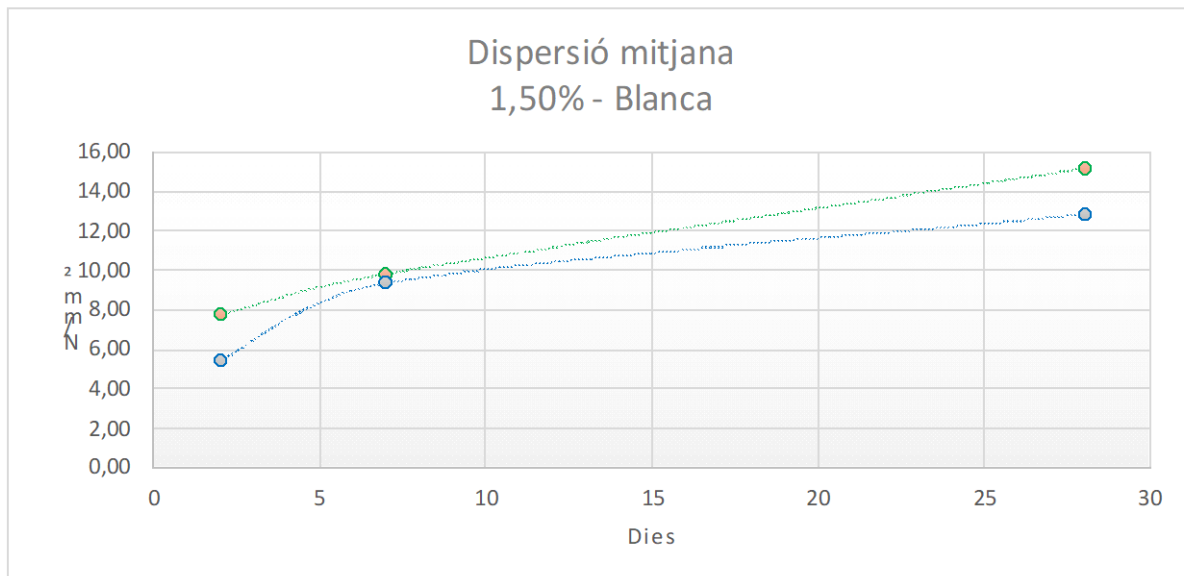
**11,31 N/mm<sup>2</sup>**



N/mm <sup>2</sup>	DIES		
	2	7	28
0,50%	10,27	10,84	11,60
1,00%	11,79	12,33	14,26
1,50%	7,75	9,83	15,21
1,81%	3,34	4,65	6,77

**Aquestes són la taula i a la vegada la gràfica resultants d'aquests assajos de resistència a flexió realitzats.**

**En elles hi trobem les diferents dispersions mitjanes obtingudes de les diferents dosificacions de provetes assajades, es relaciona la resistència d'aquestes amb els dies de curat concurrents.**



N/mm <sup>2</sup>	DIES		
	2	7	28
1,50%	7,75	9,83	15,21
0,00%	5,50	9,38	12,83

**Resultats a mode de gràfica i taula representatives dels assajos a diferents dies de la dosificació amb nanofibres del 1,5% i de les blanques. Es comparen aquestes dues sèries degut a la interpretació dels resultats finals com a més òptims per a l'estudi realitzat.**

## ANNEX E – RESULTATS DE COMPRESSIÓ

Seguidament s'adjunten les taules i les gràfiques resum de tots els resultats dels assaigs a compressió realitzats a les diferents provetes. Per aquest ordre trobarem:

1. Taules de resultats de flexió provetes de control
2. Gràfiques resum de resultats de provetes de control
3. Taula resultats de compressió provetes 0,5% de nanofibra
4. Gràfiques resum de resultats de provetes 0,5% de nanofibra
5. Taula resultats de compressió provetes 1% de nanofibra
6. Gràfiques resum de resultats de provetes 1% de nanofibra
7. Taula resultats de compressió provetes 1,5% de nanofibra
8. Gràfiques resum de resultats de provetes 1,5% de nanofibra
9. Taula resultats de compressió provetes 1,81% de nanofibra
10. Gràfiques resum de resultats de provetes 1,81% de nanofibra
11. Taula resultats de compressió provetes 1,81\*% de nanofibra
12. Gràfiques resum de resultats de provetes 1,81\*% de nanofibra

Les taules es troben titulades amb la composició de les provetes que contenen, diferenciant amb color **vermell** la quantitat de nanofibra que hi ha a la mescla. Totes aquestes quantitats estan representades sobre 1, una unitat, sempre respecte al ciment i al propi pes d'aquests elements.

CEM = Ciment tipus I

**NAF = Nanofibra**

H<sub>2</sub>O= Aigua

FL = Fluïdificant

**ASSAIG DE COMPRESIÓ**  
**CEM / NAF / H2O / FL**  
**1 / 0 / 0,3 / 0**

NOM PROVETA	DIES	NUM	DIMENSIONS PROVETES (mm)			UBICACIÓ ASSAIG	RESISTÈNCIA PREMSA	Esforç N/mm <sup>2</sup>	Descart optimista i pessimista	Mitjana de resultats N/mm <sup>2</sup>
			X	Y	Z		KN			

PG-2.1	.GI	1	2	40	40	160	UDG	75,44	47,15	-	52,08
	.B	1					UPC	88,94	55,59	55,59	
PG-2.2	.GI	2					UDG	74,02	46,26	46,26	
	.B	2					UPC	84,80	53,00	-	
PG-2.3	.GI	3					UDG	71,50	44,69	44,69	
	.B	3					UPC	97,05	60,66	60,66	
PG-2.4	.GI	4					UDG	69,13	43,21	43,21	
	.B	4					UPC	91,61	57,26	57,26	
PG-2.5	.GI	5					UDG	68,88	43,05	43,05	
	.B	5					UPC	108,88	68,05	68,05	
PG-2.6	.GI	6					UDG	71,42	44,64	44,64	
	.B	6					UPC	103,64	64,78	64,78	
PG-2.7	.GI	7	UDG	65,21	40,76	40,76					
	.B	7	UPC	90,07	56,29	56,29					
PG-2.8	.GI	8	UDG	68,61	42,88	42,88					
	.B	8	UPC	88,79	55,49	55,49					
PG-2.9	.GI	9	UDG	70,76	44,23	44,23					
	.B	9	UPC	107,56	67,23	67,23					
PG-2.10	.GI	10	UDG	63,90	39,94	39,94					
	.B	10	UPC	99,94	62,46	62,46					
PG-2.11	.GI	11	UDG	72,63	45,39	45,39					
	.B	11	UPC	94,06	58,79	58,79					
PG-2.12	.GI	12	UDG	63,39	39,62	-					
	.B	12	UPC	114,59	71,62	-					

**ASSAIG DE COMPRESIÓ**  
**CEM / NAF / H2O / FL**  
**1 / 0 / 0,3 / 0**

NOM PROVETA	DIES	NUM	DIMENSIONS PROVETES (mm)			UBICACIÓ ASSAIG	RESISTÈNCIA PREMSA	Esforç N/mm <sup>2</sup>	Descart optimista i pessimista	Mitjana de resultats N/mm <sup>2</sup>
			X	Y	Z		KN			

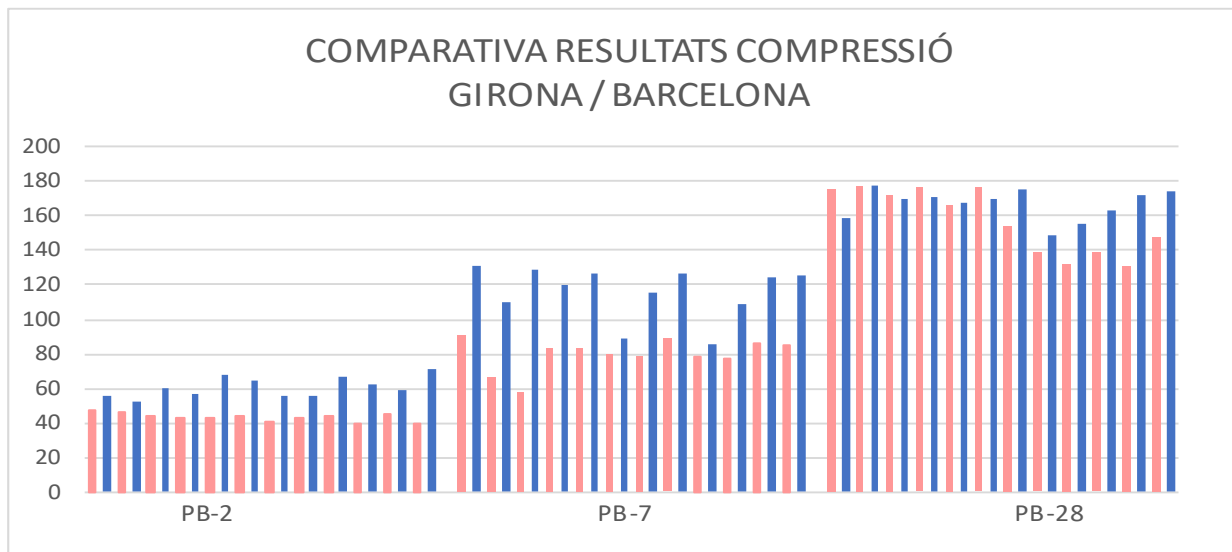
PG-7.1	.GI	1				UDG	145,92	91,20	-	
	.B	1				UPC	208,79	130,49	130,49	
PG-7.2	.GI	2				UDG	107,38	67,11	67,11	
	.B	2				UPC	176,15	110,09	110,09	
PG-7.3	.GI	3				UDG	93,47	58,42	-	
	.B	3				UPC	206,90	129,31	129,31	
PG-7.4	.GI	4				UDG	133,10	83,19	83,19	
	.B	4				UPC	191,55	119,72	119,72	
PG-7.5	.GI	5				UDG	133,12	83,20	83,20	
	.B	5				UPC	202,64	126,65	126,65	
PG-7.6	.GI	6				UDG	127,84	79,90	79,90	
	.B	6				UPC	143,08	89,42	89,42	
PG-7.7	.GI	7	40	40	160	UDG	126,54	79,09	79,09	99,48
	.B	7				UPC	185,06	115,66	115,66	
PG-7.8	.GI	8				UDG	142,10	88,81	88,81	
	.B	8				UPC	201,96	126,23	126,23	
PG-7.9	.GI	9				UDG	125,30	78,31	78,31	
	.B	9				UPC	137,03	85,64	-	
PG-7.10	.GI	10				UDG	124,34	77,71	77,71	
	.B	10				UPC	174,34	108,96	108,96	
PG-7.11	.GI	11				UDG	137,05	85,66	85,66	
	.B	11				UPC	199,43	124,64	124,64	
PG-7.12	.GI	12				UDG	136,56	85,35	85,35	
	.B	12				UPC	200,50	125,31	-	

**ASSAIG DE COMPRESIÓ**  
**CEM / NAF / H2O / FL**  
**1 / 0 / 0,3 / 0**

NOM PROVETA	DIES	NUM	DIMENSIONS PROVETES (mm)			UBICACIÓ ASSAIG	RESISTÈNCIA PREMSA	Esforç N/mm <sup>2</sup>	Descart optimista i pessimista	Mitjana de resultats N/mm <sup>2</sup>
			X	Y	Z		KN			

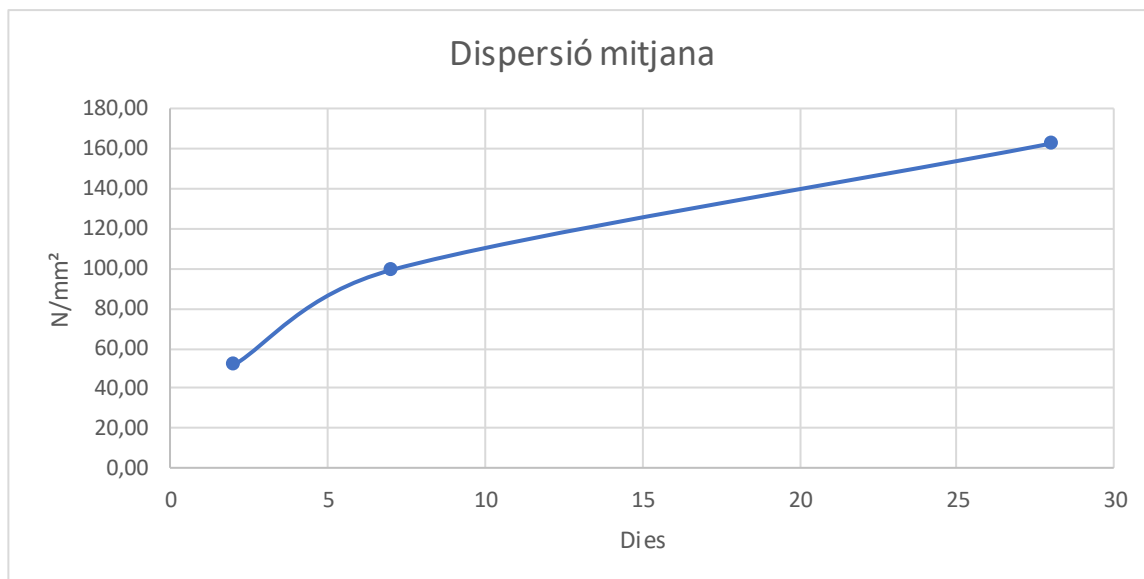
PG-28.1	.GI	1				UDG	281,22	175,76	175,76	
	.B	1				UPC	253,96	158,73	158,73	
PG-28.2	.GI	2				UDG	284,69	177,93	-	
	.B	2				UPC	283,16	176,98	176,98	
PG-28.3	.GI	3				UDG	274,34	171,46	171,46	
	.B	3				UPC	271,02	169,39	169,39	
PG-28.4	.GI	4				UDG	282,41	176,51	176,51	
	.B	4				UPC	272,46	170,29	170,29	
PG-28.5	.GI	5				UDG	266,55	166,59	166,59	
	.B	5				UPC	268,00	167,50	167,50	
PG-28.6	.GI	6				UDG	282,84	176,78	176,78	
	.B	6				UPC	272,36	170,23	170,23	
PG-28.7	.GI	7	40	40	160	UDG	245,88	153,68	153,68	<b>162,79</b>
	.B	7				UPC	280,71	175,44	-	
PG-28.8	.GI	8				UDG	222,56	139,10	139,10	
	.B	8				UPC	237,75	148,59	-	
PG-28.9	.GI	9				UDG	211,55	132,22	132,22	
	.B	9				UPC	248,10	155,06	155,06	
PG-28.10	.GI	10				UDG	222,69	139,18	139,18	
	.B	10				UPC	260,36	162,73	162,73	
PG-28.11	.GI	11				UDG	209,41	130,88	-	
	.B	11				UPC	275,06	171,91	171,91	
PG-28.12	.GI	12				UDG	236,95	148,09	148,09	
	.B	12				UPC	277,94	173,71	173,71	





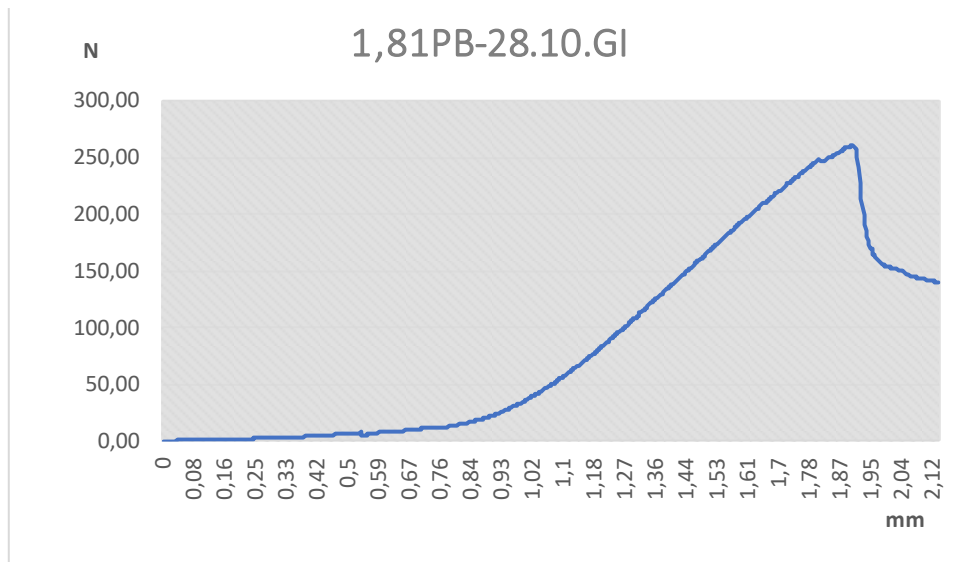
UBICACIÓ	PG-2	PG-7	PG-28
UDG	47,15	91,20	175,76
UPC	55,59	130,49	158,73
UDG	46,26	67,11	177,93
UPC	53,00	110,09	176,98
UDG	44,69	58,42	171,46
UPC	60,66	129,31	169,39
UDG	43,21	83,19	176,51
UPC	57,26	119,72	170,29
UDG	43,05	83,20	166,59
UPC	68,05	126,65	167,50
UDG	44,64	79,90	176,78
UPC	64,78	89,42	170,23
UDG	40,76	79,09	153,68
UPC	56,29	115,66	175,44
UDG	42,88	88,81	139,10
UPC	55,49	126,23	148,59
UDG	44,23	78,31	132,22
UPC	67,23	85,64	155,06
UDG	39,94	77,71	139,18
UPC	62,46	108,96	162,73
UDG	45,39	85,66	130,88
UPC	58,79	124,64	171,91
UDG	39,62	85,35	148,09
UPC	71,62	125,31	173,71

Resultat més proper a la mtijana determinada final.



PB	DIES		
	2	7	28
N/mm <sup>2</sup>	52,08	99,48	162,79

Aquesta gràfica és el resultat de la mateixa taula, ambdues ens mostren el resultat mig de resistència a compressió de les provetes assajades per aquesta dosificació.



Aquesta gràfica és un dels exemples de trencament de les provetes, concretament aquesta correspon al resultat de la proveta en particular que més s'ha acostat a la mitjana determinada finalment com a acceptada. Amb una resistència de:

