

Treball final de grau

Estudi: Grau en Arquitectura Tècnica

Títol: Utilització de vidre reciclat com a substitut de la sorra en l'elaboració de formigons.

Document: Volum I: Memòria projecte

Alumne: Guillem Martí Pérez

Tutor: Maria Mercè Pareta Marjanedas

Departament: Arquitectura i Enginyeria de la Construcció

Àrea: Construccions Arquitectòniques

Convocatòria (mes/any): Setembre 2015

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ	1
2. ANTECEDENTS	4
3. OBJECTIUS.....	6
4. ESTAT DE LA QÜESTIÓ	8
4.1. METODOLOGIA.....	9
4.2. EL FORMIGÓ	10
4.2.1. Introducció.....	10
4.2.2. Història i Evolució del Formigó.....	10
4.2.3. Components del formigó.....	12
4.2.4. Els àrids reciclats.....	14
4.3. EL VIDRE.....	16
4.3.1. Introducció.....	16
4.3.2. Breu història del vidre	16
4.3.3. Reutilització del vidre	17
4.3.4. Reutilització del vidre en la construcció	18
4.3.5. Ús de vidre molt reciclat en formigons	21
4.3.6. Exemples d'estudis d'utilització de vidre reciclat en l'elaboració de formigons.....	22
5. PROPIETATS DELS MATERIALS I PRODUCCIÓ DE FORMIGÓ.....	24
5.1. PROCÉS DE PREPARACIÓ DE LA MATÈRIA PRIMERA, EL VIDRE.....	25
5.1.1. Vidre en pols.....	25
5.1.2. Vidre molt.....	26
5.2. PROCÉS DE PREPARACIÓ DE LES MOSTRES.....	31
5.2.1. Introducció.....	31
5.2.2. Caracterització dels materials	32
5.2.3. Fabricació del formigó	36
6. PROCÉS EXPERIMENTAL	49
6.1. ASSAIG DE DETERMINACIÓ DE LA RESISTÈNCIA A COMPRESSIÓ DE LES PROVETES.....	52
6.2. ASSAIG DE DETERMINACIÓ DE LA DENSITAT DEL FORMIGÓ ENDURIT	79
6.3. ASSAIG DE DETERMINACIÓ DE L'ABSORCIÓ D'AIGUA, LA DENSITAT I LA POROSITAT ACCESSIBLE A L'AIGUA DEL FORMIGÓ.....	96
6.4. ASSAIG DE DETERMINACIÓ DE L'ABSORCIÓ D'AIGUA PER CAPIL·LARITAT DEL FORMIGÓ ENDURIT.	113
6.5. ASSAIG DE DETERMINACIÓ DE LA VELOCITAT DE PENETRACIÓ DE LA CARBONATACIÓ EN EL FORMIGÓ ENDURIT	123
6.6. ASSAIG DE RESISTÈNCIA A LA HUMECTACIÓ-GEL-ASSECATGE DEL FORMIGÓ ENDURIT	133

6.7. ASSAIG DE DETERMINACIÓ DE LA RESISTÈNCIA A L'ABRASIÓ PROFUNDA DEL FORMIGÓ ENDURIT	144
6.8. ASSAIG D'ASSENTAMENT DEL FORMIGÓ FRESC	156
7. CONCLUSIONS GENERALS.....	165
8. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES	170
9. NORMATIVA	172
10. AGRAÏMENTS	175
11. LLISTATS.....	177
11.1. LLISTAT 1: ÍNDEX DE TAULES	178
11.2. LLISTAT 2: ÍNDEX DE DIAGRAMES.....	180
11.3. LLISTAT 3: ÍNDEX DE GRÀFICS.....	181
11.4. LLISTAT 4: ÍNDEX D'IMATGES	183
12. ANNEXOS	187
12.1. ANNEX 1: DETERMINACIÓ DE LA GRANULOMETRIA DE LES PARTÍCULES.....	188
12.2. ANNEX 2: RESISTÈNCIA A COMPRESSIÓ	203
12.3. ANNEX 3: ABSORCIÓ D'AIGUA PER CAPIL·LARITAT	224
12.4. ANNEX 4: DETERMINACIÓ DE LA VELOCITAT DE PENETRACIÓ DE LA CARBONATACIÓ	242
12.5. ANNEX 5: DETERMINACIÓ DE LA RESISTÈNCIA A L'ABRASIÓ PROFUNDA.....	252
12.6. ANNEX 6: MÀQUINARIA UTILITZADA	268

1. INTRODUCCIÓ

1. INTRODUCCIÓ

Durant segles, l'ésser humà ha protagonitzat en el seu afany de globalització i comercialització una explotació incontrolada dels recursos naturals. Atès que l'ús de matèries primeres, en alguns casos, s'ha dut a terme per sobre de les possibilitats de regeneració natural, s'ha provocat una situació d'alarma davant la inexistència de reserves per assegurar-ne la seva dependència actual.

Per sort, la consciència humana ha experimentat un canvi de pensament en els darrers anys. Els governs i empresaris s'han involucrat de forma activa en la supervisió de les fonts d'abastament de recursos per limitar-ne la seva explotació, amb el fi d'adequar-los als nivells òptims per a la seva perdurabilitat. També s'ha consolidat darrerament la valorització, el reciclatge i la reutilització dels residus, com a font de nous models de negoci amb un doble objectiu: per una banda disminuir la dependència de matèries primeres reincorporant elements considerats anteriorment com residus al procés productiu i, el més important, la voluntat de potenciar-ne l'aprofitament i allargar-ne la vida, per evitar la seva arribada a l'abocador.

Però no es pot baixar la guàrdia, ja que tot i la evolució soferta, és necessari continuar fent esforços per millorar-ne les possibilitats, i evitar caure altre cop en els errors del passat.

Irònicament, a la construcció és en un dels camps on queda més per recórrer en quan a sostenibilitat ambiental. Si a aquest fet, sumem la gran quantitat de matèria primera necessària per a l'execució dels diferents projectes, la ineficàcia dels programes de gestió de residus i el potent motor econòmic que a esdevingut el nostre sector a nivell global, era d'esperar que algun dels pilars que conformen aquesta activitat provoqués una situació d'alarma.

I la crua realitat és que les reserves de sorra del nostre planeta s'esgoten.