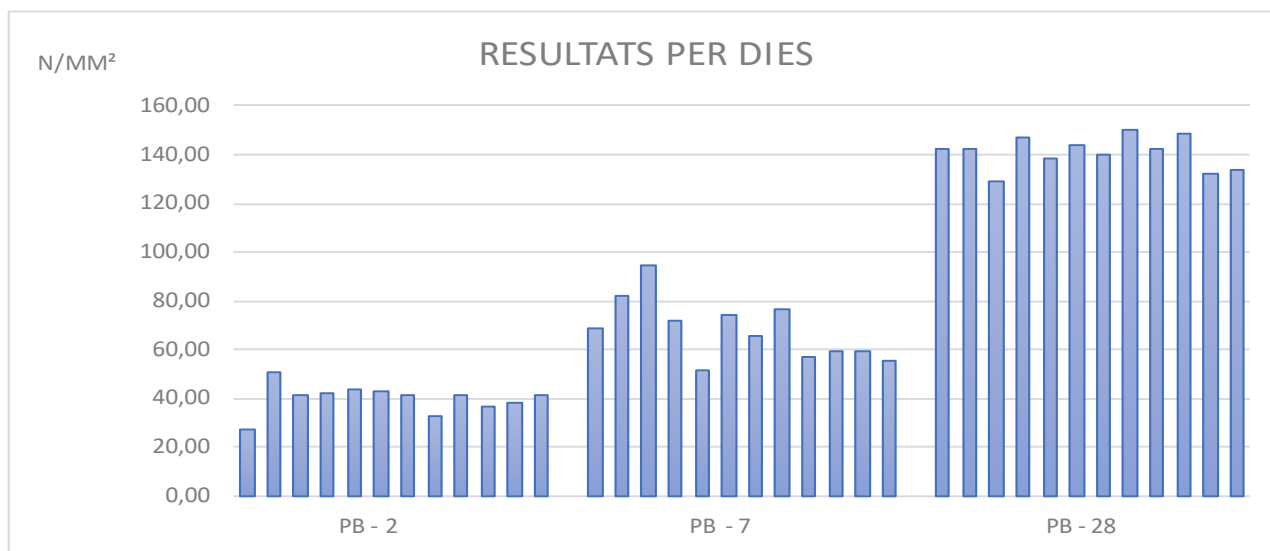
**162,79 N/mm<sup>2</sup>**

### ASSAIG DE COMPRESIÓ

CEM / NAF / H2O / FL

1 / 0,005 / 0,23 / 0,01

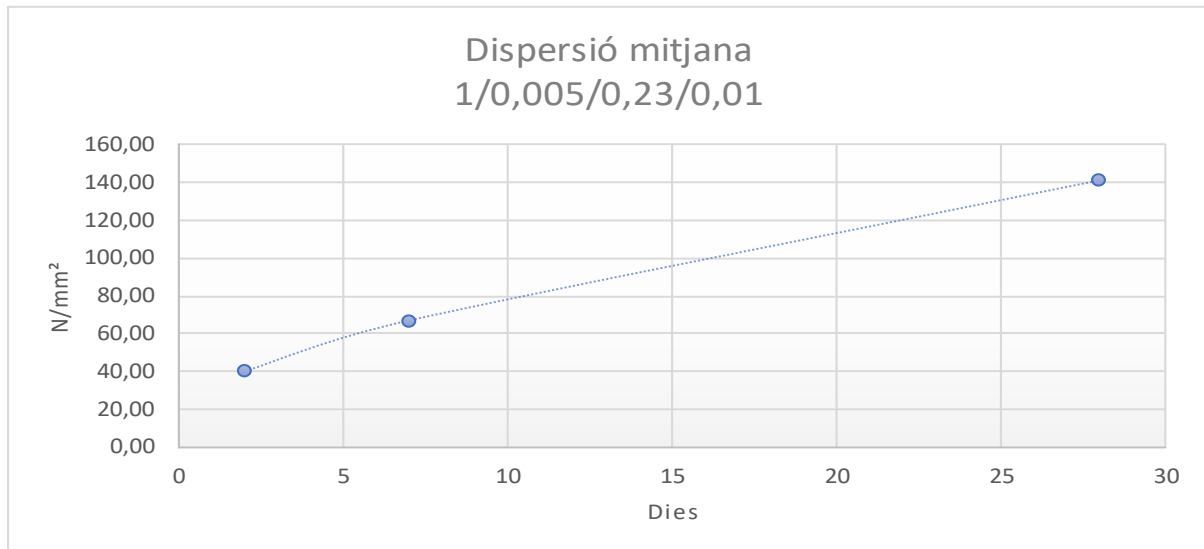
NOM PROVETA	DIES	NUM	DIMENSIO PROVETES			UBICACIÓ ASSAIG	RESISTÈNCIA PREMSA	ESFORÇ N/mm <sup>2</sup>	Descart optimista i pessimista	Mitjana de resultats N/mm <sup>2</sup>	
			X	Y	Z		t				
PB-2.1.1 .GI		1				UDG	0,275	27,500	-		
PB-2.1.2 .GI		2				UDG	0,509	50,900	-		
PB-2.2.1 .GI		3				UDG	0,412	41,200	41,200		
PB-2.2.2 .GI		4				UDG	0,423	42,300	42,300		
PB-2.3.1 .GI		5				UDG	0,438	43,800	43,800		
PB-2.3.2 .GI		6				UDG	0,425	42,500	42,500		
PB-2.4.1 .GI	2	1				UDG	0,410	41,000	41,000	40,040	
PB-2.4.2 .GI		2				UDG	0,330	33,000	33,000		
PB-2.5.1 .GI		3				UDG	0,410	41,000	41,000		
PB-2.5.2 .GI		4				UDG	0,363	36,300	36,300		
PB-2.6.1 .GI		5				UDG	0,379	37,900	37,900		
PB-2.6.2 .GI		6				UDG	0,414	41,400	41,400		
PB-7.1.1 .GI		1				UDG	0,686	68,640	68,640		
PB-7.1.2 .GI		2				UDG	0,822	82,225	82,225		
PB-7.2.1 .GI		3				UDG	0,942	94,237	-		
PB-7.2.2 .GI		4				UDG	0,718	71,786	71,786		
PB-7.3.1 .GI		5				UDG	0,513	51,337	-		
PB-7.3.2 .GI		6	10	10	70	UDG	0,738	73,788	73,788	66,910	
PB-7.4.1 .GI	7	1				UDG	0,655	65,494	65,494		
PB-7.4.2 .GI		2				UDG	0,762	76,219	76,219		
PB-7.5.1 .GI		3				UDG	0,568	56,771	56,771		
PB-7.5.2 .GI		4				UDG	0,596	59,631	59,631		
PB-7.6.1 .GI		5				UDG	0,595	59,488	59,488		
PB-7.6.2 .GI		6				UDG	0,551	55,055	55,055		
PB-28.1.1 .GI		1				UDG	1,420	142,000	142,000		
PB-28.1.2 .GI		2				UDG	1,426	142,600	142,600		
PB-28.2.1 .GI		3				UDG	1,289	128,900	-		
PB-28.2.2 .GI		4				UDG	1,468	146,800	146,800		
PB-28.3.1 .GI		5				UDG	1,387	138,700	138,700		
PB-28.3.2 .GI		6				UDG	1,442	144,200	144,200		
PB-28.4.1 .GI	28	1				UDG	1,397	139,700	139,700	141,080	
PB-28.4.2 .GI		2				UDG	1,501	150,100	-		
PB-28.5.1 .GI		3				UDG	1,423	142,300	142,300		
PB-28.5.2 .GI		4				UDG	1,489	148,900	148,900		
PB-28.6.1 .GI		5				UDG	1,321	132,100	132,100		
PB-28.6.2 .GI		6				UDG	1,335	133,500	133,500		



<b>PG-2</b>	<b>PG-7</b>	<b>PG-28</b>
27,50	68,64	142,00
50,90	82,23	142,60
41,20	94,24	128,90
42,30	71,79	146,80
43,80	51,34	138,70
42,50	73,79	144,20
41,00	65,49	139,70
33,00	76,22	150,10
41,00	56,77	142,30
36,30	59,63	148,90
37,90	59,49	132,10
41,40	55,06	133,50

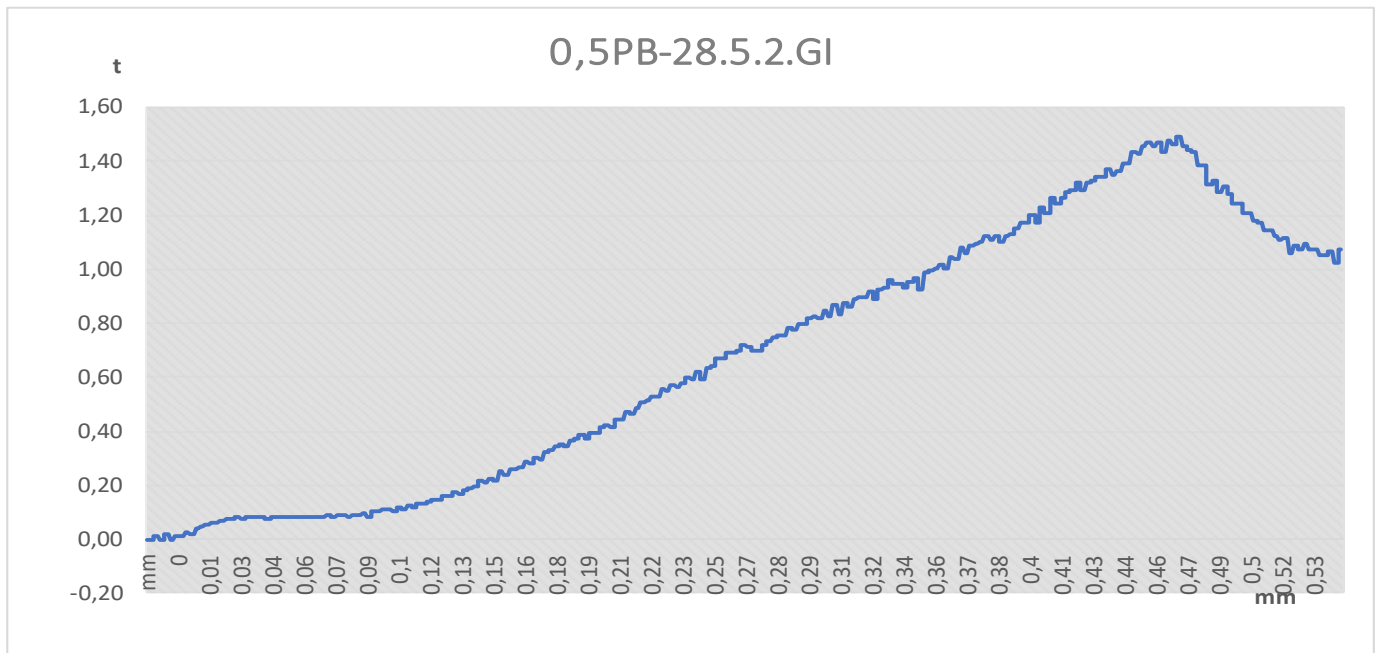
Resultat més proper a la mtijana determinada final.

Aquest conjunt de taula i gràfica mostren els diferents resultats de resistència a compressió relacionats a la vegada amb els dies de curat de les sis unitats de provetes realitzades per cada sèrie.



0,50%	DIES		
	2	7	28
N/mm <sup>2</sup>	40,04	66,91	141,08

Aquesta gràfica és el resultat de la mateixa taula, ambdues ens mostren el resultat mig de resistència a compressió de les provetes assajades per aquesta dosificació.



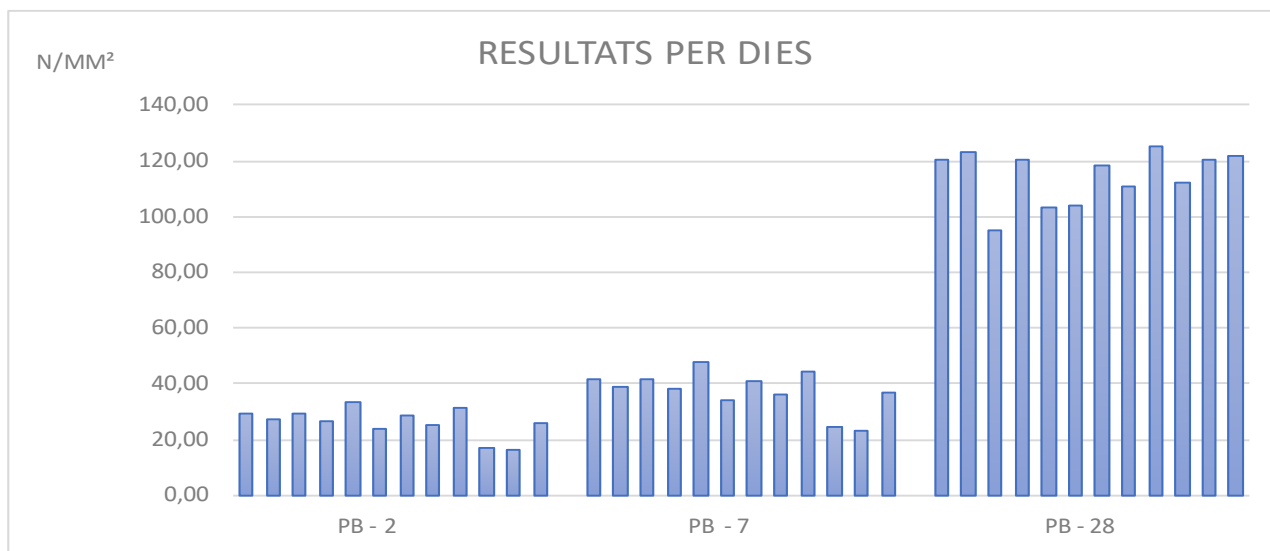
Aquesta gràfica és un dels exemples de trencament de les provetes, concretament aquesta correspon al resultat de la proveta en particular que més s'ha acostat a la mitjana determinada finalment com a acceptada i vàlida segons els demás resultats obtinguts.

Amb una resistència de:

**141,08 N/mm<sup>2</sup>**

ASSAIG DE COMPRESIÓ										
CEM / NAF / H2O / FL										
1 / 0,01 / 0,29 / 0,01										
NOM PROVETA	DIES	NUM	DIMENSIÓ PROVETES			UBICACIÓ ASSAIG	RESISTÈNCIA PREMSA	ESFORÇ N/mm <sup>2</sup>	Descart optimista i pessimista	Mitjana de resultats N/mm <sup>2</sup>
			X	Y	Z		t			
PB-2.1.1	.GI	1				UDG	0,293	29,301	29,301	
PB-2.1.2	.GI	2				UDG	0,270	26,993	26,993	
PB-2.2.1	.GI	3				UDG	0,290	28,951	28,951	
PB-2.2.2	.GI	4				UDG	0,268	26,783	26,783	
PB-2.3.1	.GI	5				UDG	0,334	33,427	-	
PB-2.3.2	.GI	6				UDG	0,239	23,916	23,916	
PB-2.4.1	.GI	1				UDG	0,285	28,531	28,531	26,413
PB-2.4.2	.GI	2				UDG	0,255	25,455	25,455	
PB-2.5.1	.GI	3				UDG	0,313	31,259	31,259	
PB-2.5.2	.GI	4				UDG	0,171	17,063	17,063	
PB-2.6.1	.GI	5				UDG	0,164	16,364	-	
PB-2.6.2	.GI	6				UDG	0,259	25,874	25,874	
PB-7.1.1	.GI	1				UDG	0,419	41,900	41,900	
PB-7.1.2	.GI	2				UDG	0,386	38,600	38,600	
PB-7.2.1	.GI	3				UDG	0,414	41,400	41,400	
PB-7.2.2	.GI	4				UDG	0,383	38,300	38,300	
PB-7.3.1	.GI	5				UDG	0,478	47,800	-	
PB-7.3.2	.GI	6	10	10	70	UDG	0,342	34,200	34,200	37,670
PB-7.4.1	.GI	1				UDG	0,408	40,800	40,800	
PB-7.4.2	.GI	2				UDG	0,364	36,400	36,400	
PB-7.5.1	.GI	3				UDG	0,447	44,700	44,700	
PB-7.5.2	.GI	4				UDG	0,244	24,400	-	
PB-7.6.1	.GI	5				UDG	0,234	23,400	23,400	
PB-7.6.2	.GI	6				UDG	0,370	37,000	37,000	
PB-28.1.1	.GI	1				UDG	1,2033	120,330	120,330	
PB-28.1.2	.GI	2				UDG	1,2303	123,030	123,030	
PB-28.2.1	.GI	3				UDG	0,9477	94,770	-	
PB-28.2.2	.GI	4				UDG	1,2033	120,330	120,330	
PB-28.3.1	.GI	5				UDG	1,035	103,500	103,500	
PB-28.3.2	.GI	6				UDG	1,0386	103,860	103,860	115,470
PB-28.4.1	.GI	1				UDG	1,1817	118,170	118,170	
PB-28.4.2	.GI	2				UDG	1,1079	110,790	110,790	
PB-28.5.1	.GI	3				UDG	1,2528	125,280	-	
PB-28.5.2	.GI	4				UDG	1,1232	112,320	112,320	
PB-28.6.1	.GI	5				UDG	1,2051	120,510	120,510	
PB-28.6.2	.GI	6				UDG	1,2186	121,860	121,860	

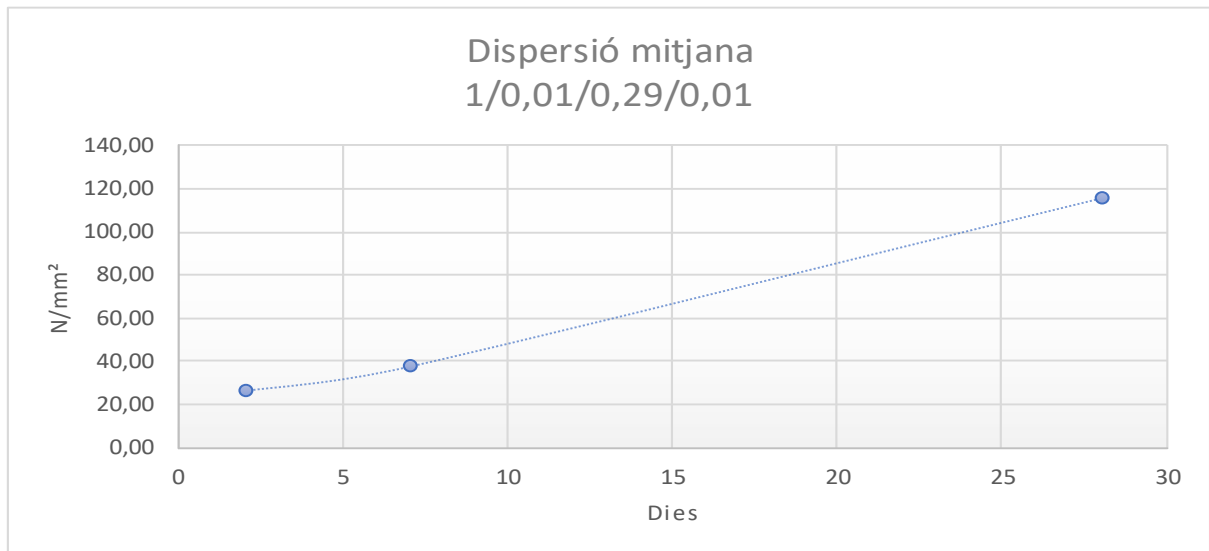




PG-2	PG-7	PG-28
29,30	41,90	120,33
26,99	38,60	123,03
28,95	41,40	94,77
26,78	38,30	120,33
33,43	47,80	103,50
23,92	34,20	103,86
28,53	40,80	118,17
25,45	36,40	110,79
31,26	44,70	125,28
17,06	24,40	112,32
16,36	23,40	120,51
25,87	37,00	121,86

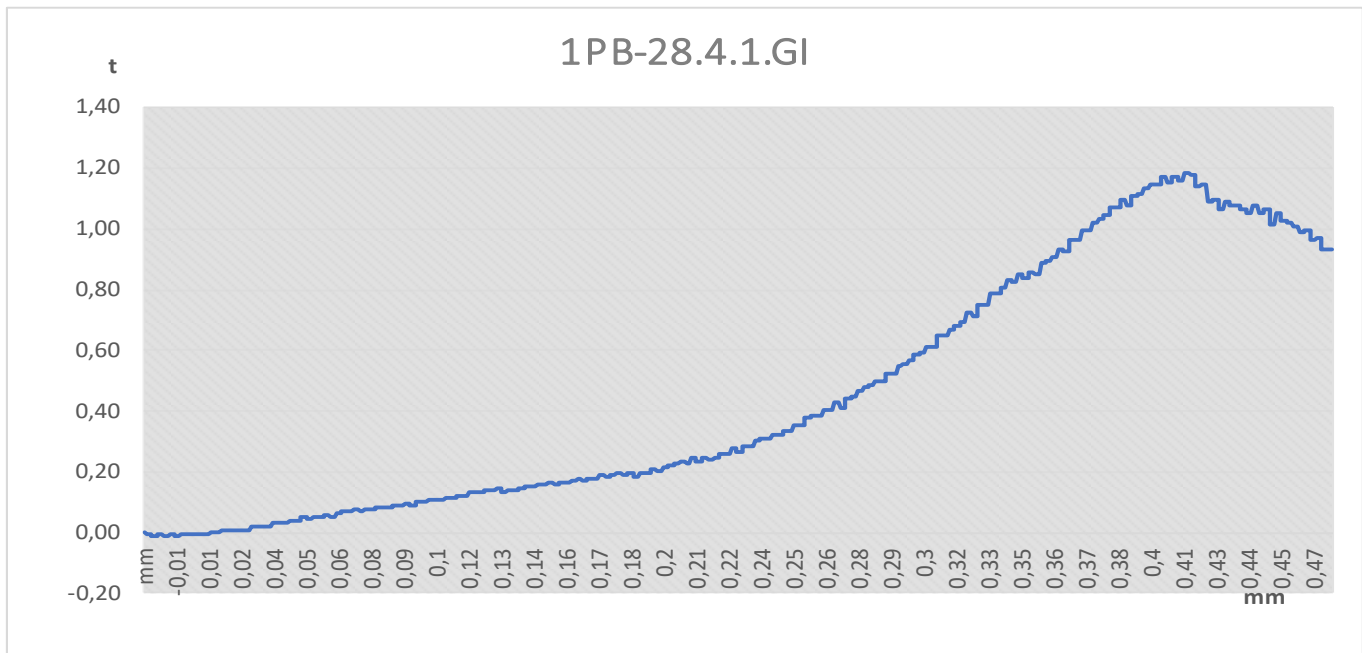
Resultat més proper a la mtijana determinada final.

Aquest conjunt de taula i gràfica mostren els diferents resultats de resistència a compressió relacionats a la vegada amb els dies de curat de les sis unitats de provetes realitzades per cada sèrie.



1%	DIES		
	2	7	28
N/mm <sup>2</sup>	26,41	37,67	115,47

Aquesta gràfica és el resultat de la mateixa taula, ambdues ens mostren el resultat mig de resistència a compressió de les provetes assajades per aquesta dosificació.



Aquesta gràfica és un dels exemples de trencament de les provetes, concretament aquesta correspon al resultat de la proveta en particular que més s'ha acostat a la mitjana determinada finalment com a acceptada i vàlida segons els demás resultats obtinguts.

Amb una resistència de:

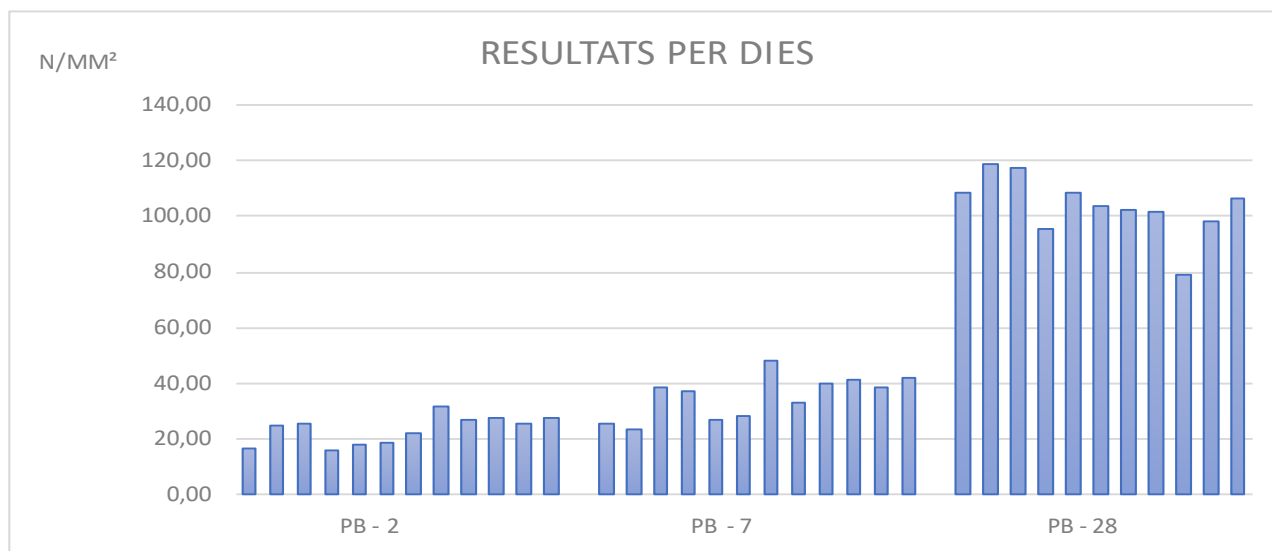
**115,47 N/mm<sup>2</sup>**

### ASSAIG DE COMPRESIÓ

CEM / NAF / H2O / FL

1 / 0,015 / 0,41 / 0,01

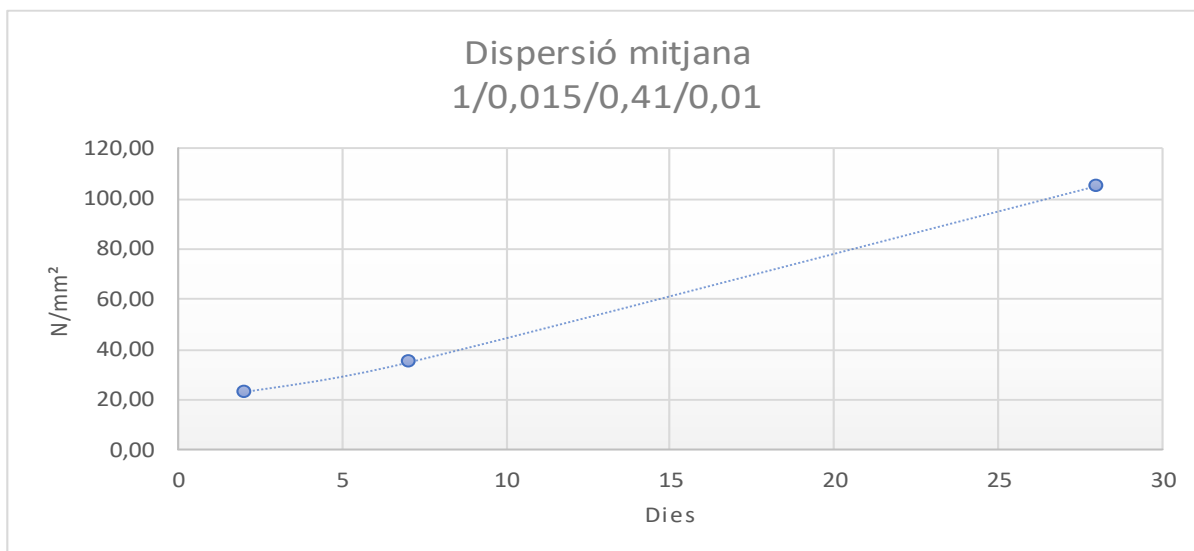
NOM PROVETA	DIES	NUM	DIMENSIO PROVETES			UBICACIO ASSAIG	RESISTENCIA PREMSA	ESFORÇ N/mm <sup>2</sup>	Descart optimista i pessimista	Mitjana de resultats N/mm <sup>2</sup>
			X	Y	Z		t			
PB-2.1.1 .GI		1				UDG	0,169	16,867	16,867	
PB-2.1.2 .GI		2				UDG	0,250	25,000	25,000	
PB-2.2.1 .GI		3				UDG	0,257	25,667	25,667	
PB-2.2.2 .GI		4				UDG	0,157	15,700	-	
PB-2.3.1 .GI		5				UDG	0,177	17,733	17,733	
PB-2.3.2 .GI	2	6				UDG	0,187	18,667	18,667	23,413
PB-2.4.1 .GI		1				UDG	0,222	22,200	22,200	
PB-2.4.2 .GI		2				UDG	0,320	32,000	-	
PB-2.5.1 .GI		3				UDG	0,266	26,600	26,600	
PB-2.5.2 .GI		4				UDG	0,277	27,733	27,733	
PB-2.6.1 .GI		5				UDG	0,259	25,867	25,867	
PB-2.6.2 .GI		6				UDG	0,278	27,800	27,800	
PB-7.1.1 .GI		1				UDG	0,253	25,300	25,300	
PB-7.1.2 .GI		2				UDG	0,236	23,600	-	
PB-7.2.1 .GI		3				UDG	0,385	38,500	38,500	
PB-7.2.2 .GI		4				UDG	0,375	37,500	37,500	
PB-7.3.1 .GI		5				UDG	0,266	26,600	26,600	
PB-7.3.2 .GI	7	6	10	10	70	UDG	0,280	28,000	28,000	35,120
PB-7.4.1 .GI		1				UDG	0,480	48,000	-	
PB-7.4.2 .GI		2				UDG	0,333	33,300	33,300	
PB-7.5.1 .GI		3				UDG	0,399	39,900	39,900	
PB-7.5.2 .GI		4				UDG	0,416	41,600	41,600	
PB-7.6.1 .GI		5				UDG	0,388	38,800	38,800	
PB-7.6.2 .GI		6				UDG	0,417	41,700	41,700	
PB-28.1.1 .GI		1				UDG	1,086	108,600	108,600	
PB-28.1.2 .GI		2				UDG	1,190	119,000	-	
PB-28.2.1 .GI		3				UDG	1,176	117,600	117,600	
PB-28.2.2 .GI		4				UDG	0,957	95,700	95,700	
PB-28.3.1 .GI		5				UDG	1,088	108,800	108,800	
PB-28.3.2 .GI	28	6				UDG	1,040	104,000	104,000	104,740
PB-28.4.1 .GI		1				UDG	1,023	102,300	102,300	
PB-28.4.2 .GI		2				UDG	1,017	101,700	101,700	
PB-28.5.1 .GI		3				UDG	0,787	78,700	-	
PB-28.5.2 .GI		4				UDG	0,984	98,400	98,400	
PB-28.6.1 .GI		5				UDG	1,061	106,100	106,100	
PB-28.6.2 .GI		6				UDG	1,042	104,200	104,200	



PG-2	PG-7	PG-28
16,87	25,30	108,60
25,00	23,60	119,00
25,67	38,50	117,60
15,70	37,50	95,70
17,73	26,60	108,80
18,67	28,00	104,00
22,20	48,00	102,30
32,00	33,30	101,70
26,60	39,90	78,70
27,73	41,60	98,40
25,87	38,80	106,10
27,80	41,70	104,20

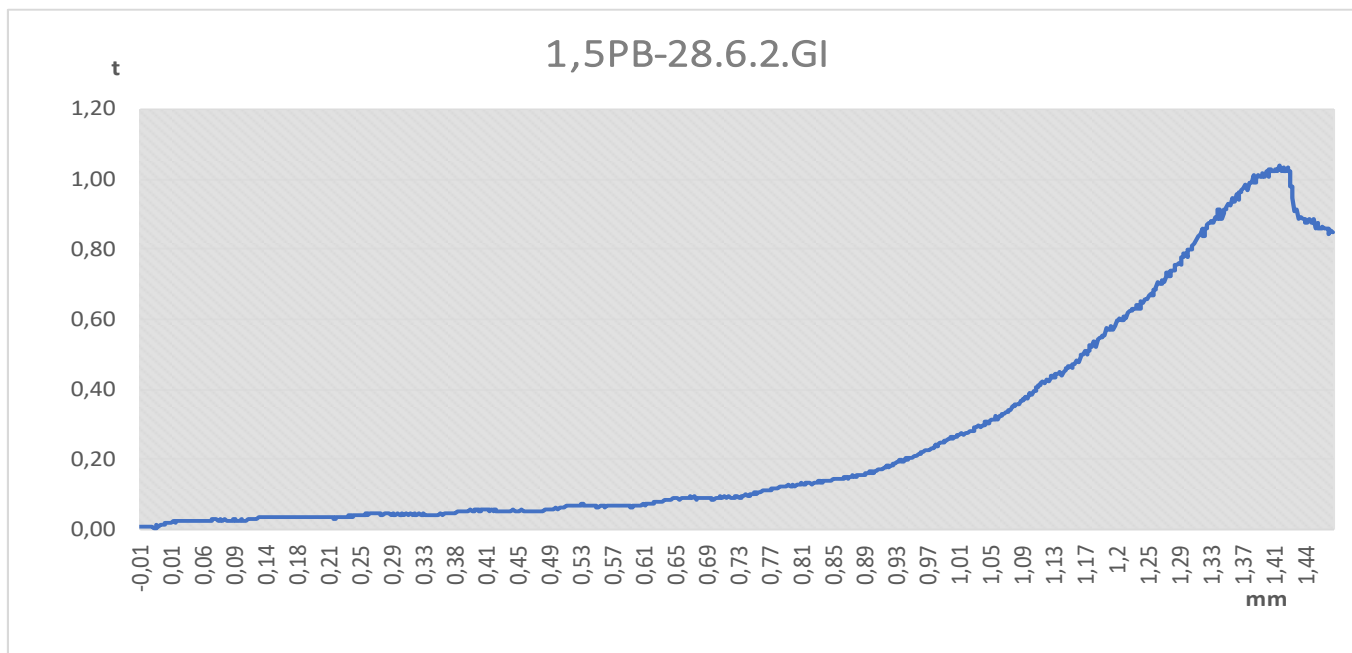
Resultat més proper a la mtijana determinada final.

Aquest conjunt de taula i gràfica mostren els diferents resultats de resistència a compressió relacionats a la vegada amb els dies de curat de les sis unitats de provetes realitzades per cada sèrie.



1,5%	DIES		
	2	7	28
N/mm <sup>2</sup>	23,41	35,12	104,74

Aquesta gràfica és el resultat de la mateixa taula, ambdues ens mostren el resultat mig de resistència a compressió de les provetes assajades per aquesta dosificació.



Aquesta gràfica és un dels exemples de trencament de les provetes, concretament aquesta correspon al resultat de la probeta en particular que més s'ha acostat a la mitjana determinada finalment com a acceptada i vàlida segons els demás resultats obtinguts.

Amb una resistència de:

**104,74 N/mm<sup>2</sup>**

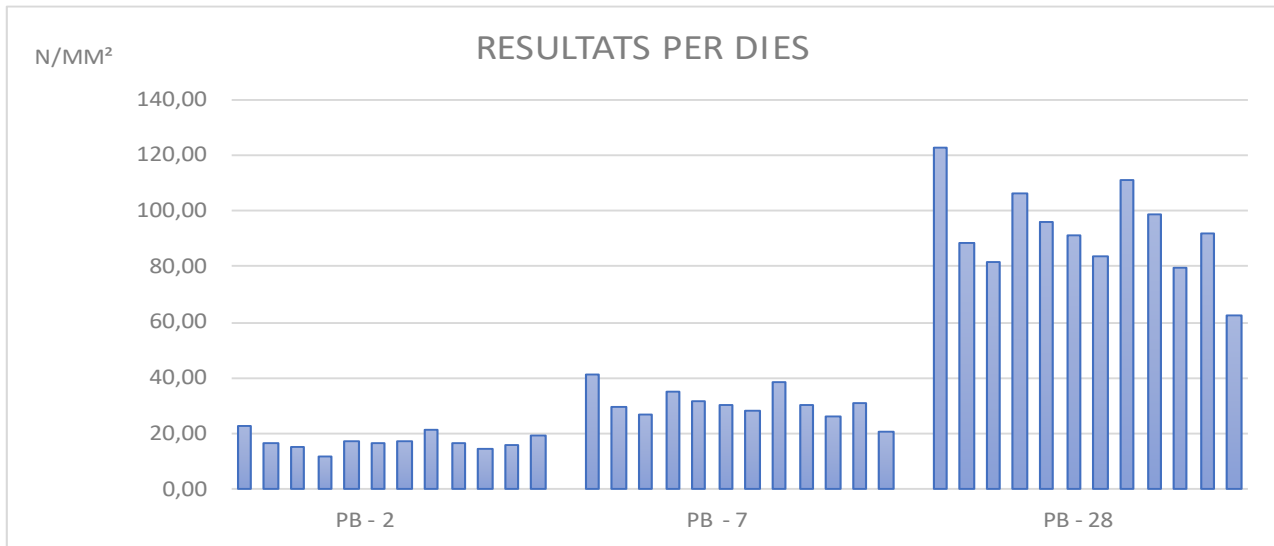
### ASSAIG DE COMPRESIÓ

CEM / NAF / H2O / FL

1 / 0,0181 / 1 / 0

NOM PROVETA	DIES	NUM	DIMENSIÓ PROVETES			UBICACIÓ ASSAIG	RESISTÈNCIA PREMSA	ESFORÇ N/mm <sup>2</sup>	Descart optimista i pessimista	Mitjana de resultats N/mm <sup>2</sup>
			X	Y	Z		t			
PB-2.1.1 .GI		1				UDG	0,228	22,778	-	
PB-2.1.2 .GI		2				UDG	0,163	16,296	16,296	
PB-2.2.1 .GI		3				UDG	0,150	15,000	15,000	
PB-2.2.2 .GI		4				UDG	0,115	11,500	-	
PB-2.3.1 .GI		5				UDG	0,176	17,593	17,593	
PB-2.3.2 .GI	2	6				UDG	0,167	16,667	16,667	17,035
PB-2.4.1 .GI		1				UDG	0,170	17,000	17,000	
PB-2.4.2 .GI		2				UDG	0,213	21,296	21,296	
PB-2.5.1 .GI		3				UDG	0,167	16,667	16,667	
PB-2.5.2 .GI		4				UDG	0,146	14,630	14,630	
PB-2.6.1 .GI		5				UDG	0,156	15,600	15,600	
PB-2.6.2 .GI		6				UDG	0,196	19,600	19,600	
PB-7.1.1 .GI		1				UDG	0,410	41,000	-	
PB-7.1.2 .GI		2				UDG	0,293	29,333	29,333	
PB-7.2.1 .GI		3				UDG	0,270	27,000	27,000	
PB-7.2.2 .GI		4				UDG	0,353	35,333	35,333	
PB-7.3.1 .GI		5				UDG	0,317	31,667	31,667	
PB-7.3.2 .GI	7	6	10	10	70	UDG	0,300	30,000	30,000	30,667
PB-7.4.1 .GI		1				UDG	0,280	28,000	28,000	
PB-7.4.2 .GI		2				UDG	0,383	38,333	38,333	
PB-7.5.1 .GI		3				UDG	0,300	30,000	30,000	
PB-7.5.2 .GI		4				UDG	0,263	26,333	26,333	
PB-7.6.1 .GI		5				UDG	0,307	30,667	30,667	
PB-7.6.2 .GI		6				UDG	0,207	20,667	-	
PB-28.1.1 .GI		1				UDG	1,231	123,100	-	
PB-28.1.2 .GI		2				UDG	0,886	88,600	88,600	
PB-28.2.1 .GI		3				UDG	0,814	81,400	81,400	
PB-28.2.2 .GI		4				UDG	1,065	106,500	106,500	
PB-28.3.1 .GI		5				UDG	0,959	95,900	95,900	
PB-28.3.2 .GI	28	6				UDG	0,910	91,000	91,000	99,190
PB-28.4.1 .GI		1				UDG	0,840	84,000	84,000	
PB-28.4.2 .GI		2				UDG	1,110	111,000	111,000	
PB-28.5.1 .GI		3				UDG	0,990	99,000	99,000	
PB-28.5.2 .GI		4				UDG	0,794	79,400	79,400	
PB-28.6.1 .GI		5				UDG	0,923	92,300	92,300	
PB-28.6.2 .GI		6				UDG	0,628	62,800	62,800	

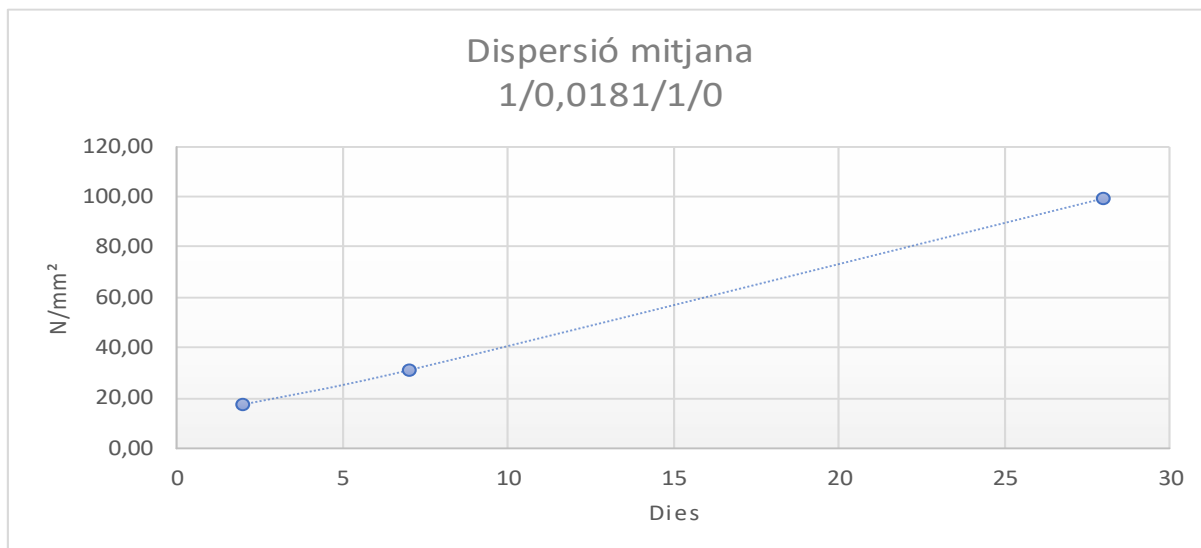




PG-2	PG-7	PG-28
22,78	41,00	123,10
16,30	29,33	88,60
15,00	27,00	81,40
11,50	35,33	106,50
17,59	31,67	95,90
16,67	30,00	91,00
17,00	28,00	84,00
21,30	38,33	111,00
16,67	30,00	99,00
14,63	26,33	79,40
15,60	30,67	92,30
19,60	20,67	62,80

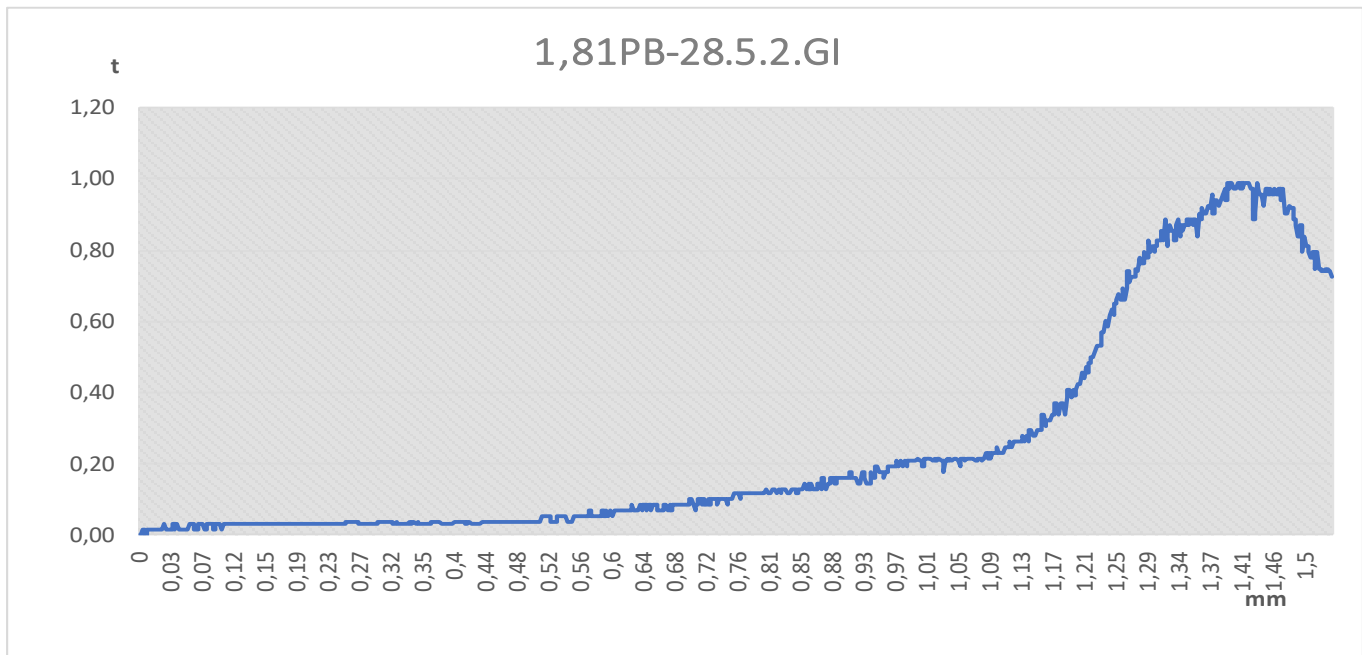
Resultat més proper a la mtijana determinada final.

Aquest conjunt de taula i gràfica mostren els diferents resultats de resistència a compressió relacionats a la vegada amb els dies de curat de les sis unitats de provetes realitzades per cada sèrie.



1,81%	DIES		
	2	7	28
N/mm <sup>2</sup>	17,03	30,67	99,19

Aquesta gràfica és el resultat de la mateixa taula, ambdues ens mostren el resultat mig de resistència a compressió de les provetes assajades per aquesta dosificació.



Aquesta gràfica és un dels exemples de trencament de les provetes, concretament aquesta correspon al resultat de la proveta en particular que més s'ha acostat a la mitjana determinada finalment com a acceptada i vàlida segons els demás resultats obtinguts.