La sorra és la tercera matèria primera més utilitzada del planeta, tan sols superada per l'aigua i l'aire. Aquest fet es deu a l'augment de la construcció (habitatges, carreteres i hotels, entre d'altres infraestructures) en els darrers anys, que ha estat provocat pel gran consum del producte estrella en l'edificació: el formigó.

Aquesta barreja de sorra, grava i ciment ha estat una peça cabdal en la urbanització de les nostres ciutats, degut al seu baix preu, resistència i facilitat d'ús. Aquest afany per construir ha conferit a la sorra i al ciment un paper principal en la producció d'aquest producte per excel·lència en el sector.

La sorra que alimenta i confecciona platges, rius i fons marins, ha estat objecte d'una explotació incontrolada, degut a l'econòmica obtenció d'aquest element i la seva alta rendibilitat.

Però tot té un límit, i la majoria de fonts d'abastament d'aquesta matèria s'estan exhaurint, de manera que seguir satisfent aquesta demanda tan cobdiciosa s'està tornant cada vegada més

1. INTRODUCCIÓ

difícil. En primer lloc, vam esgotar els dipòsits superficials de sorra i grava. Posteriorment, l'extrèiem dragant els rius i, finalment, hem optat per extreure-la dels oceans, amb la consegüent destrucció dels fons marins i perjudici d'espècies animals.

Aquest impacte, però, no s'ha reduït aquí, sinó que un altre fet important és que la sorra s'utilitza en gran quantitat d'elements de la nostre vida quotidiana. Fosa per convertir-se en vidre, es troba en gran quantitat d'objectes i és la font de l'òxid de silici present a detergents, productes de neteja, paper, laca pel cabell o pasta de dents, entre d'altres. També proporciona minerals com ara el silici, el tori, el titani o l'urani i aquests constitueixen un dels components bàsics dels microxips, sense els quals els ordinadors, targetes de crèdit, telèfons mòbils i molts altres aparells no existirien.

Sense la sorra, no tan sols estaria en risc la destrucció del fons marí i les seves espècies animals, sinó també la desaparició de platges i illes degut a l'efecte que produeix l'extracció en les corrents marines, el nivell del mar i, indirectament, la producció d'infinat de productes de la nostre vida quotidiana es veuria compromesa. Aquesta problemàtica ha estat la font d'inspiració en la recerca d'una alternativa a l'ús massiu de la sorra en el sector de la construcció.

L'alternativa que es tractarà en aquest treball final de grau es basa en la investigació de la utilització de vidre reciclat com a substitut de la sorra en l'elaboració de formigons.

2. ANTECEDENTS

2. ANTECEDENTS

El vidre existeix a la naturalesa des de la consolidació de l'escorça terrestre. La seva utilització com a material va començar fa milers d'anys de la mà de l'ésser humà prehistòric, molt abans de l'aparició del primer artesà capaç de produir i treballar aquest material.

Antigament s'utilitzaven les roques d'origen volcànic i eruptives, com ara la obsidiana¹, en objectes ornamentals, atrets per la seva brillantor. Posteriorment, amb el descobriment del foc i l'accés a les altes temperatures, va ser possible desenvolupar les anomenades arts del foc: terrisseria, metal·lúrgia i també la vidrieria.

En aquest període és on apareixen els primers objectes de vidre obtinguts artificialment, i des de llavors, el vidre no ha deixat d'evolucionar com a material, millorant les seves propietats i aplicacions.

Per contra, la manera d'obtenir vidre artificialment no ha variat en el temps. La fabricació del vidre es basa en barrejar potassi, silici i calcària. Un cop la massa s'ha convertit en estat líquid dins el forn, s'extreu, i mitjançant el refredament, s'obté el vidre.

En aquest punt és on la sorra torna a agafar protagonisme, ja que per a la fabricació del vidre és necessari el silici, mineral extret majoritàriament de la sorra. Per tant, es pot afirmar rotundament que el vidre està format de sorra.

El plantejament dut a terme és investigar la possibilitat que un cop acabada la vida útil de l'objecte de vidre es pugui triturar per tal d'obtenir un producte granulós i tancar el cicle reutilitzant-lo com a matèria primera en l'elaboració dels formigons.

Paral·lelament, també es potenciaria el reaprofitament i valoració d'un residu destinat a l'abocador, i d'altre banda, alleugerir la dependència actual de sorra per a l'elaboració de formigons.

¹ Roca d'origen igni formada per silicats d'alumini i un gran percentatge de silici o diòxid de silici, de color negre, utilitzada com a ornament. En certes cultures del paleolític i el neolític s'utilitzava per elaborar ganivets, llances i puntes de fletxa.

3. OBJECTIUS

3. OBJECTIUS

Reciclar és una pràctica tant antiga com la pròpia història. Des de que l'ésser humà produeix eines, instruments i objectes per la vida diària, reutilitza i recicla materials. Aquest fet també es pot extrapolar en el cas que centra aquest treball, el vidre.

El vidre usat ja va ser reaprofitat en l'antiguitat des del principi de la seva fabricació artificial. No obstant això, la falta de consciència ambiental i la costum d'utilitzar i tirar, va relegar el seu reciclatge a mínims durant molt de temps.

En l'actualitat, però, la societat ha anat encaminada a un canvi, conscienciada que la nostra forma de vida (la manera de treballar, produir i consumir) no era perdurable en el temps. Així doncs, la societat, preocupada per primera vegada pel canvi climàtic, el possible exhauriment de recursos naturals, l'acumulació de residus sòlids urbans juntament als sistemes poc controvertits d'eliminar-los, han canviat la visió en aquest aspecte. Doncs la manera més eficient i neta de resoldre aquest problema és complir la triple condició: reduir el volum de residus, reutilitzar en la mesura del possible i reciclar al màxim els residus.

Sota aquesta premissa, el present projecte que es desenvolupa pretén ser un exemple de reutilització d'un residu.

L'objectiu general del present treball de final de grau és la utilització de vidre reciclat com a substitut de la sorra en l'elaboració de formigons.

Per dur a terme aquest objectiu general, es planteja un objectiu principal:

- Estudi de les propietats que comporta l'addició del vidre reciclat de diferents granulometries, com a substitut de part de la sorra utilitzada en l'elaboració de formigons.