Amb una resistència de:

**99,19 N/mm<sup>2</sup>**

## ANNEX F – PROTOCOL NORMALITZAT BLAU DE METILÈ

# PNT-63.1LF-14

## BLAU DE METILÈ

AUTORITZACIONS				
FUNCIÓ	NOM	CÀRREC	DATA	SIGNATURA
Redactat	Elena Franco	Responsable tècnic	27/11/13	
Revisat	Fabiola Vilaseca	Responsable laboratori	27/11/13	
Aprovat	Pere Mutjé	Director/a	27/11/13	

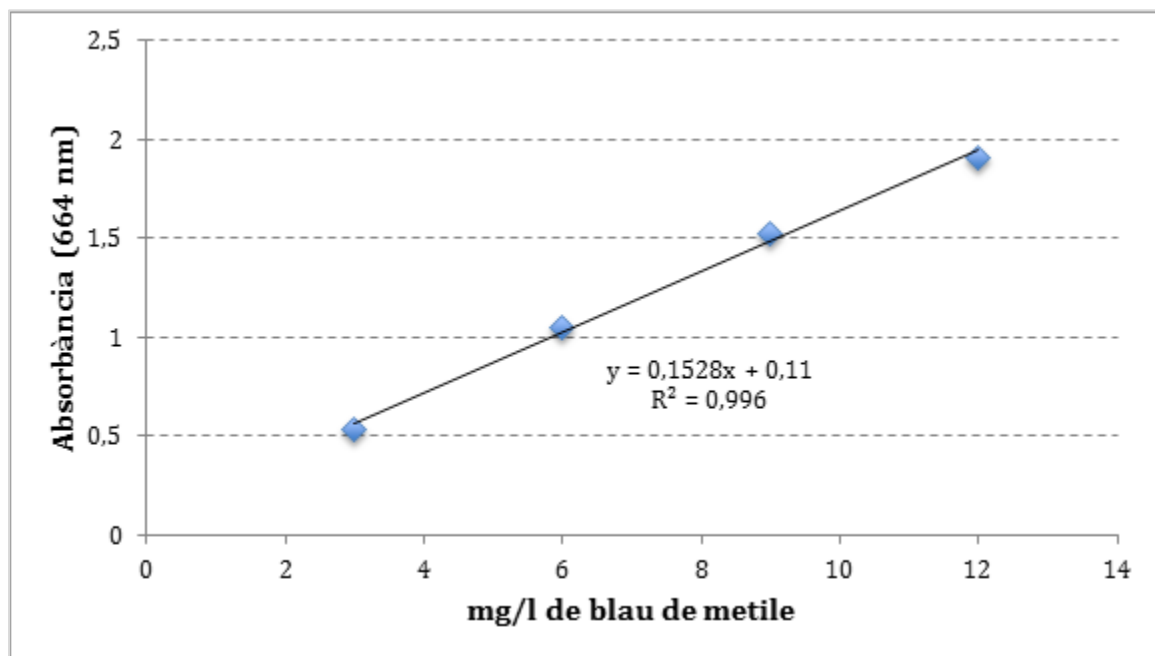
SEGUIMENT MODIFICACIONS		
DATA	REV.	MODIFICACIONS
27/11/13	01	Realització inicial del PNT.

<b>OBJECTE</b>	Determinació grups àcids carboxílics per gram de cel·lulosa
<b>NORMATIVA APLICABLE</b>	
<b>DESCRIPCIÓ</b>	
<p>OBJECTIU</p> <p>L'objectiu és determinar la quantitat de mmols d'àcid carboxílic per grams de cel·lulosa en una pasta que ha estat prèviament oxidada i sense homogeneïtzar.</p> <p>EL PROCEDIMENT EXPERIMENTAL I RESULTATS</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.1. Pesar entre 10-15 mg secs de pasta problema.</li> <li>1.2. Addicionar 25 ml d'una dissolució de blau de metilè (300 mg en 1 litre)</li> <li>1.3. Afegir 25 ml d'una dissolució buffer de borat a pH=8,5. (per obtenir-la, es prepara una dissolució 1 M d'àcid bòric i s'ajusta amb NaOH fins a pH 8,5.).</li> <li>1.4. Seguidament, agitar la mostra durant una hora.</li> <li>1.5. Procedir a l'elaboració dels patrons. Es preparen 4 patrons de 25 ml cadascun, de concentració 12 mg/l, 9 mg/l, 6 mg/l i de 3 mg/l. En la preparació dels patrons agafar la quantitat necessària de la dissolució mare de blau de metilè i addicionar 25 ml de dissolució buffer de borat i enrasar amb aigua destil·lada.</li> <li>1.6. Deixar reposar la mostra 1 hora.</li> <li>1.7. Centrifugar la mostra a 10000 rpm durant 20 minuts.</li> <li>1.8. Agafar 2 ml de sobrenedant i travessar-los a un matràs de 25 ml.</li> <li>1.9. Addicionen 2,5 ml de HCl 0,1 M i s'enrasa amb aigua destil·lada.</li> <li>1.10. Un cop tenim els patrons i la mostra preparada, es procedeix a la mesura de l'absorbància l'UV- visible <i>Recording Spectrophotometer</i> model Shimadzu UV-160<sup>a</sup> (del laboratori del 2n pis d'EQATA).</li> <li>1.11. Mesurar a una longitud d'ona fixe de 664 nm.</li> <li>1.12. Utilitzar aigua destil·lada com a blanc. Per cada mostra o patró es fan tres mesures de l'absorbància.</li> </ol>	

1.13. Un cop s'ha realitzat les mesures s'obté la següent taula:

Mostra	Absorbància 1	Absorbància 2	Absorbància 3	Mitjana
Patró 12 mg	1,900	1,909	1,918	1,909
Patró 9 mg	1,520	1,521	1,528	1,523
Patró 6 mg	1,049	1,054	1,056	1,053
Patró 3 mg	0,536	0,537	0,541	0,538
Mostra	1,621	1,612	1,615	1,615

1.14. Construir la recta que relaciona la concentració dels patrons amb les seves corresponents absorbàncies i es genera la recta que passa per aquests 4 punts.



1.15. Calcular la quantitat de mmols d'àcid que hi ha en la mostra a partir de l'anterior recta i de l'absorbància de la mostra.

$$y = 0,1528x + 0,11 \Rightarrow x = \frac{y - 0,11}{0,1528}$$

1.16. Calcular la concentració de la mostra, sabent que té una absorbància de 1,616.

$$x = \frac{y - 0,11}{0,1528} = \frac{1,616 - 0,11}{0,1528} = 9,856 \text{ mg/l}$$

1.17. Calcular la quantitat de blau de metilè que no ha estat adsorbit a partir de la concentració.

$$25 \text{ ml} \frac{9,856 \text{ mg}}{1000 \text{ ml}} \frac{50 \text{ ml}}{2 \text{ ml}} = 6,16 \text{ mg de blau de metilè}$$

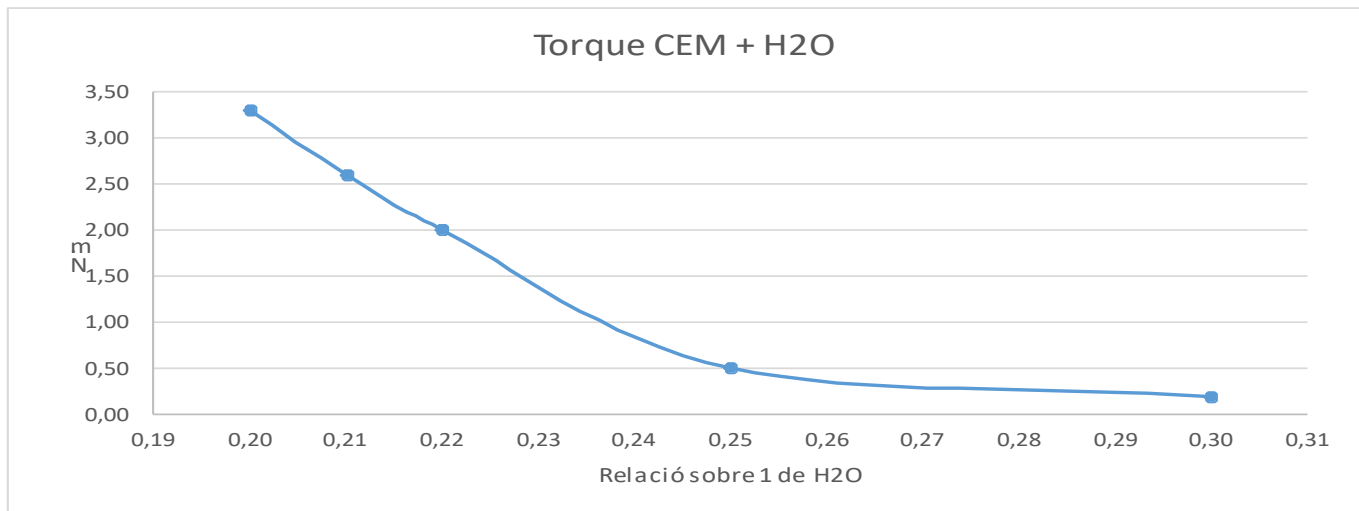
1.18. Finalment determinar la quantitat de grups carboxílics amb la següent equació:

$$COOH(\text{mmol}/\text{gr}) = \frac{(7,5 - X) \cdot 0.00313}{W}$$

on X és la quantitat no adsorbida de blau de metilè (mg) i W és el pes sec de la mostra (mg).

$$COOH(\text{mmol}/\text{gr}) = \frac{(7,5 - 6,16) \cdot 0.00313}{0,014} = 0,2924 \text{ mmol}/\text{gr}$$

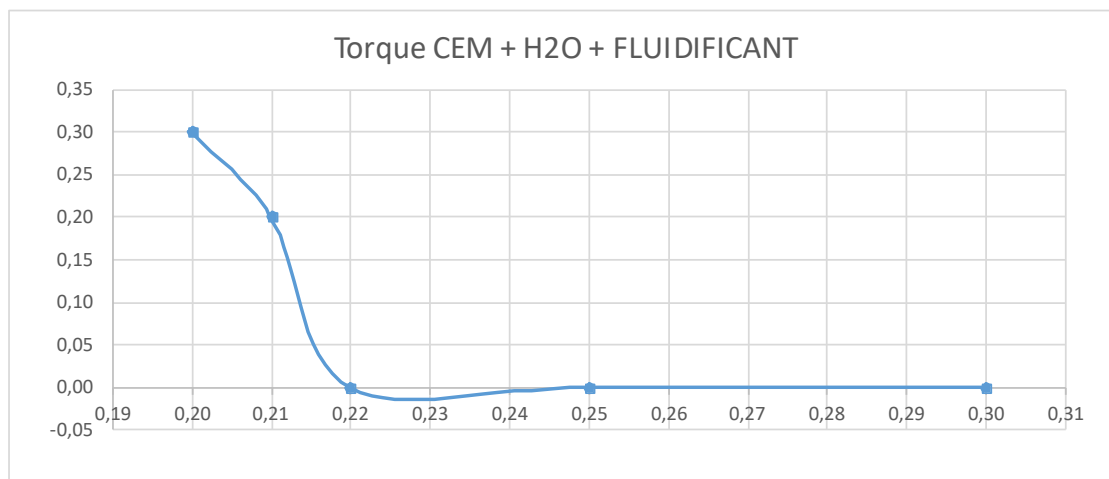
## ANNEX G – GRÀFIQUES I TAULES ASSAIG CONSISTÈNCIA



Assaig torque amassades CEM + H2O		
CEM	H2O	Torque (N·m)
1	0,20	3,30
1	0,21	2,60
1	0,22	2,00
1	0,25	0,50
1	0,30	0,20

Aquesta taula, junt amb la seva gràfica, mostren un assaig de reologia que es va realitzar amb amalgama de només ciment i aigua per tal de poder conèixer la influència d'un i altre amb el resultat de N·m





Assaig torque amassades CEM + H2O + FLUIDIFICANT			
CEM	FLUIDIFICANT	H2O	Torque (N·m)
1	1%	0,20	0,30
1	1%	0,21	0,20
1	1%	0,22	0,00
1	1%	0,25	0,00
1	1%	0,30	0,00

En aquesta ocasió tenim representada la mateixa taula i gràfica anterior però amb l'addició de l'1% de fluidificant

## ANNEX H – RESULTATS ASSAIG DE TRANSMITÀNCIA TÈRMICA.

Seguidament s'adjunten les taules i les gràfiques dels resultats dels assaigs de transmitància tèrmica realitzats a les diferents provetes. Per aquest ordre trobarem:

1. Taules de resultats de les provetes control.
2. Gràfiques de resultats de provetes control.
3. Taules de resultats de les provetes amb 0,5% de nanofibra.
4. Gràfiques de resultats de provetes amb 0,5% de nanofibra.
5. Taules de resultats de les provetes amb 1% de nanofibra.
6. Gràfiques de resultats de provetes amb 1% de nanofibra.
7. Taules de resultats de les provetes amb 1,5% de nanofibra.
8. Gràfiques de resultats de provetes amb 1,5% de nanofibra.
9. Taules de resultats de les provetes amb 1,81% de nanofibra.
10. Gràfiques de resultats de provetes amb 1,81% de nanofibra.
11. Gràfiques resum de la conductivitat tèrmica, la transmitància tèrmica i el flux de calor de totes les provetes analitzades.

CEM 1 MESURES PROVETA Num 1		
	mm	m
LLARG	159,26	0,1593
AMPLE	39,79	0,0398
GRUIX	9,64	0,0096
	mm <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
SUPERFICIE	6336,96	0,0063

$R_{si}$ (m <sup>2</sup> °C/W)	0,13
$R_{se}$ (m <sup>2</sup> °C/W)	0,13
$R_s$ (m <sup>2</sup> °C/W)	0,26

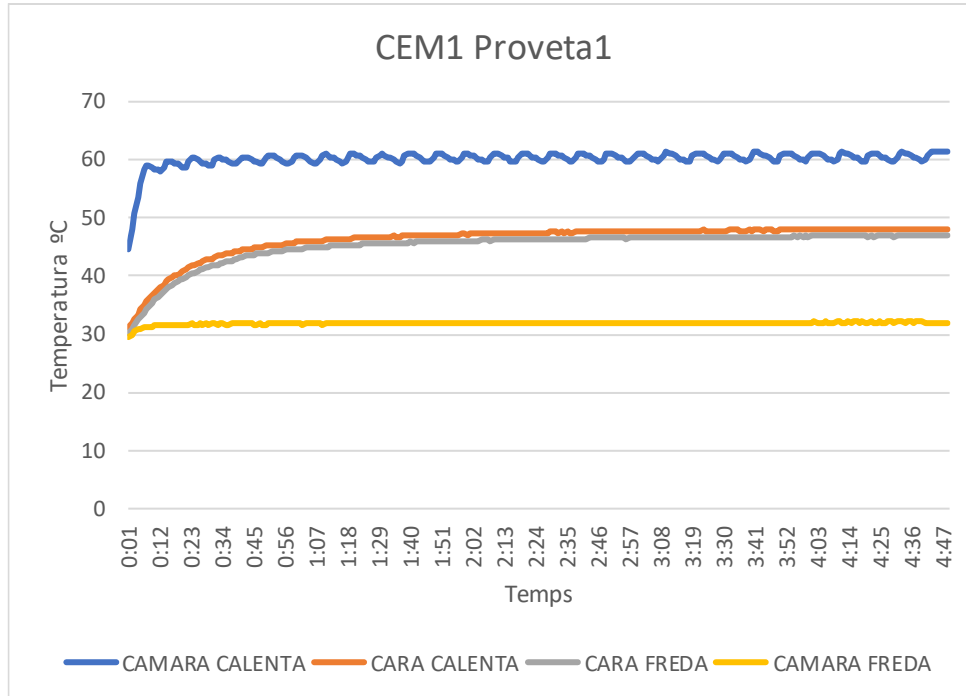
Taula 29 – Dimensions proveta 1 CEM 1.

TEMPS	CAMARA CALENTA	CARA CALENTA	CARA FREDA	CAMARA FREDA
3:00	61,1681	47,7263	46,54669	31,90976
3:01	61,0811	47,68679	46,55262	31,94004
3:02	60,95346	47,71687	46,63147	31,94906
3:03	60,60863	47,6878	46,60672	31,95256
3:04	60,40898	47,71346	46,63338	32,00116
3:05	60,18475	47,69793	46,6777	32,03502
3:06	59,90562	47,68938	46,69395	32,00246
3:07	59,70345	47,70059	46,64814	31,99258
3:08	59,92882	47,68504	46,64161	31,96223
3:09	60,85657	47,76219	46,61329	31,96694
3:10	61,2433	47,84857	46,63817	31,96331
3:11	61,20279	47,81501	46,63014	31,9683
3:12	61,00133	47,79803	46,67521	32,00271
3:13	60,722	47,75258	46,63375	31,96078
3:14	60,52545	47,79561	46,68784	31,9391
3:15	60,20605	47,76321	46,63717	31,95421
3:16	60,00539	47,76918	46,71362	32,00272
3:17	59,75388	47,73603	46,67567	31,9767
3:18	59,81356	47,78791	46,64737	31,95769
3:19	60,713	47,82856	46,70462	31,96197
3:20	61,14771	47,79137	46,67865	31,96437
3:21	61,21505	47,81531	46,6734	31,96199
3:22	61,04588	47,78647	46,72805	32,02454
3:23	60,93143	47,88531	46,73891	32,00296
3:24	60,60124	47,76836	46,69275	31,98351
3:25	60,35953	47,82918	46,71493	31,99963
3:26	60,13676	47,80927	46,75351	31,96202
3:27	59,8656	47,74515	46,7155	31,98417
3:28	59,67643	47,75331	46,69876	31,9926
3:29	60,19994	47,81576	46,75142	32,0372

Taula 30 – Dades proveta 1 CEM 1.

TEMPERATURA (°C)				INCREMENT DE TEMPERATURES (°C)		U (W/m <sup>2</sup> °C)	λ (W/m°C)	Q (W)
T <sub>ai</sub>	T <sub>si</sub>	T <sub>se</sub>	T <sub>ae</sub>	T <sub>ai</sub> -T <sub>ae</sub> (°C)	T <sub>si</sub> -T <sub>se</sub> (°C)			
60,51	47,77	46,67	31,98	28,53	1,10	3,44	0,86	0,62

Taula 31 – Resultats proveta 1 CEM 1.



Gràfica 11 – Evolució de temperatures fins a estabilització de la proveta 1 CEM 1.

CEM 1 MESURES PROVETA Num 2		
	mm	m
LLARG	159,25	0,1593
AMPLE	39,76	0,0398
GRUIX	9,41	0,0094
	mm <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
SUPERFICIE	6331,78	0,0063

R <sub>si</sub> (m <sup>2</sup> °C/W)	0,13
R <sub>se</sub> (m <sup>2</sup> °C/W)	0,13
R <sub>s</sub> (m <sup>2</sup> °C/W)	0,26

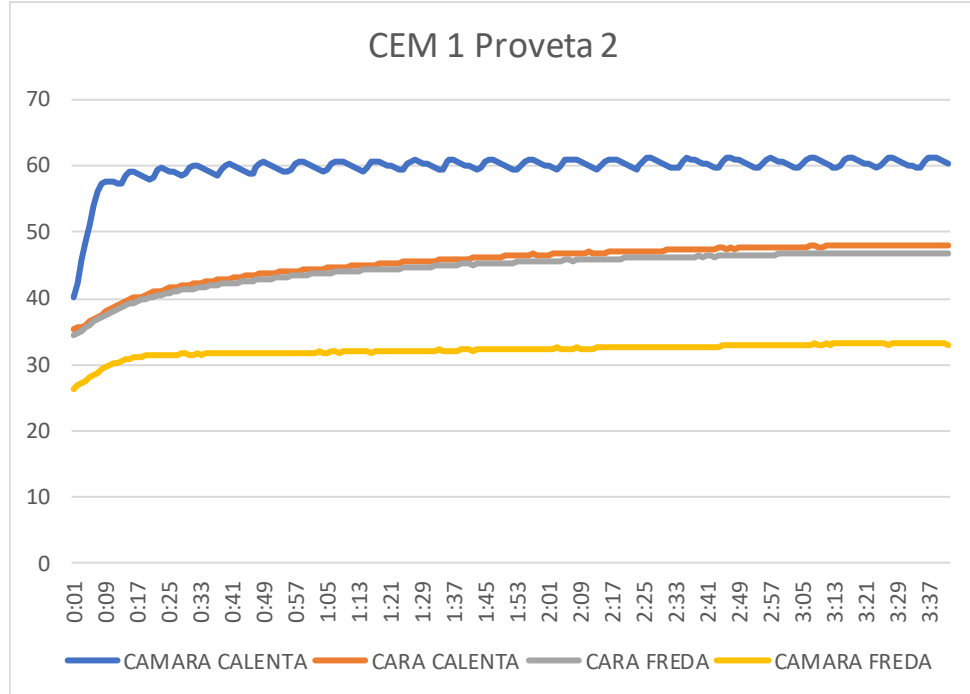
Taula 32 – Dimensions proveta 2 CEM 1.

TEMPS	CAMARA CALENTA	CARA CALENTA	CARA FREDA	CAMARA FREDA
3:00	60,49729	47,7112	46,65619	32,92853
3:01	60,19732	47,73022	46,7196	32,93078
3:02	59,99415	47,69172	46,68721	32,96877
3:03	59,68612	47,70967	46,67721	32,99176
3:04	59,70209	47,70414	46,69088	33,03906
3:05	60,37012	47,77003	46,73922	33,03015
3:06	61,07701	47,81213	46,70382	32,97964
3:07	61,27251	47,84153	46,76439	33,06631
3:08	61,19588	47,88216	46,8004	33,08112
3:09	60,91689	47,78136	46,73094	33,00833
3:10	60,66154	47,78418	46,76079	33,01694
3:11	60,31466	47,83878	46,73621	33,07619
3:12	60,12922	47,90318	46,72024	32,99544
3:13	59,81696	47,99048	46,77935	33,08087
3:14	59,64481	47,9233	46,84073	33,09991
3:15	60,04851	47,94868	46,81811	33,07769
3:16	60,9544	47,93152	46,84114	33,09701
3:17	61,27509	47,87408	46,828	33,11181
3:18	61,1717	47,85722	46,89276	33,13825
3:19	60,97469	47,96411	46,85989	33,10397
3:20	60,72228	48,02069	46,88163	33,12594
3:21	60,45677	47,94118	46,88123	33,12234
3:22	60,2545	47,99745	46,87513	33,10159
3:23	59,98398	47,98433	46,91555	33,14024
3:24	59,68654	47,94029	46,8461	33,14596
3:25	59,98215	47,9572	46,88657	33,1119
3:26	60,7661	47,83878	46,73621	33,07619
3:27	61,23293	47,90318	46,72024	32,99544
3:28	61,24692	47,99048	46,77935	33,08087
3:29	60,93082	47,9233	46,84073	33,09991

Taula 33 – Dades proveta 2 CEM 1.

TEMPERATURA (°C)				INCREMENT DE TEMPERATURES (°C)		U (W/m <sup>2</sup> °C)	λ (W/m°C)	Q (W)
T <sub>ai</sub>	T <sub>si</sub>	T <sub>se</sub>	T <sub>ae</sub>	T <sub>ai</sub> -T <sub>ae</sub> (°C)	T <sub>si</sub> -T <sub>se</sub> (°C)			
60,51	47,87	46,79	33,06	27,44	1,08	3,54	0,84	0,62

Taula 34 – Resultats proveta 2 CEM 1.



Gràfica 12 - Evolució de temperatures fins a estabilització de la proveta 2 CEM 1.

CEM 1 MESURES PROVETA Num 3		
	mm	m
LLARG	159,26	0,1593
AMPLE	39,79	0,0398
GRUIX	9,64	0,0096
	mm <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
SUPERFICIE	6336,96	0,0063

$R_{si}$ (m <sup>2</sup> °C/W)	0,13
$R_{se}$ (m <sup>2</sup> °C/W)	0,13
$R_s$ (m <sup>2</sup> °C/W)	0,26

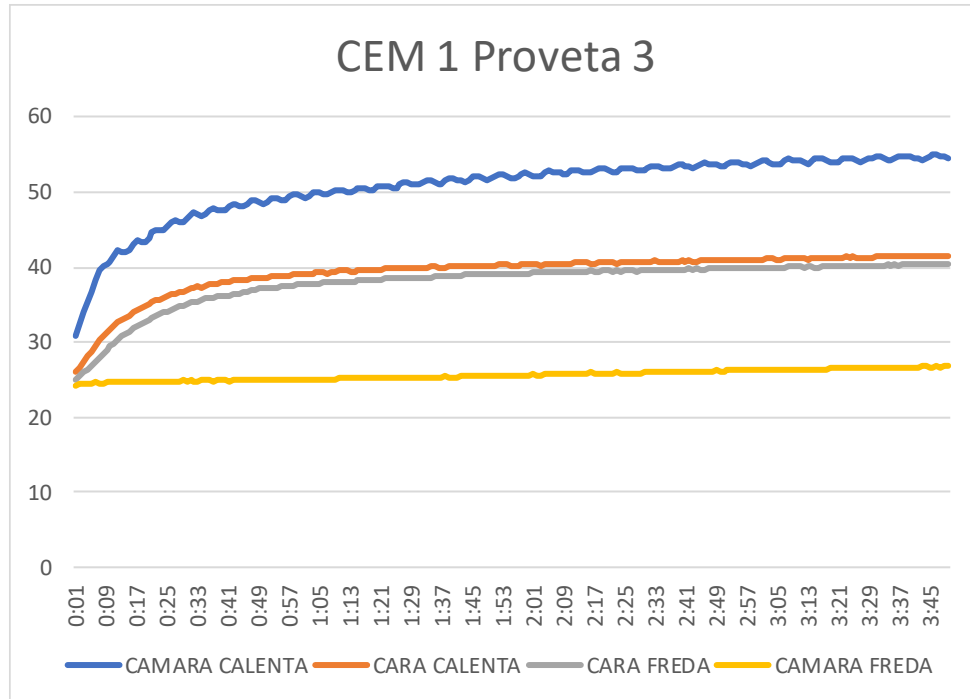
Taula 35 – Dimensions proveta 3 CEM 1.

TEMPS	CAMARA CALENTA	CARA CALENTA	CARA FREDA	CAMARA FREDA
3:00	54,0727	41,04375	39,88223	26,32238
3:01	54,10899	41,0729	39,88515	26,3359
3:02	54,12779	41,19265	39,94029	26,33594
3:03	53,9795	41,18237	39,95144	26,3685
3:04	53,80652	41,09813	39,92029	26,35702
3:05	53,60868	41,03146	39,98995	26,43211
3:06	53,78561	41,06343	39,99286	26,3867
3:07	54,17179	41,1481	40,01148	26,42744
3:08	54,3755	41,17161	40,03407	26,43285
3:09	54,32147	41,14423	40,05184	26,39401
3:10	54,21054	41,16766	40,05238	26,43262
3:11	54,10482	41,18451	40,03623	26,35968
3:12	53,929	41,12669	39,97448	26,32569
3:13	53,82219	41,05486	40,06279	26,45153
3:14	54,05078	41,18596	40,05338	26,44719
3:15	54,3716	41,18422	39,98152	26,37876
3:16	54,51196	41,28104	40,0125	26,42636
3:17	54,47147	41,27742	40,07381	26,41109
3:18	54,26009	41,28262	40,04067	26,41019
3:19	54,05182	41,20893	40,09294	26,4705
3:20	53,90791	41,21146	40,06529	26,49966
3:21	54,08626	41,24195	40,08347	26,49118
3:22	54,40623	41,31384	40,06196	26,47357
3:23	54,57085	41,35325	40,11524	26,51726
3:24	54,58107	41,30447	40,13568	26,49476
3:25	54,47985	41,35909	40,15233	26,52993
3:26	54,23154	41,27199	40,17558	26,5464
3:27	54,07675	41,25588	40,18583	26,54655
3:28	54,10085	41,27632	40,14405	26,52797
3:29	54,40584	41,31165	40,12263	26,47407

Taula 36 – Dades proveta 3 CEM 1.

TEMPERATURA (°C)				INCREMENT DE TEMPERATURES (°C)		U (W/m <sup>2</sup> °C)	λ (W/m°C)	Q (W)
T <sub>ai</sub>	T <sub>si</sub>	T <sub>se</sub>	T <sub>ae</sub>	T <sub>ai</sub> -T <sub>ae</sub> (°C)	T <sub>si</sub> -T <sub>se</sub> (°C)			
54,17	41,20	40,04	26,43	27,73	1,16	3,60	0,83	0,63

Taula 37 – Resultats proveta 3 CEM 1.



Gràfica 13 - Evolució de temperatures fins a estabilització de la proveta 3 CEM 1.



CEM 1 + CNF 0,5% MESURES PROVETA Num 1		
	mm	m
LLARG	160,09	0,1601
AMPLE	39,99	0,0400
GRUIX	10,7	0,0107
	mm <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
SUPERFICIE	6402,00	0,0064

$R_{si}$ (m <sup>2</sup> °C/W)	0,13
$R_{se}$ (m <sup>2</sup> °C/W)	0,13
$R_s$ (m <sup>2</sup> °C/W)	0,26

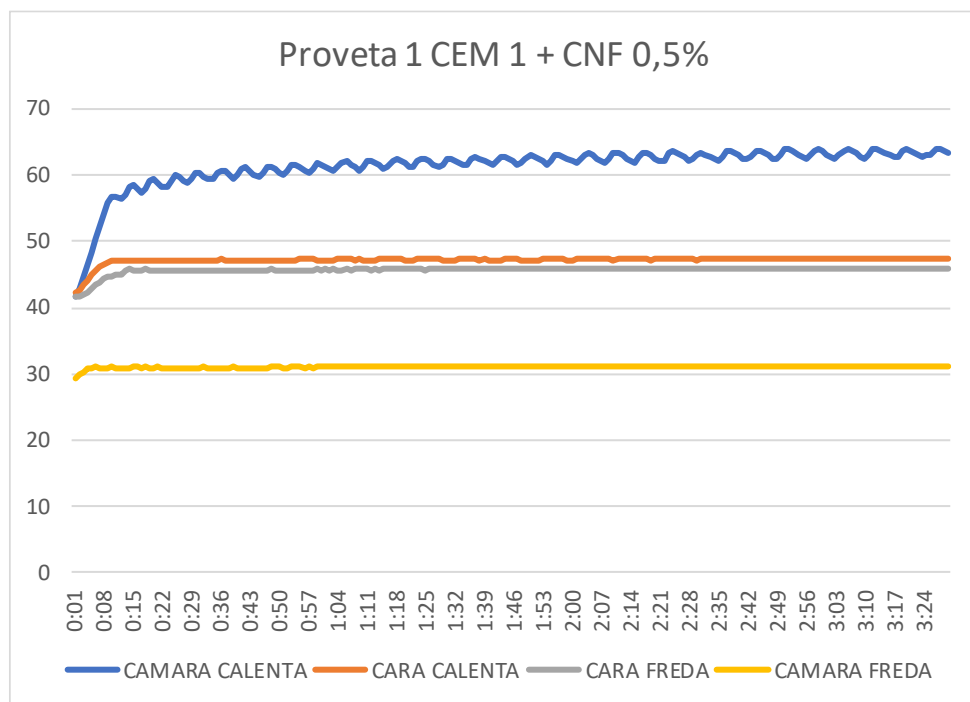
Taula 38 – Dimensions proveta 1 CEM1 + CNF 0,5%.

TEMPS	CAMARA CALENTA	CARA CALENTA	CARA FREDA	CAMARA FREDA
3:00	63,52371	47,33377	45,87103	31,11525
3:01	63,19873	47,40524	45,82355	31,08146
3:02	62,80985	47,41782	45,86401	31,14021
3:03	62,4134	47,39687	45,83929	31,11248
3:04	63,00432	47,43395	45,87621	31,09876
3:05	63,66072	47,39066	45,92901	31,17121
3:06	63,84715	47,38364	45,90036	31,16417
3:07	63,51847	47,31983	45,8438	31,10955
3:08	63,26454	47,38715	45,88136	31,12578
3:09	62,83467	47,34387	45,8018	31,07298
3:10	62,51468	47,40862	45,88092	31,16161
3:11	63,01711	47,36661	45,80322	31,06916
3:12	63,82066	47,40267	45,84882	31,09988
3:13	64,00232	47,40434	45,90009	31,18779
3:14	63,72733	47,41505	45,89169	31,13359
3:15	63,40169	47,42522	45,87966	31,14092
3:16	62,99487	47,38306	45,86392	31,10896
3:17	62,60725	47,36409	45,85388	31,11452
3:18	62,85416	47,33604	45,86914	31,09315
3:19	63,78139	47,32897	45,86003	31,14144
3:20	63,94342	47,38528	45,86935	31,17073
3:21	63,70746	47,43497	45,86879	31,11612
3:22	63,39378	47,44778	45,86534	31,083
3:23	63,00252	47,4299	45,86408	31,1006
3:24	62,66107	47,41013	45,90963	31,1781
3:25	63,01645	47,39358	45,91661	31,1691
3:26	63,01711	47,35561	45,91688	31,17697
3:27	63,82066	47,32161	45,91617	31,15273
3:28	64,00232	47,29669	45,88571	31,13944
3:29	63,72733	47,35722	45,89234	31,13647

Taula 39 – Dades proveta 1 CEM 1 + CNF 0,5%.

TEMPERATURA (°C)				INCREMENT DE TEMPERATURES (°C)		U (W/m <sup>2</sup> °C)	λ (W/m°C)	Q (W)
T <sub>ai</sub>	T <sub>si</sub>	T <sub>se</sub>	T <sub>ae</sub>	T <sub>ai</sub> -T <sub>ae</sub> (°C)	T <sub>si</sub> -T <sub>se</sub> (°C)			
63,30	47,38	45,87	31,13	32,17	1,51	3,81	0,87	0,78

Taula 40 – Resultats proveta 1 CEM 1 + CNF 0,5%.



Gràfica 14 - Evolució de temperatures fins a estabilització de la proveta 1 CEM 1 + CNF 0,5%.

CEM 1 + CNF 0,5% MESURES PROVETA Num 2		
	mm	m
LLARG	159,25	0,1593
AMPLE	39,76	0,0398
GRUIX	9,41	0,0094
	mm <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
SUPERFICIE	6331,78	0,0063

R <sub>si</sub> (m <sup>2</sup> °C/W)	0,13
R <sub>se</sub> (m <sup>2</sup> °C/W)	0,13
R <sub>s</sub> (m <sup>2</sup> °C/W)	0,26

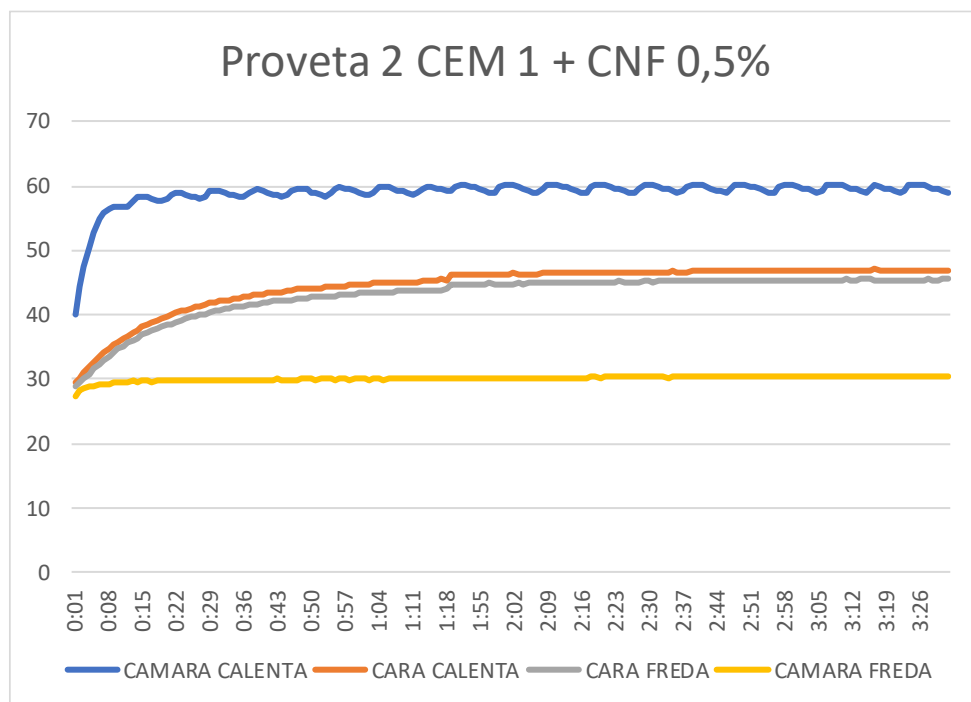
Taula 41 – Dimensions proveta 2 CEM 1 + CNF 0,5%.

TEMPS	CAMARA CALENTA	CARA CALENTA	CARA FREDA	CAMARA FREDA
3:00	60,18354	46,93367	45,43043	30,42317
3:01	59,91427	46,85735	45,44649	30,46704
3:02	59,68845	46,88823	45,46083	30,44227
3:03	59,5372	46,9144	45,48662	30,47446
3:04	59,21375	46,90234	45,40987	30,42879
3:05	58,98511	46,84688	45,43724	30,47433
3:06	59,24548	46,85176	45,46459	30,4942
3:07	60,06952	46,92681	45,43516	30,4875
3:08	60,28969	46,97858	45,44653	30,47936
3:09	60,22845	46,95296	45,48897	30,45406
3:10	60,15222	47,04102	45,49309	30,49198
3:11	59,93333	47,02742	45,52165	30,51124
3:12	59,7202	47,04465	45,4771	30,45162
3:13	59,47277	46,995	45,48699	30,49213
3:14	59,18389	46,94608	45,54577	30,53493
3:15	59,12762	46,96818	45,5267	30,50899
3:16	59,63631	47,01686	45,54285	30,53304
3:17	60,15813	47,08255	45,46662	30,48626
3:18	59,91427	46,85735	45,44649	30,46704
3:19	59,68845	46,88823	45,46083	30,44227
3:20	59,5372	46,9144	45,48662	30,47446
3:21	59,21375	46,90234	45,40987	30,42879
3:22	58,98511	46,84688	45,43724	30,47433
3:23	59,24548	46,85176	45,46459	30,4942
3:24	60,06952	46,92681	45,43516	30,4875
3:25	60,28969	46,97858	45,44653	30,47936
3:26	60,22845	46,95296	45,48897	30,45406
3:27	60,15222	47,04102	45,49309	30,49198
3:28	59,93333	47,02742	45,52165	30,51124
3:29	59,7202	47,04465	45,4771	30,45162

Taula 42 – Dades proveta 2 CEM 1 +CNF 0,5%.

TEMPERATURA (°C)				INCREMENT DE TEMPERATURES (°C)		U (W/m <sup>2</sup> °C)	λ (W/m°C)	Q (W)
T <sub>ai</sub>	T <sub>si</sub>	T <sub>se</sub>	T <sub>ae</sub>	T <sub>ai</sub> -T <sub>ae</sub> (°C)	T <sub>si</sub> -T <sub>se</sub> (°C)			
59,72	46,95	45,47	30,48	29,25	1,48	3,36	0,63	0,62

Taula 43 – Resultats proveta 2 CEM 1 + CNF 0,5%.



Gràfica 15 - Evolució de temperatures fins a estabilització de la proveta 2 CEM 1 + CNF 0,5%.

CEM 1 + CNF 0,5% MESURES PROVETA Num 3		
	mm	m
LLARG	159,22	0,1592
AMPLE	39,77	0,0398
GRUIX	9,53	0,0095
	mm <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
SUPERFICIE	6332,18	0,0063

R <sub>si</sub> (m <sup>2</sup> °C/W)	0,13
R <sub>se</sub> (m <sup>2</sup> °C/W)	0,13
R <sub>s</sub> (m <sup>2</sup> °C/W)	0,26

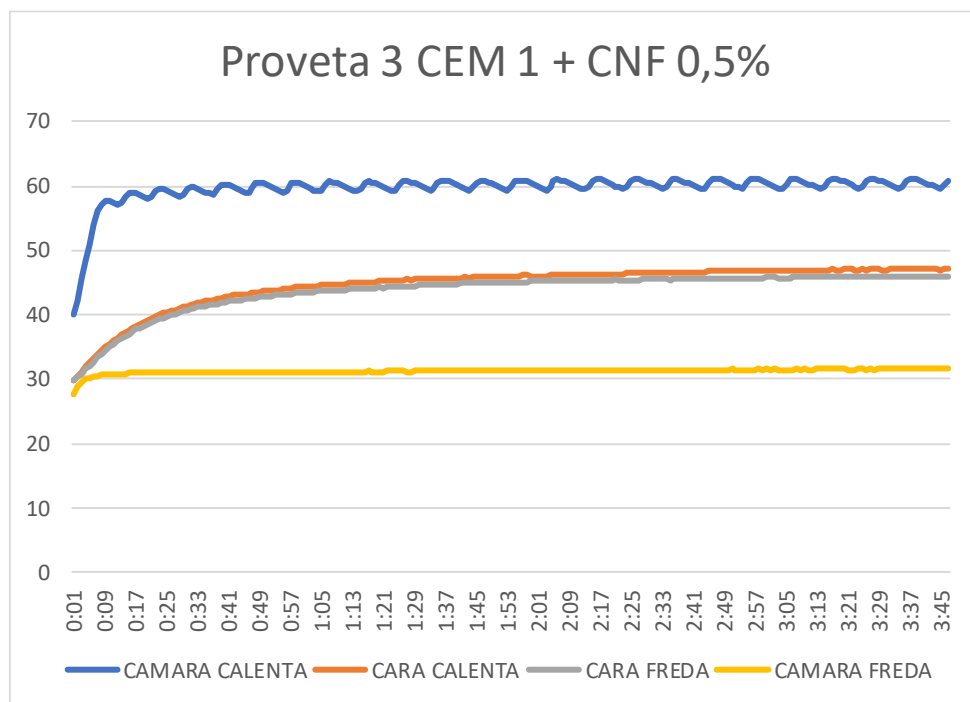
Taula 44 – Dimensions proveta 3 CEM 1 + CNF 0,5%.

TEMPS	CAMARA CALENTA	CARA CALENTA	CARA FREDA	CAMARA FREDA
3:00	60,49729	46,90779	45,81276	31,55959
3:01	60,19732	46,86513	45,8116	31,5369
3:02	59,99415	46,86741	45,80778	31,55841
3:03	59,68612	46,83617	45,79253	31,54463
3:04	59,70209	46,85385	45,77407	31,50128
3:05	60,37012	46,85954	45,77273	31,51652
3:06	61,07701	47,00583	45,77176	31,51719
3:07	61,27251	46,98418	45,81453	31,51649
3:08	61,19588	47,03687	45,87322	31,5572
3:09	60,91689	47,0158	45,85736	31,53672
3:10	60,66154	47,03474	45,89269	31,56347
3:11	60,31466	46,9565	45,85483	31,51815
3:12	60,12922	47,00958	45,82088	31,51545
3:13	59,81696	46,93769	45,87845	31,55653
3:14	59,64481	46,94427	45,89415	31,60324
3:15	60,04851	46,97231	45,87654	31,60973
3:16	60,9544	46,96956	45,85416	31,5666
3:17	61,27509	47,064	45,85532	31,55507
3:18	61,1717	47,01141	45,91709	31,57906
3:19	60,97469	47,04607	45,92928	31,57333
3:20	60,72228	47,07269	45,94367	31,57252
3:21	60,45677	47,05222	45,87531	31,49767
3:22	60,2545	47,07689	45,89579	31,53418
3:23	59,98398	47,02819	45,88094	31,52711
3:24	59,68654	46,95922	45,91083	31,59144
3:25	59,98215	47,06462	45,90162	31,57751
3:26	60,7661	47,0412	45,85402	31,53434
3:27	61,23293	47,13575	45,94	31,59721
3:28	61,24692	47,09909	45,97488	31,5308
3:29	60,93082	47,04856	45,93754	31,57641

Taula 45 – Dades Proveta 3 CEM 1 + CNF 0,5%.