Per tal d'aprofundir més en l'objectiu principal, es plantegen els següents assajos:

- Resistència a compressió.
- Densitat.
- Absorció d'aigua, densitat i porositat accessible a l'aigua del formigó.
- Absorció d'aigua per capil·laritat.
- Resistència de la velocitat de penetració de la carbonatació.
- Resistència a la humectació-gel-assecatge.
- Abrasió.
- Consistència.

Un cop realitzats els assaigs, extreure conclusions i determinar-ne l'afectació en les diferents propietats.

4. ESTAT DE LA QÜESTIÓ

4.1. METODOLOGIA

D'acord amb l'objectiu exposat, s'ha dissenyat i seguit un pla de treball que consta de les següents etapes:

- Recerca d'informació i anàlisi bibliogràfica.
- Classificació i gestió del residu segons la normativa vigent.
- Preparació de la matèria primera: el vidre.
- Procés de preparació de les mostres per fer l'estudi del comportament del material.
- Realització del procés experimental mitjançant assaigs de:
 - o Resistència a compressió.
 - o Densitat.
 - o Absorció d'aigua, densitat i porositat accessible a l'aigua del formigó.
 - o Absorció d'aigua per capil·laritat.
 - o Resistència de la velocitat de penetració de la carbonatació.
 - o Resistència a la humectació-gel-assecatge.
 - o Abrasió.
 - o Consistència.
- Interpretació dels resultats dels assaigs.
- Conclusions.

4.2. EL FORMIGÓ

4.2.1. Introducció

El formigó és el material per excel·lència en la construcció. Consisteix en una massa homogènia formada per una barreja d'àrid (grava i sorra), ciment, aigua, additius i addicions que un cop endurida li confereixen un seguit de característiques determinades.

4.2.2. Història i Evolució del Formigó

Prehistòria

Fa vuit mil anys, la barreja dels ciments amb aigua, sorra i àrids donà com a resultat un nou material que es podia emmotllar fàcilment i que, quan s'enduria, assolia característiques de solidesa, resistència i durabilitat notables. Aquest nou material va ser l'origen del formigó.

Segons fonts històriques, la construcció més antiga realitzada amb formigó és el terra d'una cabana a Lepensky Vir² (Iugoslàvia), datada del 5.600 a.C.

Edat Antiga

El poble egipci ja utilitzava un morter (barreja de sorra amb material del ciment) per a unir blocs de pedra i aixecar les seves prodigioses construccions i, al mural de Tebes (1.950 a.C.), es conserven escenes d'homes fent formigó i aplicant-lo a una obra.

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

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

² Assentament amb més de vuit mil anys d'història localitzat a prop del riu Danubi al seu pas per Sèrbia. S'hi han trobat nombroses eines rudimentàries, així com habitatges propis de l'època.

Formigó medieval

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

Ciment Pòrtland

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

L'any 1.824, James Parker i Joseph Aspdin van patentar un nou ciment hidràulic artificial, fabricat per la combustió conjunta de calcària i carbó, que van anomenar Pòrtland Cement pel seu color fosc, semblant a la pedra de la illa de Pòrtland. En els seus inicis aquest material no va ser gaire utilitzat, a causa del seu complex procediment de fabricació, que encaria la seva producció.

Cap a finals del segle XIX, el procés d'industrialització i la introducció de forns rotatoris van propiciar l'extensió del seu ús per a tot tipus d'aplicacions. Actualment, i malgrat totes les millores tècniques produïdes (menys impacte ambiental i més prestacions), el ciment pòrtland continua essent, en essència, molt similar al primer que es va patentar.

Època actual

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

4.2.3. Components del formigó

Àrids

Els àrids que conformen el formigó són sorres i graves que s'afegeixen a la barreja i garanteixen tant la resistència com la durabilitat del formigó. La proporció d'àrid gruixut (grava) i àrid fi (sorra) ha de fer-se de manera adequada per aconseguir un material prou compacte, és a dir, amb pocs buits, i una massa de formigó prou mal·leable i que no es disgregui.

Ciment

El ciment és un conglomerant hidràulic artificial de naturalesa inorgànica que endureix barrejat amb l'aigua. Els ciments més emprats per fer formigó són el ciment pòrtland i el ciment pòrtland amb addicions.

Aigua

L'aigua és un compost químic transparent, inodor, insípid, químicament format per hidrogen i oxigen, que barrejat amb el ciment inicia reaccions químiques que provoquen la transformació dels components i el seu enduriment.

Donat que l'aigua no es troba pura a la natura ni a les fonts habitualment disponibles, no totes les aigües poden servir per fer formigó, sinó que les que portin dissoltes substàncies perjudicials pel formigó en quantitats excessives no poden ser emprades.

Additius

S'entén per additius aquelles substàncies o productes que incorporats al formigó abans del amassat o durant el transcurs d'un amassat complementari en una proporció no superior al 5% del pes del ciment produeixen la modificació desitjada, en estat fresc o endurit d'alguna de les seves característiques, de les seves propietats habituals o el seu comportament.

Tipus d'additius:

- Airejants: Modifiquen la porositat i els buits del formigó. Augmenten la resistència sense augmentar la retracció.
- Anticongelants: Permeten formigonar en temps de gelades.
- Colorants: Pigmenten la massa amb un color determinat.
- Fluïdificants: Tenen la funció de modificar la plasticitat del formigó.
- Retardants: Retarden el temps d'inici de l'enduriment.

Addicions

S'entén per addicions aquells materials inorgànics, putzolànics o amb hidralicitat latent que, quan són finalment dividits, poden ser afegits al formigó amb la finalitat de millorar alguna de les seves propietats i adjudicar-li unes característiques especials.

4.2.4. Els àrids reciclats

El món de la construcció és, sense cap mena de dubte, el sector idoni on fomentar l'ús racional dels residus i subproductes industrials. Per una part, consumeix grans volums de matèries primeres, i d'altra banda, genera grans quantitats de residus provinents de la demolició d'edificis o del desaprofitement de materials utilitzats en les noves construccions i reformes. Amb el temps, s'ha anat aprofundint en l'interès de reutilitzar aquests residus, i paral·lelament, alleugerir el problema ambiental de l'eliminació dels mateixos.

El Reial Decret 105/208, de 1 de febrer, pel qual es regula la producció i gestió dels residus de la construcció i demolició, defineix els RCD com qualsevol residu que es generi en una obra de construcció i demolició.