TEMPERATURA (°C)				INCREMENT DE TEMPERATURES (°C)		U (W/m <sup>2</sup> °C)	λ (W/m°C)	Q (W)
T <sub>ai</sub>	T <sub>si</sub>	T <sub>se</sub>	T <sub>ae</sub>	T <sub>ai</sub> -T <sub>ae</sub> (°C)	T <sub>si</sub> -T <sub>se</sub> (°C)			
60,51	46,99	45,87	31,55	28,95	1,13	3,59	0,88	0,66

Taula 46 – Resultats proveta 3 CEM 1 + CNF 0,5%.



Gràfica 16 - Evolució de temperatures fins a estabilització de la proveta 3 CEM 1 + CNF 0,5%.

CEM 1 + CNF 1% MESURES PROVETA Num 1		
	mm	m
LLARG	160,17	0,1602
AMPLE	39,92	0,0399
GRUIX	10,33	0,0103
	mm <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
SUPERFICIE	6393,99	0,0064

R <sub>si</sub> (m <sup>2</sup> °C/W)	0,13
R <sub>se</sub> (m <sup>2</sup> °C/W)	0,13
R <sub>s</sub> (m <sup>2</sup> °C/W)	0,26

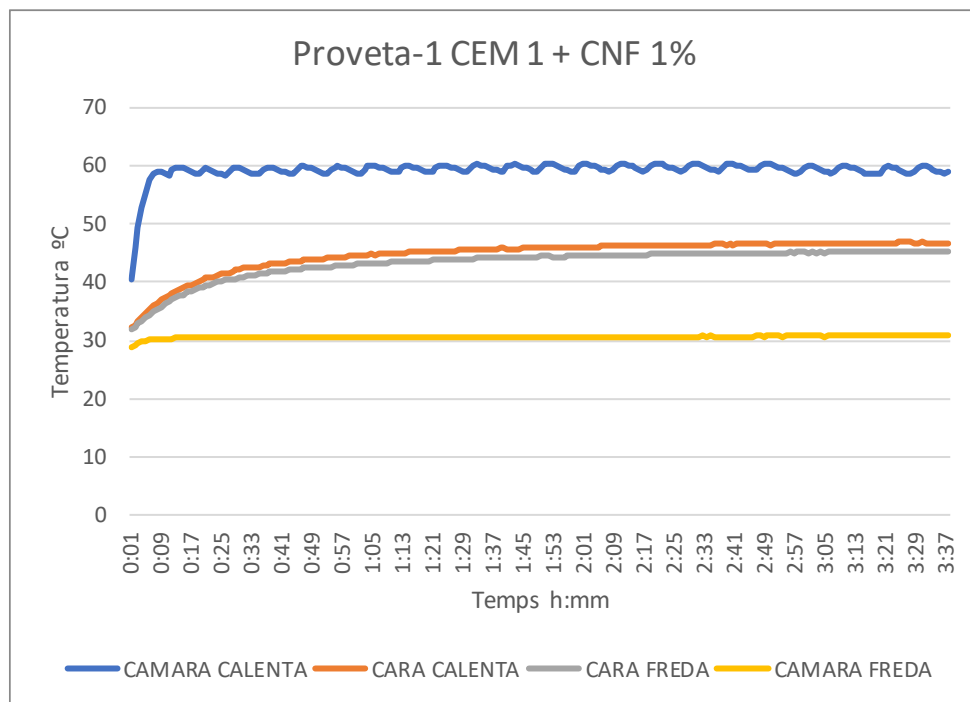
Taula 47 – Dimensions proveta 1 CEM 1 + CNF 1%.

TEMPS	CAMARA CALENTA	CARA CALENTA	CARA FREDA	CAMARA FREDA
3:00	59,65851	46,58334	45,15198	30,76023
3:01	59,99762	46,55939	45,10827	30,74356
3:02	59,87442	46,60346	45,11446	30,72195
3:03	59,72714	46,62159	45,10656	30,75237
3:04	59,48699	46,70396	45,15139	30,73979
3:05	59,1693	46,67924	45,08807	30,69142
3:06	58,93135	46,73726	45,20705	30,7647
3:07	58,63319	46,73295	45,17178	30,778
3:08	58,85424	46,68398	45,15393	30,75571
3:09	59,63946	46,66378	45,21796	30,79951
3:10	60,00269	46,61816	45,17373	30,77474
3:11	60,02074	46,59917	45,18112	30,73143
3:12	59,86161	46,68987	45,11433	30,74779
3:13	59,62263	46,7438	45,22887	30,80468
3:14	59,29372	46,78314	45,20901	30,78797
3:15	59,01501	46,72523	45,23946	30,81108
3:16	58,78094	46,77269	45,21939	30,76795
3:17	58,72391	46,78182	45,23806	30,79107
3:18	58,68011	46,72482	45,26769	30,81927
3:19	58,49799	46,79119	45,33376	30,87277
3:20	58,79024	46,72898	45,13671	30,73942
3:21	59,78369	46,76725	45,21352	30,76385
3:22	59,93079	46,76545	45,18493	30,76977
3:23	59,83764	46,80147	45,23475	30,81886
3:24	59,60032	46,82378	45,17247	30,75834
3:25	59,36456	46,90192	45,26583	30,80032
3:26	59,03147	46,88387	45,29033	30,83007
3:27	58,77654	46,8466	45,22967	30,80236
3:28	58,5206	46,84373	45,2764	30,82283
3:29	58,85917	46,80494	45,24854	30,80244

Taula 48 - Dades Proveta 1 CEM 1 + CNF 1%.

TEMPERATURA (°C)				INCREMENT DE TEMPERATURES (°C)		U (W/m <sup>2</sup> °C)	λ (W/m°C)	Q (W)
T <sub>ai</sub>	T <sub>si</sub>	T <sub>se</sub>	T <sub>ae</sub>	T <sub>ai</sub> -T <sub>ae</sub> (°C)	T <sub>si</sub> -T <sub>se</sub> (°C)			
59,30	46,73	45,20	30,78	28,52	1,53	3,39	0,65	0,62

Taula 49 – Resultats proveta 1 CEM 1 + CNF 1%.



Gràfica 17 - Evolució de temperatures fins a estabilització de la proveta 1 CEM 1 + CNF 1%.



CEM 1 + CNF 1% MESURES PROVETA Num 2		
	mm	m
LLARG	160,26	0,1603
AMPLE	40,08	0,0401
GRUIX	10	0,0100
	mm <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
SUPERFICIE	6423,22	0,0064

R <sub>si</sub> (m <sup>2</sup> °C/W)	0,13
R <sub>se</sub> (m <sup>2</sup> °C/W)	0,13
R <sub>s</sub> (m <sup>2</sup> °C/W)	0,26

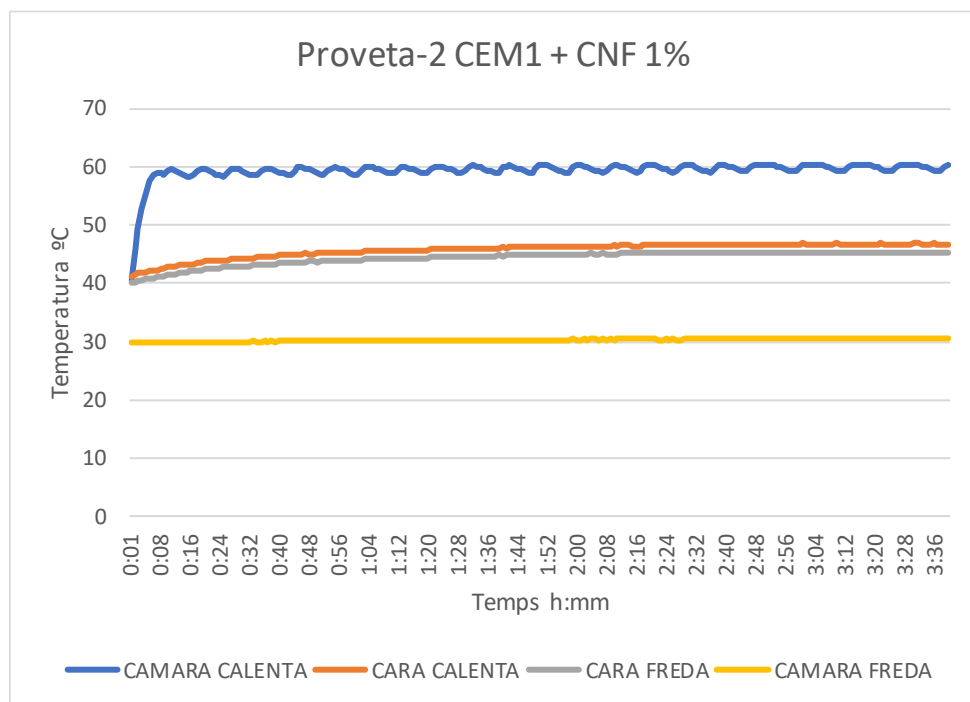
Taula 50 – Dimensions proveta 2 CEM 1 + CNF 1%.

TEMPS	CAMARA CALENTA	CARA CALENTA	CARA FREDA	CAMARA FREDA
3:00	59,8873	46,75576	45,26737	30,45222
3:01	60,35721	46,83453	45,29707	30,50545
3:02	60,44894	46,75524	45,31589	30,52597
3:03	60,24033	46,77259	45,35077	30,52603
3:04	60,25322	46,71855	45,31024	30,45951
3:05	60,47617	46,76071	45,38738	30,49375
3:06	60,38741	46,74738	45,31836	30,51027
3:07	60,18346	46,7705	45,27671	30,43396
3:08	60,00164	46,77025	45,27568	30,52374
3:09	59,69869	46,79764	45,35364	30,54639
3:10	59,48311	46,82724	45,39499	30,61366
3:11	59,27735	46,82331	45,37951	30,56613
3:12	59,22783	46,69128	45,30986	30,55044
3:13	59,8873	46,75791	45,26334	30,46818
3:14	60,35721	46,7853	45,3413	30,49083
3:15	60,44894	46,8149	45,38265	30,5581
3:16	60,24033	46,81097	45,36717	30,51057
3:17	60,25322	46,72085	45,25893	30,48983
3:18	60,47617	46,66898	45,32762	30,54525
3:19	60,38741	46,69264	45,34494	30,5627
3:20	60,18346	46,71197	45,31361	30,56383
3:21	60,00164	46,7681	45,27971	30,50778
3:22	59,69869	46,84687	45,30941	30,56101
3:23	59,48311	46,76758	45,32823	30,58153
3:24	59,27735	46,78493	45,36311	30,58159
3:25	59,22783	46,73089	45,32258	30,51507
3:26	59,8873	46,77305	45,39972	30,54931
3:27	60,35721	46,75972	45,3307	30,56583
3:28	60,44894	46,78284	45,28905	30,48952
3:29	60,24033	46,78259	45,28802	30,5793

Taula 51 – Dades proveta 2 CEM 1 + CNF 1%.

TEMPERATURA (°C)				INCREMENT DE TEMPERATURES (°C)		U (W/m <sup>2</sup> °C)	λ (W/m°C)	Q (W)
T <sub>ai</sub>	T <sub>si</sub>	T <sub>se</sub>	T <sub>ae</sub>	T <sub>ai</sub> -T <sub>ae</sub> (°C)	T <sub>si</sub> -T <sub>se</sub> (°C)			
60,03	46,77	45,32	30,53	29,50	1,44	3,46	0,71	0,66

Taula 52 – Resultats proveta 2 CEM 1 + CNF 1%.



Gràfica 18 - Evolució de temperatures fins a estabilització de la proveta 2 CEM 1 + CNF 1%.

CEM 1 + CNF 1% MESURES PROVETA Num 3		
	mm	m
LLARG	160,16	0,1602
AMPLE	39,92	0,0399
GRUIX	9,85	0,0099
	mm <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
SUPERFICIE	6393,59	0,0064

$R_{si}$ (m <sup>2</sup> °C/W)	0,13
$R_{se}$ (m <sup>2</sup> °C/W)	0,13
$R_s$ (m <sup>2</sup> °C/W)	0,26

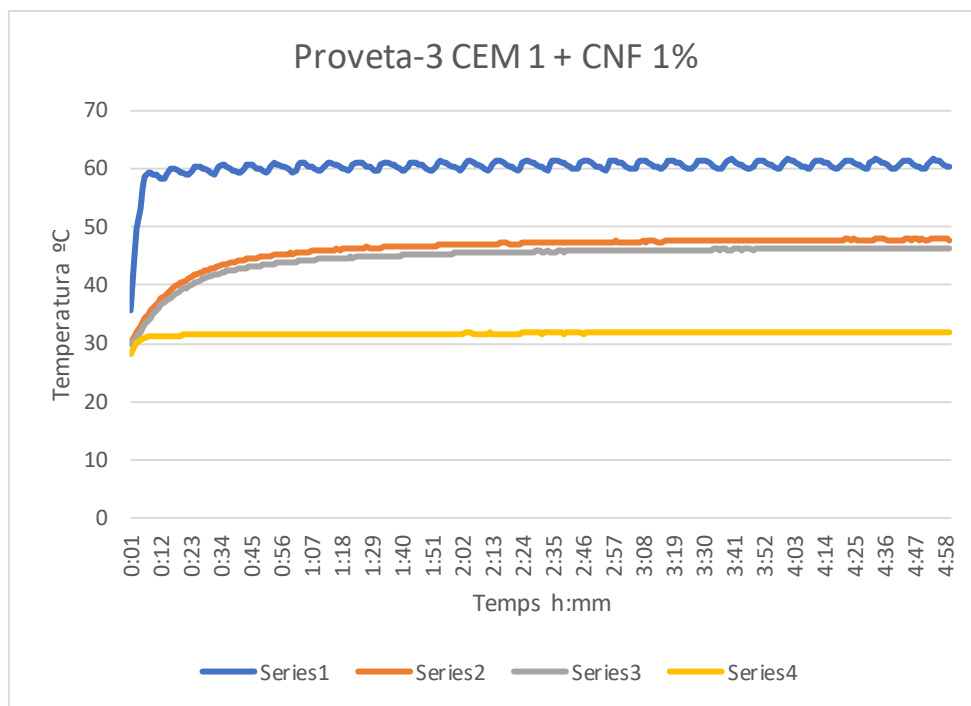
Taula 53 – Dimensions proveta 3 CEM 1 + CNF 1%.

TEMPS	CAMARA CALENTA	CARA CALENTA	CARA FREDA	CAMARA FREDA
3:00	60,95921	47,4561	45,92902	31,78389
3:01	60,65141	47,43083	46,02096	31,8399
3:02	60,36816	47,41297	46,04853	31,89175
3:03	60,13831	47,44968	45,97267	31,81875
3:04	59,90342	47,44312	45,9825	31,8196
3:05	60,15426	47,44079	45,97586	31,85225
3:06	60,97678	47,44635	45,98301	31,81236
3:07	61,42858	47,50907	45,99703	31,83035
3:08	61,4217	47,51845	45,99818	31,83876
3:09	61,27985	47,50705	46,0461	31,84035
3:10	61,08808	47,52771	46,06694	31,8604
3:11	60,85394	47,53616	46,03545	31,8423
3:12	60,53042	47,52208	46,04467	31,86993
3:13	60,27635	47,4847	46,03139	31,83977
3:14	60,03661	47,50022	46,08566	31,87698
3:15	59,89484	47,46583	46,07503	31,89058
3:16	60,59247	47,51493	46,07071	31,89483
3:17	61,32527	47,57153	46,0522	31,87036
3:18	61,55479	47,61357	46,05424	31,8266
3:19	61,44975	47,58768	46,03347	31,86159
3:20	61,22102	47,59142	46,07616	31,87539
3:21	60,94276	47,58799	46,03033	31,80832
3:22	60,72255	47,63705	46,13217	31,8805
3:23	60,48955	47,60577	46,06973	31,80909
3:24	60,18154	47,5787	46,04824	31,81653
3:25	60,02806	47,58558	46,03488	31,79304
3:26	59,96214	47,54948	46,06902	31,88131
3:27	60,88106	47,59219	46,0115	31,83231
3:28	61,37627	47,6049	46,01574	31,82753
3:29	61,46743	47,64999	46,12009	31,89744

Taula 54 – Dades proveta 3 CEM 1 + CNF 1%.

TEMPERATURA (°C)				INCREMENT DE TEMPERATURES (°C)		U (W/m <sup>2</sup> °C)	λ (W/m°C)	Q (W)
T <sub>ai</sub>	T <sub>si</sub>	T <sub>se</sub>	T <sub>ae</sub>	T <sub>ai</sub> -T <sub>ae</sub> (°C)	T <sub>si</sub> -T <sub>se</sub> (°C)			
60,74	47,53	46,04	31,85	28,89	1,49	3,52	0,67	0,65

Taula 55 – Resultats proveta 3 CEM 1 +CNF 1%.



Gràfica 19 - Evolució de temperatures fins a estabilització de la proveta 3 CEM 1 + CNF 1%.

CEM 1 + CNF 1,5% MESURES PROVETA Num 1		
	mm	m
LLARG	160,65	0,1607
AMPLE	40,05	0,0401
GRUIX	10,84	0,0108
	mm <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
SUPERF	6434,03	0,0064

Taula 56 – Dimensions proveta 1 CEM 1 + CNF 1,5%.

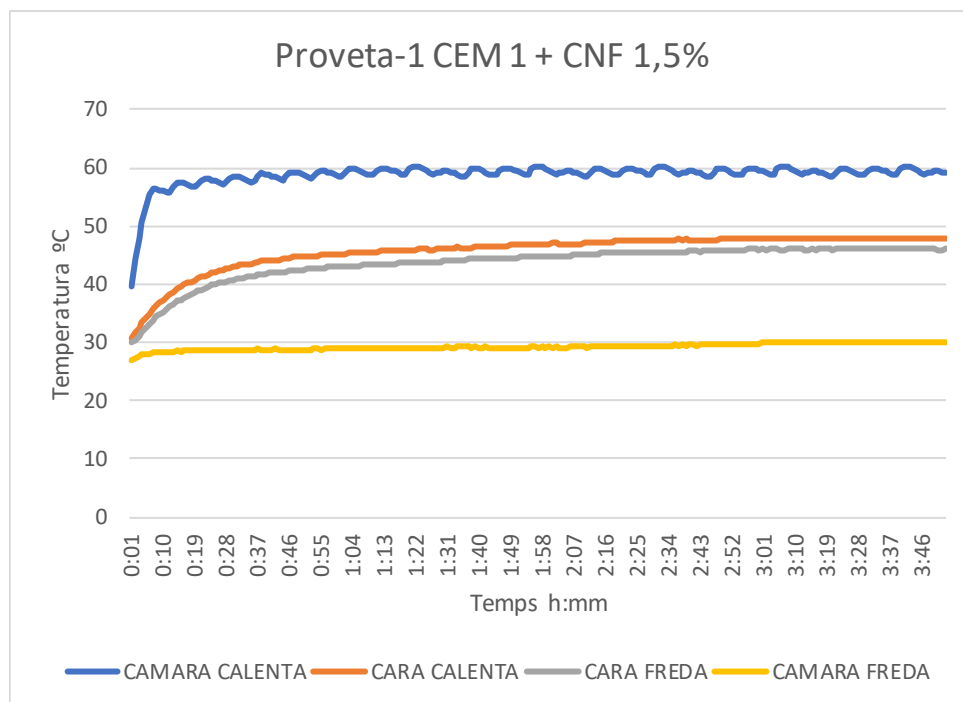
$R_{si}$ (m <sup>2</sup> °C/W)	0,13
$R_{se}$ (m <sup>2</sup> °C/W)	0,13
$R_s$ (m <sup>2</sup> °C/W)	0,26

TEMPS	CAMARA CALENTA	CARA CALENTA	CARA FREDA	CAMARA FREDA
3:00	59,69273	47,9359	45,95904	29,82325
3:01	59,39605	47,92453	46,01537	29,88009
3:02	59,08876	47,85438	45,96656	29,85759
3:03	58,84539	47,8261	46,00457	29,90365
3:04	59,01319	47,79506	45,998	29,9322
3:05	59,75255	47,86794	45,98651	29,91869
3:06	60,10532	47,91768	45,96067	29,92936
3:07	60,18904	47,95216	45,938	29,91997
3:08	60,12567	47,96119	46,06315	30,00576
3:09	59,86609	47,90905	45,97964	30,01218
3:10	59,56969	47,88576	45,9908	30,01835
3:11	59,24965	47,81865	46,03992	30,02427
3:12	58,97159	47,80651	45,99501	30,02994
3:13	59,15462	47,85627	45,96295	30,03536
3:14	59,26786	47,90895	45,97288	30,04053
3:15	59,53072	47,99325	46,01001	30,04545
3:16	59,56194	47,92407	45,97423	30,05012
3:17	59,33739	48,02716	46,00278	30,05454
3:18	59,14235	47,94106	46,0258	30,05871
3:19	58,84397	47,90426	46,03994	30,06263
3:20	58,58633	47,84336	46,00085	30,0663
3:21	58,50978	47,82266	45,9605	30,06972
3:22	59,09222	47,81054	45,99097	30,07289
3:23	59,72791	47,78086	45,99756	30,07581
3:24	59,8415	47,76725	46,00901	30,07848
3:25	59,7467	47,74152	46,05884	30,0809
3:26	59,51944	47,79959	46,04605	30,08307
3:27	59,29514	47,9349	46,0866	30,08499
3:28	58,99171	47,9716	46,11805	30,08666
3:29	58,73173	47,92164	46,15059	30,08808

Taula 57 – Dades proveta 1 CEM 1 + CNF 1,5%.

TEMPERATURA (°C)				INCREMENT DE TEMPERATURES (°C)		U (W/m <sup>2</sup> °C)	λ (W/m°C)	Q (W)
T <sub>ai</sub>	T <sub>si</sub>	T <sub>se</sub>	T <sub>ae</sub>	T <sub>ai</sub> -T <sub>ae</sub> (°C)	T <sub>si</sub> -T <sub>se</sub> (°C)			
59,36	47,88	46,01	30,01	29,35	1,87	3,01	0,51	0,57

Taula 58 – Resultats proveta 1 CEM 1 + CNF 1,5%.



Gràfica 20 - Evolució de temperatures fins a estabilització de la proveta 1 CEM 1 + CNF 1,5%.

CEM 1 + CNF 1,5% MESURES PROVETA Num 2		
	mm	m
LLARG	160,27	0,1603
AMPLE	40,04	0,0400
GRUIX	10,48	0,0105
	mm <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
SUPERFICIE	6417,21	0,0064

R <sub>si</sub> (m <sup>2</sup> °C/W)	0,13
R <sub>se</sub> (m <sup>2</sup> °C/W)	0,13
R <sub>s</sub> (m <sup>2</sup> °C/W)	0,26

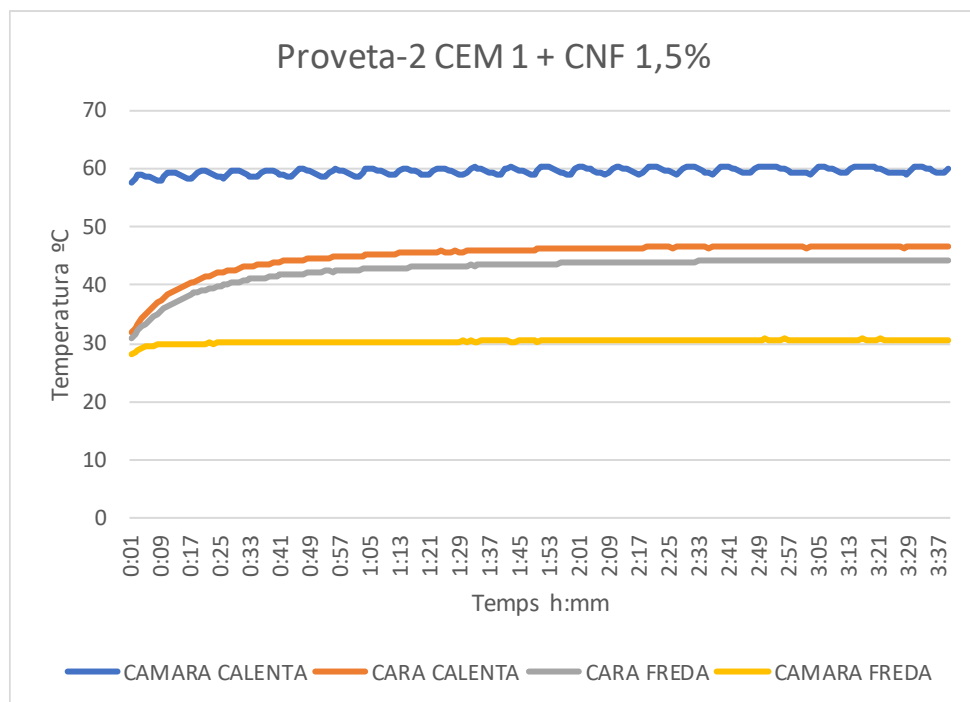
Taula 59 – Dimensions proveta 2 CEM 1 + CNF 1,5%.

TEMPS	CAMARA CALENTA	CARA CALENTA	CARA FREDA	CAMARA FREDA
3:00	59,22783	46,59525	44,20111	30,66927
3:01	59,4369	46,54464	44,08122	30,56827
3:02	59,29266	46,4535	44,10896	30,6226
3:03	59,09937	46,51788	44,11369	30,60665
3:04	59,64997	46,64616	44,0889	30,58521
3:05	60,25322	46,65377	44,14951	30,65501
3:06	60,47617	46,65685	44,11545	30,54414
3:07	60,38741	46,67665	44,12519	30,62596
3:08	60,18346	46,58932	44,17007	30,62711
3:09	60,00164	46,56897	44,25397	30,67039
3:10	59,69869	46,55505	44,17107	30,61769
3:11	59,48311	46,58643	44,20892	30,64744
3:12	59,27735	46,56352	44,15141	30,62638
3:13	59,22783	46,59525	44,20111	30,66927
3:14	59,8873	46,67071	44,18737	30,63235
3:15	60,35721	46,69225	44,18427	30,61711
3:16	60,44894	46,72724	44,17462	30,60128
3:17	60,24033	46,67828	44,29097	30,73492
3:18	60,25322	46,70469	44,26099	30,69614
3:19	60,47617	46,73258	44,20922	30,63896
3:20	60,38741	46,6567	44,26025	30,63077
3:21	60,18346	46,68149	44,16025	30,56328
3:22	60,00164	46,61353	44,30074	30,72655
3:23	59,69869	46,70676	44,18001	30,58487
3:24	59,48311	46,77017	44,24439	30,64786
3:25	59,27735	46,56352	44,15141	30,62638
3:26	59,22783	46,59525	44,20111	30,66927
3:27	59,4369	46,54464	44,08122	30,56827
3:28	59,29266	46,4535	44,10896	30,6226
3:29	59,09937	46,51788	44,11369	30,60665

Taula 60 – Dades proveta 2 CEM 1 + CNF 1,5%.

TEMPERATURA (°C)				INCREMENT DE TEMPERATURES (°C)		U (W/m <sup>2</sup> °C)	λ (W/m°C)	Q (W)
T <sub>ai</sub>	T <sub>si</sub>	T <sub>se</sub>	T <sub>ae</sub>	T <sub>ai</sub> -T <sub>ae</sub> (°C)	T <sub>si</sub> -T <sub>se</sub> (°C)			
59,78	46,62	44,18	30,63	29,15	2,44	3,47	0,43	0,65

Taula 61 – Resultats proveta 2 CEM 1 + CNF 1,5%.



Gràfica 21 - Evolució de temperatures fins a estabilització de la proveta 2 CEM 1 + CNF 1,5%.



CEM 1 + CNF 1,5% MESURES PROVETA Num 3		
	mm	m
LLARG	160,27	0,1603
AMPLE	40,04	0,0400
GRUIX	10,48	0,0105
	mm <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
SUPERFICIE	6417,21	0,0064

$R_{si}$ (m <sup>2</sup> °C/W)	0,13
$R_{se}$ (m <sup>2</sup> °C/W)	0,13
$R_s$ (m <sup>2</sup> °C/W)	0,26

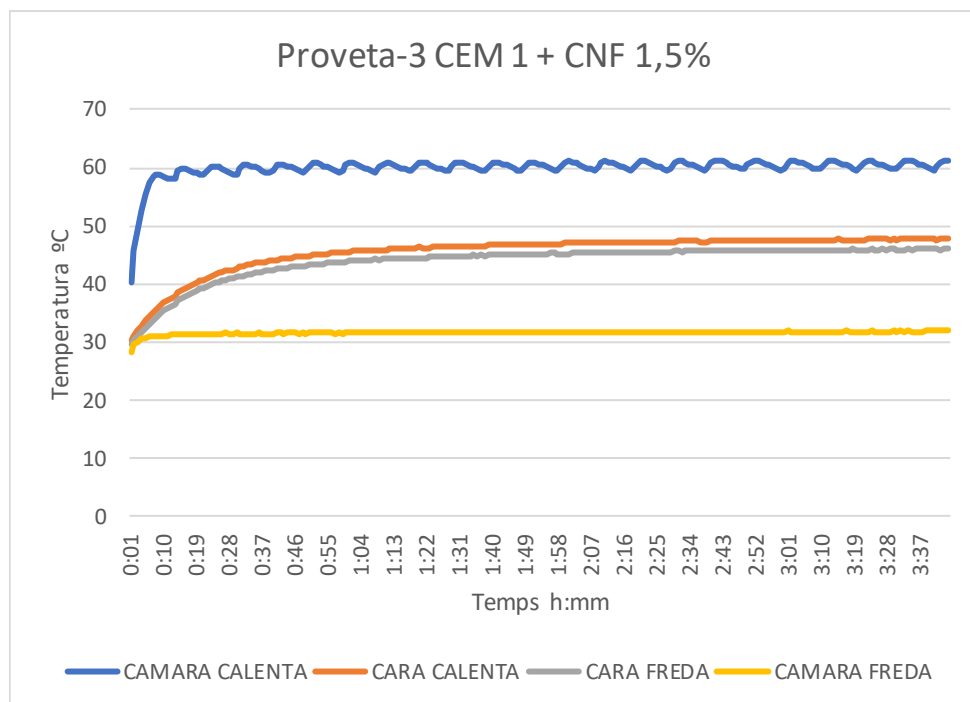
Taula 62 – Dimensions proveta 3 CEM 1 + CNF 1,5%.

TEMPS	CAMARA CALENTA	CARA CALENTA	CARA FREDA	CAMARA FREDA
3:00	59,96947	47,47507	45,73634	31,75254
3:01	60,94892	47,55937	45,87252	31,91686
3:02	61,23695	47,61444	45,8161	31,80866
3:03	61,18056	47,60793	45,78723	31,82294
3:04	61,02617	47,58242	45,88556	31,89038
3:05	60,76526	47,59894	45,88071	31,82727
3:06	60,5132	47,58841	45,83504	31,82127
3:07	60,29478	47,62773	45,90611	31,84944
3:08	59,9699	47,52911	45,9053	31,88596
3:09	59,70894	47,47684	45,89787	31,86847
3:10	59,80432	47,5835	45,85197	31,83663
3:11	60,66279	47,66681	45,85841	31,88162
3:12	61,25111	47,66189	45,84394	31,87784
3:13	61,26963	47,66302	45,81039	31,84464
3:14	61,16357	47,64723	45,85586	31,88869
3:15	60,92798	47,72532	45,92568	31,83497
3:16	60,66354	47,64904	45,91566	31,88765
3:17	60,38657	47,61211	45,94321	31,90581
3:18	60,2151	47,66562	45,90791	31,85586
3:19	59,89999	47,58881	45,98546	31,88569
3:20	59,65485	47,54673	45,91361	31,85337
3:21	60,15247	47,62547	45,91018	31,85643
3:22	60,92947	47,64216	45,9007	31,85223
3:23	61,22441	47,68272	45,91446	31,86252
3:24	61,1631	47,69773	45,97477	31,91446
3:25	60,95638	47,69502	45,92736	31,89086
3:26	60,71117	47,7297	45,9604	31,87085
3:27	60,51952	47,70093	45,98506	31,89022
3:28	60,29926	47,73887	45,94816	31,86858
3:29	59,948	47,6502	45,97713	31,89106

Taula 63 – Dades proveta 3 CEM 1 + CNF 1,5%.

TEMPERATURA (°C)				INCREMENT DE TEMPERATURES (°C)		U (W/m <sup>2</sup> °C)	λ (W/m°C)	Q (W)
T <sub>ai</sub>	T <sub>si</sub>	T <sub>se</sub>	T <sub>ae</sub>	T <sub>ai</sub> -T <sub>ae</sub> (°C)	T <sub>si</sub> -T <sub>se</sub> (°C)			
60,58	47,63	45,89	31,86	28,72	1,73	3,47	0,60	0,64

Taula 64 – Resultats proveta 3 CEM 1 + CNF 1,5%.



Gràfica 22 - Evolució de temperatures fins a estabilització de la proveta 3 CEM 1 + CNF 1,5%.

CEM 1 + CNF 1,81% MESURES PROVETA Num 1		
	mm	m
LLARG	160,3	0,1603
AMPLE	40,05	0,0401
GRUIX	10,36	0,0104
	mm <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
SUPERFICIE	6420,02	0,0064

$R_{si}$ (m <sup>2</sup> °C/W)	0,13
$R_{se}$ (m <sup>2</sup> °C/W)	0,13
$R_s$ (m <sup>2</sup> °C/W)	0,26

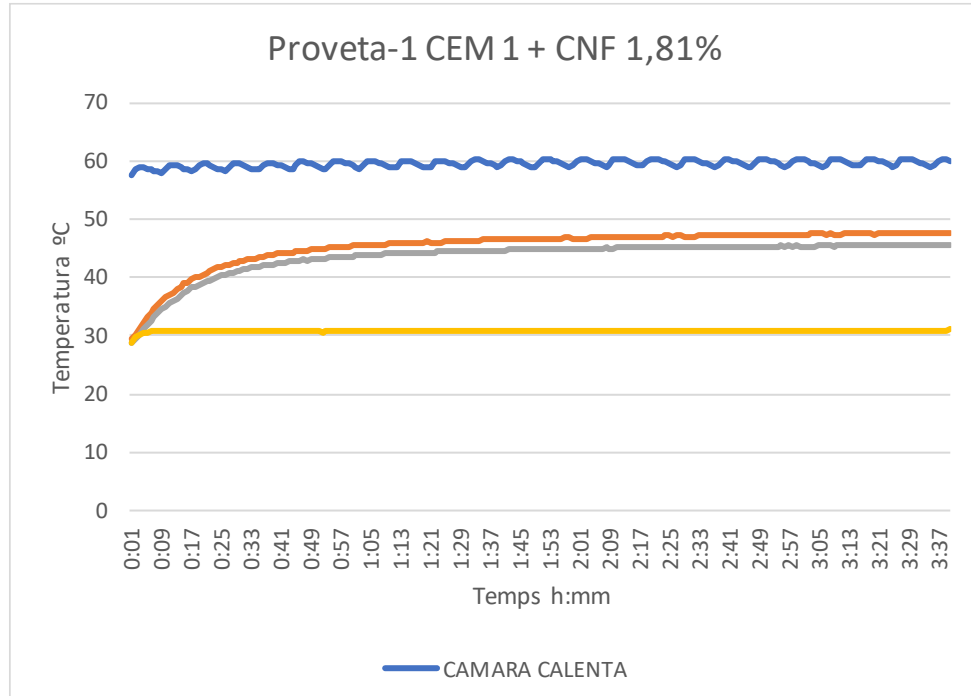
Taula 65 – Dimensions proveta 1 CEM 1 + CNF 1,81%

TEMPS	CAMARA CALENTA	CARA CALENTA	CARA FREDA	CAMARA FREDA
3:00	60,37861	47,30688	45,37225	30,88615
3:01	60,18792	47,25312	45,33854	30,86631
3:02	59,93735	47,34126	45,35007	30,84976
3:03	59,7286	47,49388	45,37283	30,85597
3:04	59,47333	47,48937	45,40132	30,86641
3:05	59,2292	47,52104	45,419	30,88181
3:06	59,02792	47,49358	45,46191	30,88319
3:07	59,39911	47,44999	45,43858	30,88217
3:08	60,16942	47,50455	45,44476	30,87671
3:09	60,35941	47,40479	45,39553	30,85045
3:10	60,25517	47,3475	45,49089	30,94953
3:11	60,15851	47,39567	45,42983	30,92617
3:12	59,93172	47,56396	45,43299	30,90694
3:13	59,65049	47,53796	45,45548	30,88881
3:14	59,36458	47,49251	45,43607	30,89611
3:15	59,15773	47,5944	45,47273	30,92307
3:16	59,23143	47,52453	45,51159	30,92649
3:17	60,04326	47,53545	45,50373	30,9275
3:18	60,41084	47,52816	45,51082	30,9223
3:19	60,45528	47,5051	45,50335	30,95512
3:20	60,294	47,42931	45,48299	30,89041
3:21	60,06706	47,50026	45,46603	30,88794
3:22	59,83745	47,63649	45,49946	30,91816
3:23	59,59666	47,63841	45,44833	30,88666
3:24	59,30932	47,63709	45,48652	30,93067
3:25	59,10709	47,69628	45,52144	30,88216
3:26	59,39304	47,62463	45,58147	30,93013
3:27	60,192	47,56155	45,55637	30,91808
3:28	60,44769	47,56376	45,54845	30,91796
3:29	60,38007	47,51994	45,52206	30,92848

Taula 66 – Dades proveta 1 CEM 1 + CNF 1,81%.

TEMPERATURA (°C)				INCREMENT DE TEMPERATURES (°C)		U (W/m <sup>2</sup> °C)	λ (W/m°C)	Q (W)
T <sub>ai</sub>	T <sub>si</sub>	T <sub>se</sub>	T <sub>ae</sub>	T <sub>ai</sub> -T <sub>ae</sub> (°C)	T <sub>si</sub> -T <sub>se</sub> (°C)			
59,84	47,50	45,46	30,90	28,94	2,04	3,28	0,48	0,61

Taula 67 – Resultats proveta 1 CEM 1 + CNF 1,81%.



Gràfica 23 - Evolució de temperatures fins a estabilització de la proveta 1 CEM 1 + CNF 1,81%.

CEM 1 + CNF 1,81% MESURES PROVETA Num 2		
	mm	m
LLARG	160,3	0,1603
AMPLE	40,17	0,0402
GRUIX	10,59	0,0106
	mm <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
SUPERFICIE	6439,25	0,0064

R <sub>si</sub> (m <sup>2</sup> °C/W)	0,13
R <sub>se</sub> (m <sup>2</sup> °C/W)	0,13
R <sub>s</sub> (m <sup>2</sup> °C/W)	0,26

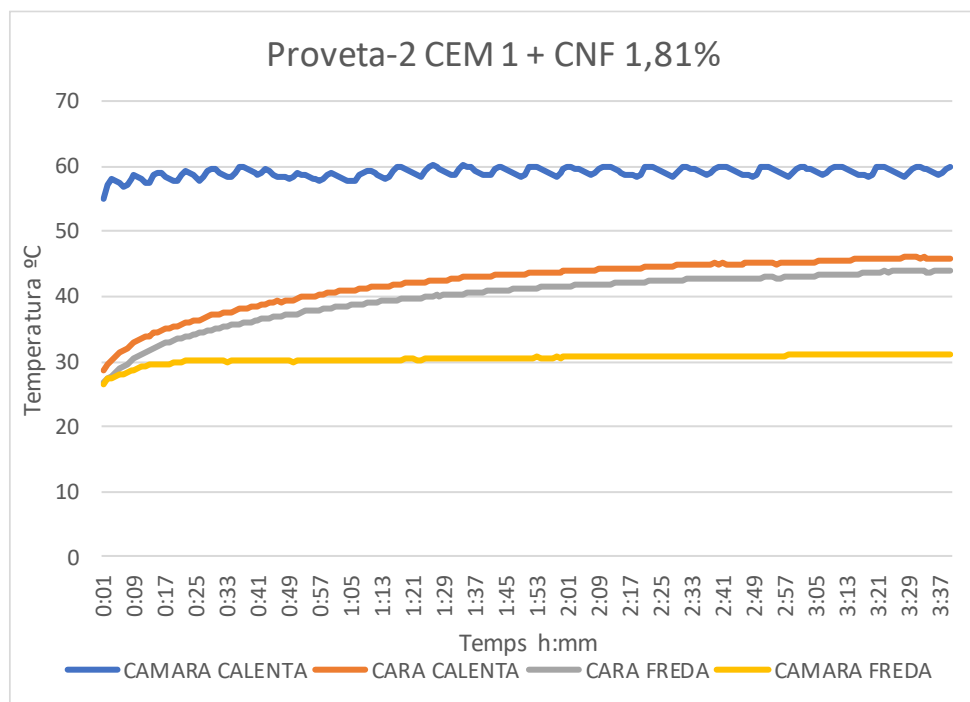
Taula 68 – Dimensions proveta 2 CEM 1 + CNF 1,81%.

TEMPS	CAMARA CALENTA	CARA CALENTA	CARA FREDA	CAMARA FREDA
3:00	59,65851	45,25093	43,03723	30,95866
3:01	59,99762	45,22938	43,08308	30,96118
3:02	59,87442	45,22953	43,10002	30,9637
3:03	59,72714	45,24019	43,18063	30,96622
3:04	59,48699	45,28097	43,14986	30,96874
3:05	59,1693	45,34763	43,15495	30,97126
3:06	58,93135	45,48534	43,22817	30,97378
3:07	58,63319	45,46685	43,26466	30,9763
3:08	58,85424	45,5334	43,34929	30,97882
3:09	59,63946	45,55246	43,39723	30,98134
3:10	60,00269	45,51419	43,45264	30,98386
3:11	60,02074	45,53745	43,43788	30,98638
3:12	59,86161	45,5321	43,37789	30,9889
3:13	59,62263	45,59503	43,47191	30,99142
3:14	59,29372	45,64306	43,39166	30,99394
3:15	59,01501	45,71273	43,45106	30,99646
3:16	58,78094	45,76791	43,49478	30,99898
3:17	58,72391	45,78433	43,56036	31,0015
3:18	58,68011	45,80314	43,61284	31,00402
3:19	58,49799	45,80253	43,64274	31,00654
3:20	58,79024	45,78513	43,62939	31,00906
3:21	59,78369	45,78817	43,735	31,01158
3:22	59,93079	45,76931	43,80741	31,0141
3:23	59,83764	45,80209	43,84803	31,01662
3:24	59,60032	45,8712	43,80743	31,01914
3:25	59,36456	45,90994	43,8656	31,02166
3:26	59,03147	45,96201	43,88854	31,02418
3:27	58,77654	45,94073	43,85982	31,0267
3:28	58,5206	45,98785	43,91578	31,02922
3:29	58,85917	46,00939	43,96931	31,03174

Taula 69 – Dades proveta 2 CEM 1 + CNF 1,81%.