Aquests residus estan composts per runa que conté formigó, ceràmica, pedra, metalls, plàstic, paper i cartró, entre d'altres. Es classifiquen en tres grups:

- Residus inerts: No presenten cap risc de contaminació d'aigües o sòls, i que en general són d'origen petri.
- Residus no perillosos: Poden ser tractats o emmagatzemats en les mateixes instal·lacions que els residus urbans.
- Residus perillosos: Són potencialment perjudicials per a la salut i el medi ambient.

Materials	% en pes
Runa	75
Maons, rajoles i altres elements ceràmics	54
Formigó	12
Pedra	5
Sorra, grava i altres àrids	4
Altres residus	25
Fusta	4
Vidre	0,5
Plàstic	1,5
Metall	2,5
Asfalt	5
Guix	0,2
Paper	0,3
Deixalles	7
Altres	4

Taula 1: Composició general dels RCD, (Valor indicatiu). **Font:** Pla Nacional dels residus de Construcció i Demolició

Aquests residus es sotmeten a un procés previ de reducció de mida i garbellat, per tal de considerar-los àrids reciclats.

4. ESTAT DE LA QÜESTIÓ

En general, els tipus d'àrid reciclat que es produeixen són graves per a bases de carreteres, però en l'actualitat s'està iniciant l'aplicació dels àrids reciclats com a matèria primera per la fabricació de formigons.

El principal inconvenient dels àrids reciclats és la seva menor qualitat, cosa que limita les possibles aplicacions d'aquest element, ja que no s'aconsegueix la mateixa resistència a compressió que un àrid natural i el seu elevat cost d'obtenció respecte els mètodes tradicionals.

4.3. EL VIDRE

4.3.1. Introducció

El vidre és un material inorgànic, fràgil, transparent i amorf que està present a la naturalesa, tot i que també pot ser produït artificialment mitjançant la fusió de sorra de silici (SiO_2), carbonat sòdic (Na_2CO_3) i calcària (CaCO_3).

4.3.2. Breu història del vidre

El vidre va ser descobert aproximadament l'any 2500 aC. a Egipte i Mesopotàmia. Inicialment va ser utilitzat com element decoratiu, fins que uns mil anys més tard van aparèixer els primers vidres destinats a contenir aliments. La tècnica utilitzada consistia en emmotllar tasses i gerros en una estructura de sorra o argila.

El descobriment del vidre bufat va ser la primera gran innovació vidriera a Palestina i Síria als voltants del segle I. La seva tècnica consistia en recollir el vidre fos amb l'extrem d'una canya buida i mitjançant el bufat donar a l'objecte la forma desitjada.

A partir del segle XI, Venècia es va convertir en la capital europea de la fabricació del vidre. Més tard, al segle XIV, es va descobrir la tècnica del vidre pla a Normandia.

La primera indústria vidriera es va desenvolupar al segle XVIII, a través de les fàbriques. No obstant això, la producció d'ampolles de vidre era limitada, ja que aquestes encara es realitzaven a través del bufat.

Amb la revolució industrial, al segle XIX, es van produir nombrosos progressos a la indústria i el naixement del que coneixem com la indústria moderna del vidre. La utilització de carbó va millorar l'eficiència de funcionament dels forns, que fins al moment eren alimentats bàsicament per fusta. Un altre avenç significatiu va ser la introducció de les primeres màquines d'automatització de la producció, cosa que va permetre la progressiva substitució del conformat del vidre amb aire comprimit en motlles metàl·lics en detriment del bufat.

Al segle XX, l'automatització de la producció per mitjà de forns de foc continu va propiciar el desenvolupament d'una producció amb una sèrie de grans quantitats, principal causa de l'evolució soferta en el sector i l'origen de l'actual negoci, on les recents millores tecnològiques han permès obtenir productes de majors prestacions i infinitat d'utilitats.

4.3.3. Reutilització del vidre

El vidre és un material utilitzat en diverses aplicacions dins la construcció. El més clar exemple és la utilització per a la formació de la part transparent de l'obertura.

Aquest material va ser utilitzat en els inicis en forma de vidres senzills, però amb el temps van ser rellevats per vidres de millors propietats, que combinaven les característiques de diferents tipus de llunes. Els vidres senzills o formats per una sola lluna van donar pas als anomenats vidres dobles, triples, de seguretat, de baixa emissivitat, emmotllats i un sens fi de varietats i combinacions.

Una altre aplicació d'aquest material és en la formació d'aïllants, com els coneguts panells de fibra.

I pel que fa al seu reciclat, sense dubte aquestes últimes, les fibres de vidre, han estat l'element més utilitzat en formigons i elements estructurals.

L'addició d'aquestes fibres dins la barreja proporciona, entre d'altres propietats, l'adquisició de resistència contra les fissures.

En resum, el vidre és present de diferents formes al món de l'edificació. Ara bé, el seu reciclat encara és escassament utilitzat.

En aquest sentit el vidre és un material íntegrament reciclable ja que, per exemple, a partir d'una ampolla de vidre es pot produir una altre ampolla de vidre i aquest procés es pot repetir indefinidament, conservant les seves propietats i qualitats. Per tant, sembla ser que el reciclatge de vidre està optimitzat i pensat de manera que el més idoni sigui tornar a fabricar productes de vidre.

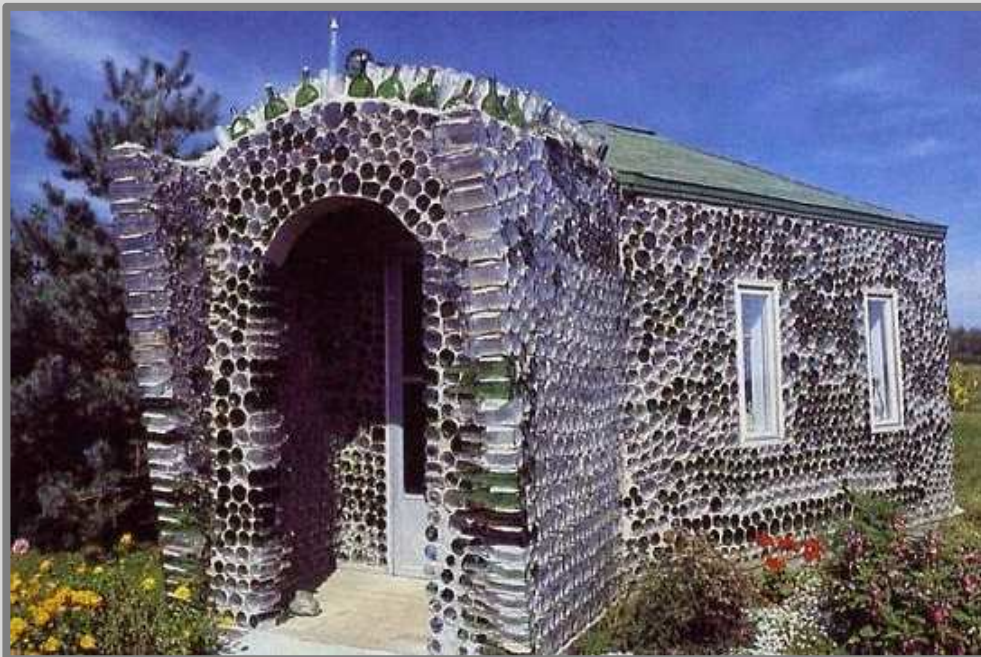
Ara bé, la cultura mediambiental que s'està desenvolupant al planeta en els últims anys, ha dut a l'ésser humà a buscar altres usos a productes que es creien destinats a l'abocador. I en aquest sentit el reaprofitament del vidre en la construcció pot esdevenir una segona vida per gran quantitat del vidre que actualment no es recicla.

4.3.4. Reutilització del vidre en la construcció

Actualment, la construcció sostenible ha anat guanyant terreny a la construcció industrialitzada que es duia a terme en les darreres dècades. Aquesta, però, encara és escassa davant la reticència de les empreses constructores a treballar amb materials diferents als convencionals, com ara el formigó.

Malgrat tot, les iniciatives de construir ecològicament, respectant amb la mesura del possible el medi ambient i reduint al mínim l'impacte, han anat evolucionant. Són infinites les opcions al respecte, com ara la utilització de materials ecològics, com per exemple la tova, el mur de tàpia, el fang, la fusta, la canya o la palla, tècniques conegudes pels nostres avis i que ja s'utilitzaven en l'antiguitat. Més recentment, la reutilització de materials manufacturats per l'home com ara pneumàtics, plàstics i fins i tot la reutilització de materials provinents d'enderrocs per a la producció d'àrids reciclats, no cessa en la seva captació de nous adeptes.

I dins d'aquests moviment el vidre també hi ha tingut cabuda.



Imatge 1: Casa construïda a Novoshakhtinsk (Rússia) amb 5.000 ampolles de vidre. **Font:** www.veoverde.com

La construcció de cases a partir de la reutilització d'ampolles de vidre és una tècnica que actualment no és una novetat. Aquests "maons de vidre" són l'opció més econòmica i senzilla d'estalviar matèries primeres, a part de contribuir a un estalvi energètic i reduir la contaminació associada de la producció de maons ceràmics o altres productes constructius. Les tecnologies

4. ESTAT DE LA QÜESTIÓ

tradicionals necessiten d'un gran consum de recursos i energia, produint una contaminació elevada. Per tant, la utilització d'aquest vidre aporta una segona vida a aquest productes, deslliurant-los de finalitzar enterrats a l'abocador, a part de proporcionar unes propietats d'aïllament tèrmic i acústic prou acceptables.

També cal destacar que l'ús de vidre mòlt en projectes de construcció està guanyant popularitat. Milers de tones d'ampolles de vidre entren als abocadors cada dia. El seu reciclatge és una excel·lent forma de reduir residus, costos i ajudar el medi ambient. Un residu al que, si no busquem sortida, tarda milers d'anys en degradar-se de manera natural.

La trituració del vidre elimina les vores tallants, pel que no hi ha més perill pels treballadors que el manipulen com si fos sorra o grava. Aquesta peculiaritat va permetre al govern del comtat de Broward de pal·liar els efectes erosius del mar en algunes de les seves platges de la ciutat de Fort Lauderdale, al sud de Florida. Davant la desaparició de grans quantitats de sorra per culpa de les marees, es va optar per abocar vidre reciclat, convenientment mòlt i triturat en petits grans, per augmentar la reserva de sorra de les platges. Certes investigacions apunten també que el creixement d'organismes i vida silvestre en aquest material és similar al produït en condicions naturals.

Un succés similar és el produït a l'avui anomenada Glass Beach, on durant divuit anys (de 1949 a 1967) els residents de la zona de Fort Bragg, al comtat de Mendocino de Califòrnia, van utilitzar el mar com a abocador. Anys després i amb la prohibició de continuar abocant residus al mar, la platja que s'anomenava The Dumps (l'abocador), va anar polint, erosionant i tornant a la platja milers de tones de vidres, donant-li aquest aspecte singular, que la convertit en zona protegida.



Imatge 2: Glass Beach a Fort Bragg (Califòrnia). **Font:** www.internationalseaglassmuseum.com

La naturalesa, a la seva manera, també ha reintroduït aquest material. Davant aquesta relació entre vidre i sorra, han sigut bastantes les investigacions que s'han estat duent a terme per tal de treure un profit d'aquest fet.

A continuació es detallen algunes de les aplicacions més recents sobre el tema.