TEMPERATURA (°C)				INCREMENT DE TEMPERATURES (°C)		U (W/m <sup>2</sup> °C)	λ (W/m°C)	Q (W)
T <sub>ai</sub>	T <sub>si</sub>	T <sub>se</sub>	T <sub>ae</sub>	T <sub>ai</sub> -T <sub>ae</sub> (°C)	T <sub>si</sub> -T <sub>se</sub> (°C)			
59,30	45,64	43,51	31,00	28,30	2,13	3,71	0,52	0,68

Taula 70 – Resultats proveta 2 CEM 1 + CNF 1,81%.



Gràfica 24 - Evolució de temperatures fins a estabilització de la proveta 2 CEM 1 + CNF 1,81%.

CEM 1 + CNF 1,81% MESURES PROVETA Num 3		
	mm	m
LLARG	160,44	0,1604
AMPLE	40,12	0,0401
GRUIX	10,88	0,0109
	mm <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
SUPERFICIE	6436,85	0,0064

R <sub>si</sub> (m <sup>2</sup> °C/W)	0,13
R <sub>se</sub> (m <sup>2</sup> °C/W)	0,13
R <sub>s</sub> (m <sup>2</sup> °C/W)	0,26

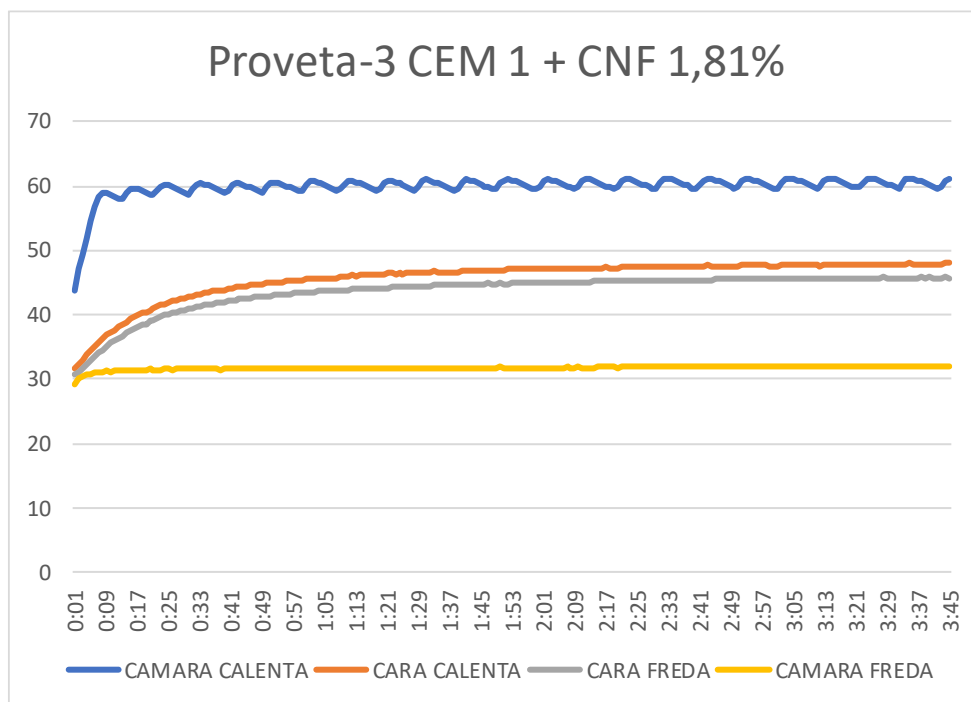
Taula 71 – Dimensions proveta 3 CEM 1 + CNF 1,81%.

TEMPS	CAMARA CALENTA	CARA CALENTA	CARA FREDA	CAMARA FREDA
3:00	59,74768	47,64176	45,61002	32,0172
3:01	59,62682	47,57642	45,57462	31,94435
3:02	60,49483	47,69904	45,60319	31,9742
3:03	61,21998	47,77692	45,56148	31,96448
3:04	61,24564	47,70434	45,64588	31,99704
3:05	61,18816	47,78319	45,66821	32,02685
3:06	60,97355	47,762	45,71211	32,04543
3:07	60,70406	47,74748	45,66998	31,98812
3:08	60,41235	47,73028	45,673	31,98864
3:09	60,16955	47,72644	45,646	31,96883
3:10	59,88663	47,68525	45,66887	31,98473
3:11	59,66963	47,67584	45,66265	32,0358
3:12	59,85175	47,64806	45,63847	31,95324
3:13	60,81119	47,83033	45,63419	32,00476
3:14	61,22144	47,82492	45,66067	32,01852
3:15	61,12616	47,76636	45,66796	31,98802
3:16	61,03473	47,80113	45,73889	32,00108
3:17	60,78695	47,79208	45,69657	31,96511
3:18	60,51781	47,81218	45,6931	31,96988
3:19	60,28844	47,80867	45,73361	32,03368
3:20	60,00041	47,75464	45,67923	31,9676
3:21	59,81712	47,75912	45,71478	32,04552
3:22	59,79258	47,73338	45,77349	32,03909
3:23	60,59279	47,80036	45,70922	32,02104
3:24	61,148	47,81375	45,69859	32,00454
3:25	61,21048	47,91011	45,69658	31,9971
3:26	61,13213	47,90477	45,67258	31,99231
3:27	60,83032	47,84811	45,74675	32,02589
3:28	60,63255	47,86937	45,81422	32,07625
3:29	60,35053	47,82172	45,75219	31,99953

Taula 72 – Dades proveta 3 CEM 1 + CNF 1,81%.

TEMPERATURA (°C)				INCREMENT DE TEMPERATURES (°C)		U (W/m <sup>2</sup> °C)	λ (W/m°C)	Q (W)
T <sub>ai</sub>	T <sub>si</sub>	T <sub>se</sub>	T <sub>ae</sub>	T <sub>ai</sub> -T <sub>ae</sub> (°C)	T <sub>si</sub> -T <sub>se</sub> (°C)			
60,55	47,77	45,68	32,00	28,55	2,09	3,44	0,51	0,63

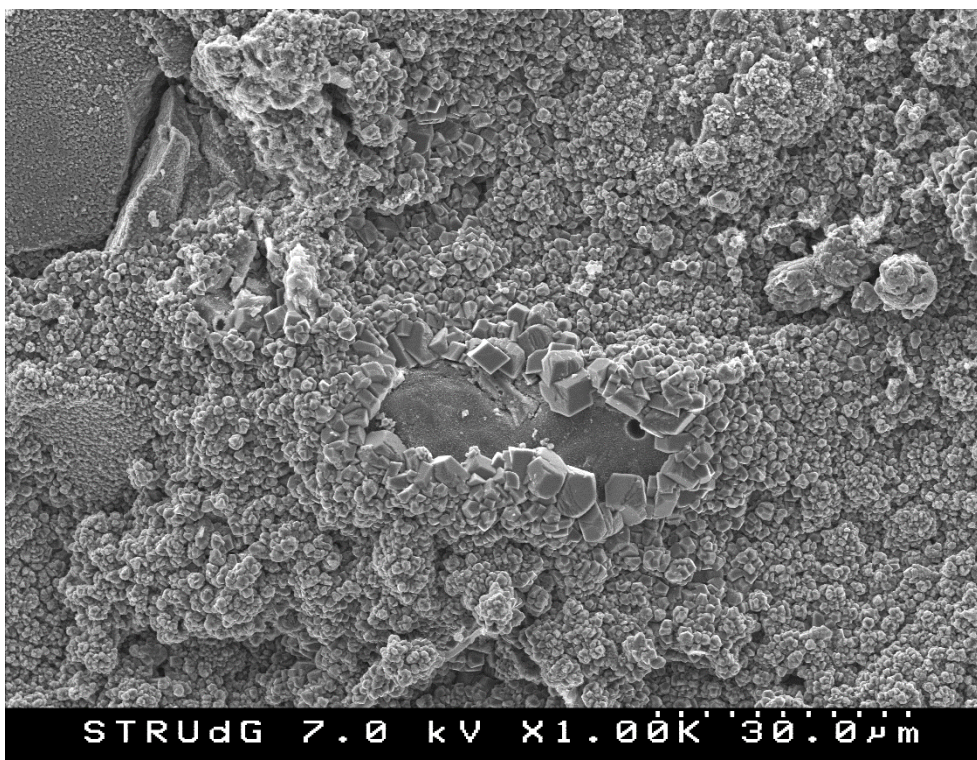
Taula 73 – Resultats proveta 3 CEM 1 + CNF 1,81%.



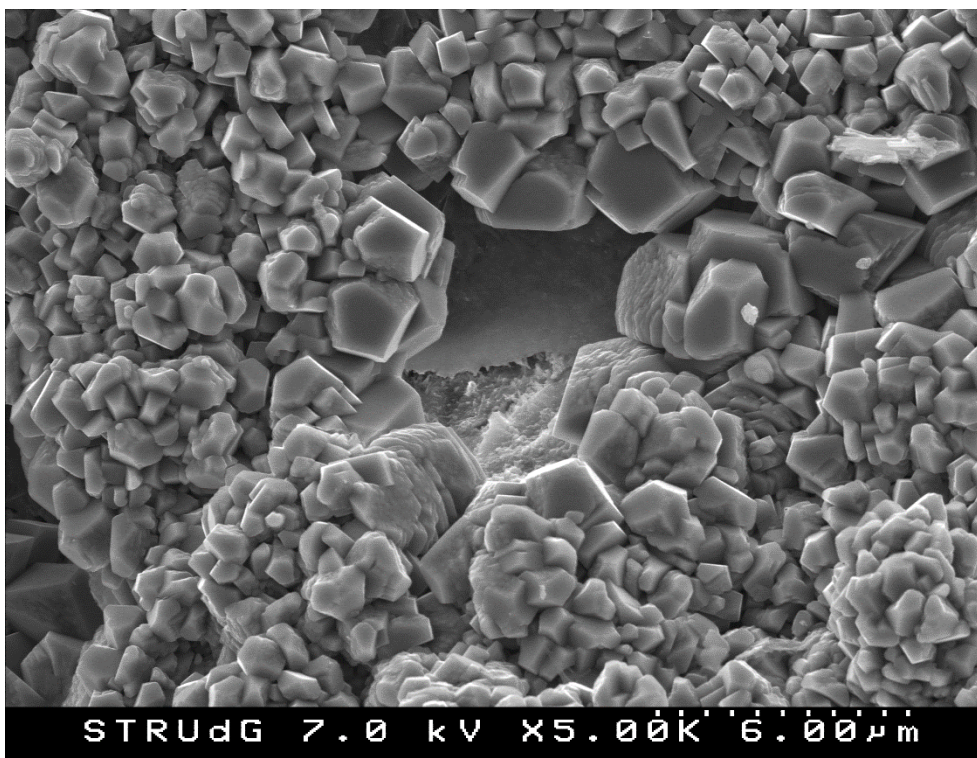
Gràfica 25 - Evolució de temperatures fins a estabilització de la proveta 3 CEM 1 + CNF 1,81%.



## ANNEX I – FOTOGRAFIES ASSAIG MICROSCOPIA

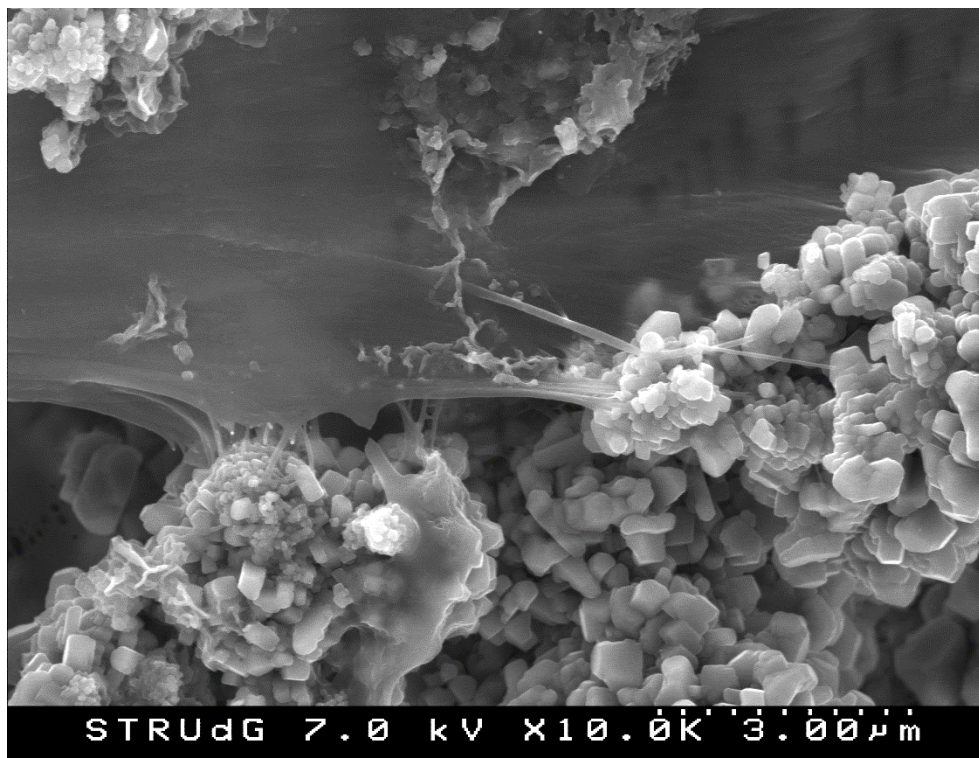


Fotografia 63 – Proveta de 1% de contingut de nanofibra a una escala de 30 micres

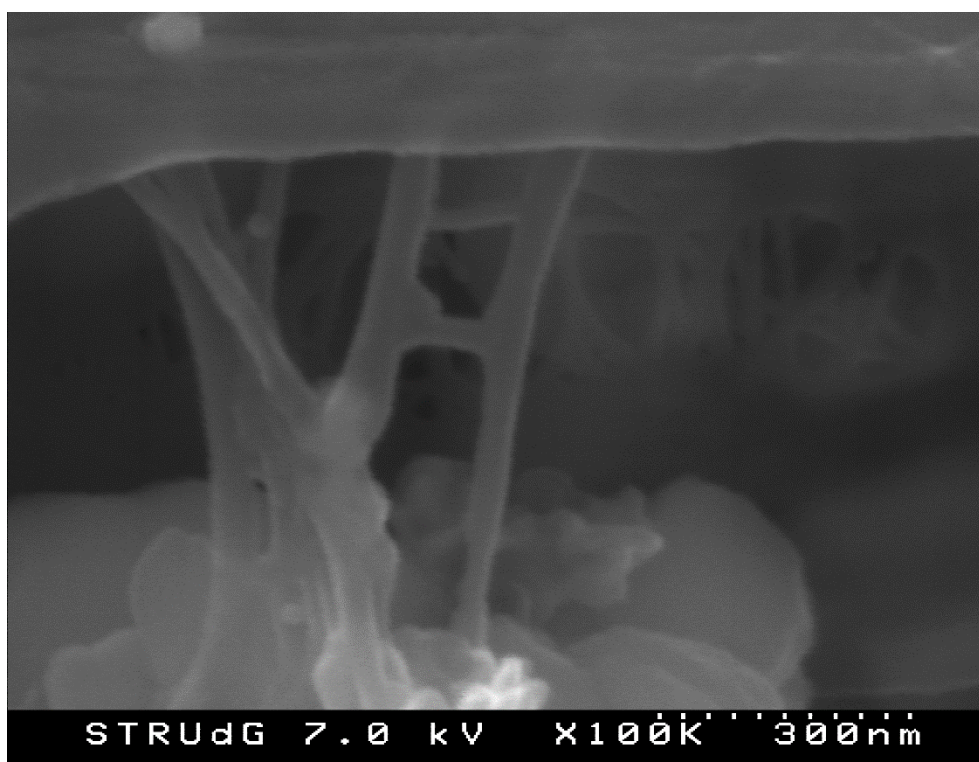


Fotografia 64 – Proveta de 1% de contingut de nanofibra a una escala de 6 micres

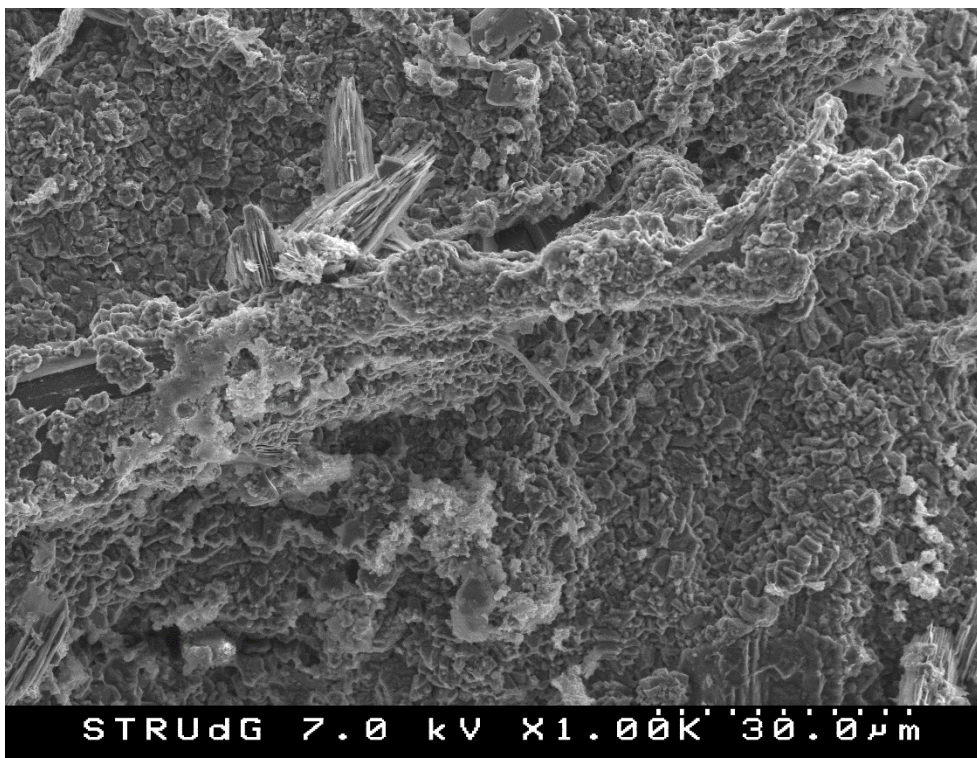




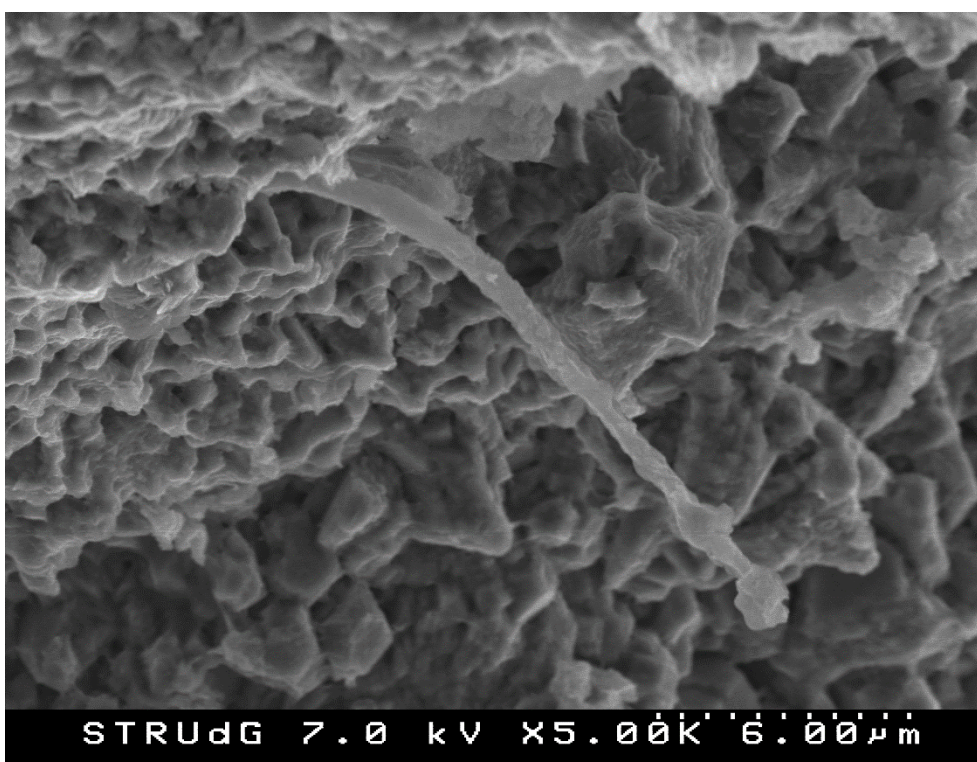
Fotografia 65 Proveta de 1% de contingut de nanofibra a una escala de 3 micres



Fotografia 66 – Proveta de 1% de contingut de nanofibra a una escala de 300 nanòmetres



Fotografia 67 – Proveta de 1,81% de contingut de nanofibra a una escala de 30 micres



Fotografia 68 – Proveta de 1,81% de contingut de nanofibra a una escala de 6 micres