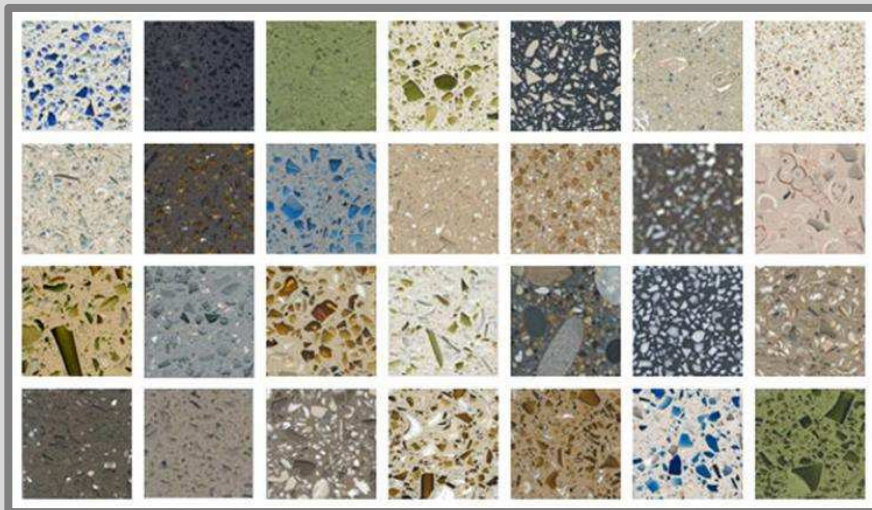
- Tradicionalment, el decapat amb raig de sorra és un mètode d'eliminació d'òxid, pintura i altres contaminants. La substitució de sorra per vidre molt funciona igual de bé, ja que el vidre acostuma a ser més suau i fa possible la reducció dels danys als elements que s'estan netejant.
- Utilització de vidre triturat com a base per a la construcció de vies. El vidre compactat té un comportament semblant al de la sorra, sempre i quan s'utilitzi amb la granulometria adequada.
- Filtratge d'aigües residual a través de vidre molt en substitució de la sorra granulada per millorar el procés de filtratge. El vidre molt permet el pas de l'aigua i atrapa els contaminants sòlids.
- Agregar vidre molt al formigó per substituir la sorra o grava de mida reduïda.

Aquesta última aplicació és la que desenvoluparem.

4.3.5. Ús de vidre mòlt reciclat en formigons

Dins el nostre sector, ja s'han patentat diferents materials de formigó que contenen vidre mòlt.

Dexterra és un tipus de terratzo ecològic. S'aconsegueix amb agregats decoratius barrejats amb un aglutinant de ciment. El material que s'afegeix principalment és vidre reciclat que es neteja, tritura i barreja amb un compost de ciment. A més de servir com a paviment, també es disposa de diferents col·leccions per a banys i cuines.



Imatge 3: Gamma terratzo ecològic Dexterra amb vidre reciclat. **Font:** www.dexindustries.com

Una altra empresa vinculada amb el món de la construcció, Hering International, ha estudiat la possibilitat de fabricar lloses de formigó estables amb vidres, per a la formació de formigó arquitectònic.



Imatge 4: Gamma terratzo ecològic Dexterra amb vidre reciclat. **Font:** www.dexindustries.com

4.3.6. Exemples d'estudis d'utilització de vidre reciclat en l'elaboració de formigons

A continuació es fa referència a estudis relacionats amb el tema del treball a desenvolupar:

- *Formigó amb vidre*, realitzat per Merary Rúben Flores Villanueva, Universitat Austral de Xile, Facultat de Ciències de l'Enginyeria, Escola de Construcció Civil.

Objectius Generals: Realitzar un estudi preliminar de l'ús del formigó reemplaçant l'àrid per vidre en diferents percentatges, inclosos a la barreja.

Conclusions Generals:

- En un primer terme, podem dir que, una vegada realitzada la investigació, el "Formigó amb Vidre" compleix amb la resistència mínima requerida per dosificació, per a un formigó amb una aplicació o addició de fins a un 75% d'àrid reemplaçat per vidre, que va ser la quantitat màxima reemplaçada en l'estudi realitzat.
- Si bé la resistència és un aspecte positiu, no podem ignorar que el procés d'elaboració del formigó amb vidre considera les següents dificultats, tant per la seva elaboració com per la seva terminació. Un primer aspecte negatiu seria la problemàtica de trituració del vidre, perquè aquest compleixi els requeriments utilitzats en aquest estudi, com ara:
 - Mida màxima del vidre, perquè compleixi els requisits del àrid utilitzat.
 - La dificultat de reproduir en terreny les mateixes característiques vistes en laboratori, el que faria més distant la similitud entre el formigó patró i el formigó amb vidre.
- *Estudi de la influència del vidre mòlt en formigons grau H15, H20 i H30*, realitzat per Carlos Javier Catalan Arteaga, Universitat Austral de Xile, Facultat de Ciències de l'Enginyeria, Escola d'Enginyeria Civil en Obres Civils.

Objectius Generals: Estudiar la influència de l'addició de vidre sobre la resistència mecànica del formigó, grau H15, H20 i H30.

Conclusions Generals:

- Atès que l'absorció d'aigua és pràcticament nul·la en el vidre, es pot disminuir la quantitat d'aigua necessària.
- El reemplaçament de part dels àrids per vidre triturat no provoca canvis significatius en la densitat del formigó, no es genera un augment excessiu del pes final de les provetes, ja que el vidre posseeix una densitat del mateix ordre que els àrids utilitzats.

4. ESTAT DE LA QÜESTIÓ

- S'han d'establir condicions adequades per a la manipulació i trituració del vidre, tenint especial cura en fer servir granulometries menors a 5 mm, a causa de la composició del mateix, amb un alt contingut de silici, que si és aspirat en grans quantitats, pot ser nociu per a la salut.
- Hi ha una tendència, encara que en aquest cas lleugera, a un augment en la resistència del formigó, en incloure un 10% de vidre a la barreja.
- En afegir un percentatge major en la barreja, es tendeix a una disminució de la resistència, el qual s'explica en la naturalesa com a material fràgil del vidre, en detriment de la ductilitat desitjada en formigons.

5. PROPIETATS DELS MATERIALS I PRODUCCIÓ DE FORMIGÓ

5.1. PROCÉS DE PREPARACIÓ DE LA MATÈRIA PRIMERA, EL VIDRE

Com ja s'ha explicat anteriorment, el vidre serà un dels components cabdals de la investigació, de manera que en l'elaboració del projecte s'han utilitzat tres àrids de vidre diferents:

- Pigment reflexiu³ en forma de vidre en pols.
- Vidre provinent d'envasos, amb una mida inferior a 4 mm.
- Vidre provinent d'envasos, amb una mida entre 4 i 8 mm.

Per tant, la utilització de diferents tipus de vidre, associat a unes granulometries determinades, dotarà el procés experimental d'una suficient informació per comparar-ne la seva relació i poder valorar-ne la seva influència en el formigó.

5.1.1. Vidre en pols

Per començar, un dels àrids utilitzat ha estat pigment reflexiu en forma de pols de vidre, obtingut de l'empresa Productos Químicos FM 2005, S.L. i subministrat en pots de 500 grams.



Imatge 5: Pigment reflexiu en forma de pols de vidre de l'empresa Productos Químicos FM 2005, S.L.
Autor: Guillem Martí / **Font:** Pròpia

Concretament, aquest material és un producte reciclat obtingut de forma semblant al procés de fabricació de les fibres de vidre i disposa d'una granulometria idònia per a la seva incorporació en l'amassada del formigó, sense necessitat de manipulació.

La seva elecció va ser motivada per la dificultat d'obtenir, de manera experimental, una granulometria i mida d'aquestes característiques.

³ Material conformat a partir de microesferes de vidre que es caracteritza per la seva reflexió, ja que, en il·luminar-se, retorna la llum a la seva font.

5.1.2. Vidre mòlt

Seguidament, es va procedir a l'obtenció de vidre mòlt de forma experimental, en un procés semblant al que es realitzaria en cas d'autoproducció.

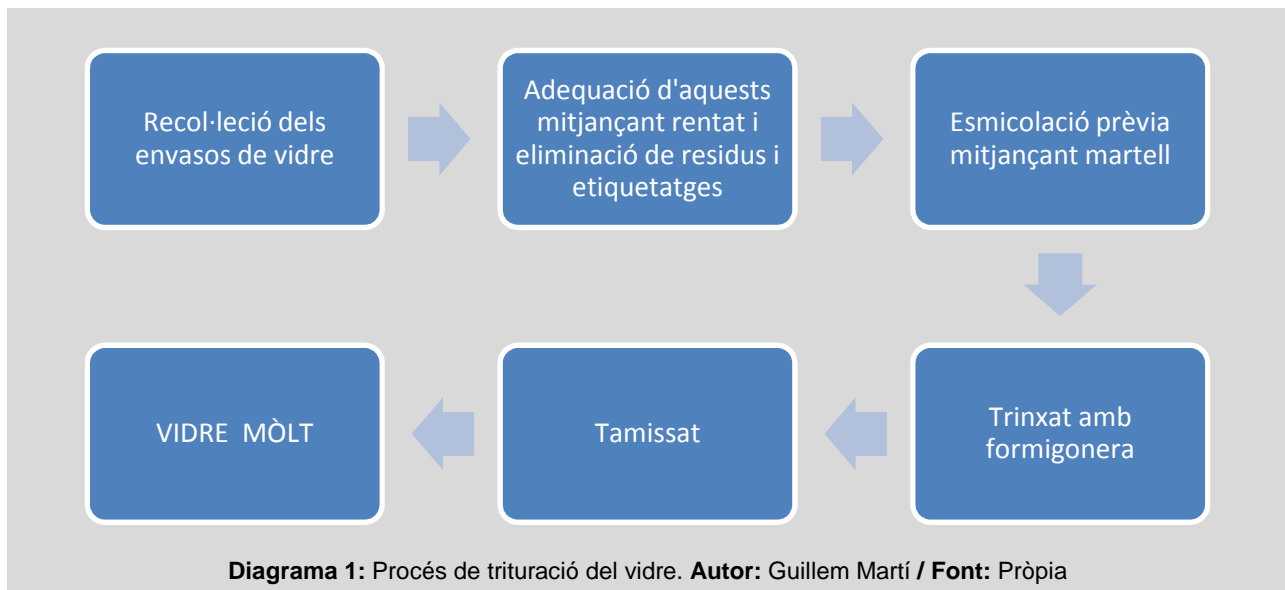
La idea original era no produir-se la matèria primera, però l'elevat cost de compra del vidre de diferents granulometries, obtingut per mitjans industrialitzats, va descartar aquesta opció.

S'ha de tenir en compte que el preu d'aquest material és de 40€/kg i es calcula que se n'han utilitzat més de 15 kg.

Per consegüent, i com anteriorment s'havia realitzat la despesa necessària per comprar el vidre en pols a un preu pròxim als 14€/kg, es va decidir auto-produir el vidre mòlt, amb la perillositat que això comporta.

Procés d'obtenció del vidre mòlt

El procés d'obtenció del vidre mòlt es correspon al diagrama següent:

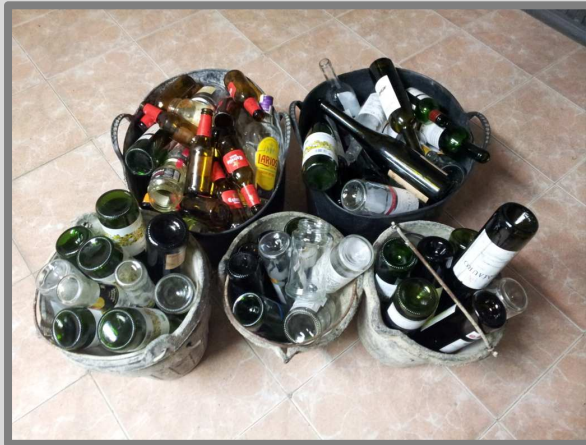


Un dels condicionants més importants alhora de triturar el formigó és l'alt risc d'inhal·lar la pols volàtil i sofrir hemorràgies pulmonars. No cal oblidar que és un material amb arestes vives, que entre altres malalties pot provocar la silicosis⁴ i, en casos més extrems, fins i tot càncer.

Per tant, en aquesta fase i en la de confecció de les mostres, cal insistir en la importància d'una protecció adequada mitjançant guants, mascareta i ulleres.

⁴ Malaltia pulmonar produïda per la inhalació de partícules de silici que pot afectar els bronquis i ganglis limfàtics, provocant una greu disfunció respiratòria.

Reprement el tema, el procés de producció s'inicia amb la recol·lecció dels envasos de vidre, provinents del rebuig després del seu ús domèstic.



Imatge 6: Envasos provinents del rebuig domèstic. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

Cal puntualitzar que aquest vidre prové únicament d'envasos i d'ampolles de vidre de diferents formes i colors, com ara ampolles de cava, vi, aigua i llegums, descartant-se qualsevol vidre d'origen diferent.

En segon lloc, i un cop recol·lectats els envasos, el següent pas consisteix en adequar-los:

- Extraient el contingut restant emmagatzemat al seu interior.
- Eliminant les etiquetes originals d'identificació del producte.
- Netejant l'envàs amb aigua i sabó per eliminar qualsevol resta de matèria orgànica.



Imatge 7: Envasos de vidre després del seu condicionament. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

En acabar, és necessari realitzar un pas previ en el procés d'esmicolat del vidre, que consisteix en trencar-lo de forma manual, en porcions més petites, per tal d'afavorir el procés.



Imatge 8: Trencant els envasos de vidre amb un martell. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

Acte seguit, un cop el vidre s'ha reduït de mida amb l'ajuda d'un martell, s'ha introduït per tongades dins d'una formigonera, on amb l'ajuda d'unes peces metàl·liques, i gràcies al moviment rotatori d'aquesta, el vidre s'anava trinxant.



Imatge 9: Peces metàl·liques per a trinxar el vidre. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

Abans de posar en funcionament la formigonera, és necessari protegir-se per evitar els efectes negatius que pot provocar la inhalació de pols sobre la salut.



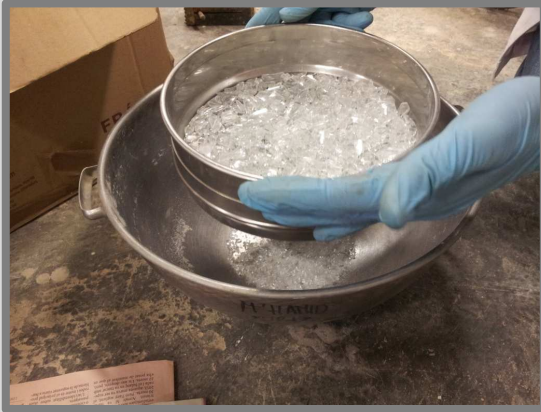
Imatge 10: Procés de trituració del vidre. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

Passats uns deu minuts, s'apaga la màquina i es deixa reposar el contingut perquè la pols de vidre volàtil es precipiti al fons.



Imatge 11: Reducció de la mida del vidre. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

S'extreu el protector i es tamisa l'àrid de vidre segons la mida desitjada, apartant el vidre que encara no compleix amb la mida desitjada, per triturar-la conjuntament a la següent tongada.



Imatge 12: Procés de tamisat del vidre. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

Finalment, un cop tamisat el vidre, s'obté la matèria primera, que en el nostre cas és vidre de mida inferior a 4 mm i vidre de mida entre 4 i 8 mm.



Imatge 13: Vidre de mida inferior a 4 mm (esquerra). Vidre de mida entre 4 i 8 mm (dreta). **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

Un cop obtinguts els àrids de vidre, cal descriure el procediment emprat en la fabricació de les provetes de formigó per al posterior anàlisi experimental.

5.2. PROCÉS DE PREPARACIÓ DE LES MOSTRES

5.2.1. Introducció

En aquest capítol es detalla el procediment seguit per a la fabricació dels diferents tipus de formigons, utilitzant vidre com a substitut de la sorra.

Per començar, calia determinar les característiques de tots els materials utilitzats.

Seguidament, es podien fabricar les mostres de formigó amb diferents dosificacions, amb la premissa de mantenir la quantitat de ciment, l'aigua, el percentatge d'àrid gruixut natural i reduir el percentatge de sorra a mesura que augmentava el vidre.

Per concloure, van realitzar-se tres fases experimentals, que es descriuen a continuació:

▪ Fase 1

Motivació: Fabricació de 6 sèries de formigons per determinar la resistència a compressió de les mostres al cap de 7 dies.

Objectiu: Verificar les dades d'altres autors que afirmaven que a partir d'un 20% de vidre com a substitut de la sorra, la resistència a compressió es veia greument afectada.

Consideracions: Es va utilitzar en tots els casos el mateix tipus de ciment CEM II/B-L 32,5N i una relació a/c efectiva de 0,75.

▪ Fase 2

Motivació: Finalitzada la fase anterior, sense poder extreure'n unes conclusions satisfactòries, es decideix ampliar el mostreig del percentatge de vidre substitut de la sorra, reduint la relació efectiva a/c a 0,65.

Objectiu: Determinar la resistència a compressió de les diferents mostres al cap de 28 dies, per tal d'obtenir dades més fiables i estrènyer amb exactitud l'interval on la utilització del vidre en substitució de la sorra resulta més òptima.

Consideracions: En alguns casos, es manté aquesta relació al 0,75 per tal d'estudiar la influència de la relació a/c en la dosificació del formigó elaborat amb vidre.

▪ **Fase 3**

Motivació: Analitzats els resultats de la segona fase de l'estudi, es conclou que l'interval on la utilització de vidre reciclat en substitució de la sorra per a l'elaboració de formigons, correspon al rang compres entre el 0 i el 10%, de forma que es realitzen dosificacions del 2, 4, 6, 8 i 10%.

Objectiu: Determinar les següents característiques de l'interval d'assaig:

- La resistència a compressió.
- La densitat.
- L'absorció d'aigua, la densitat i la porositat accessible a l'aigua del formigó.
- La resistència a la humectació-gel-assecatge.
- La resistència de la velocitat de penetració de la carbonatació.
- L'absorció d'aigua per capil·laritat.
- L'abració.
- La consistència.

Del plantejament sobre les fases experimentals executades, es pot apreciar la intenció d'una evolució en l'obtenció de resultats i profunditat de l'estudi.

D'aquesta manera, la primera fase va servir per determinar el mètode de dosificació més adequat a partir dels resultats obtinguts i establir les directrius de l'estudi. Així doncs, es va poder corregir la dosificació i analitzar la influència del percentatge de vidre en les propietats del formigó, tal com es planteja en la segona i la tercera fase.

5.2.2. Caracterització dels materials

Amb l'obtenció dels diferents tipus de vidre de l'estudi, el següent pas era determinar les propietats dels materials utilitzats en la fase experimental. Un cop caracteritzats tots els components, calia definir les dosificacions dels formigons posteriorment fabricats i, finalment, assajar les provetes per caracteritzar els formigons.

A continuació es mostren les propietats més importants de cada un dels materials utilitzats en la fabricació dels formigons.

Aigua

L'aigua utilitzada en el procés de fabricació del formigó i en els posteriors assaigs, és aigua extreta del laboratori de materials de construcció de la Universitat de Girona. No s'ha procedit a l'anàlisi de la mateixa degut a que es tracte d'aigua potable.⁵

⁵ S'eximirà de la realització d'assaigs i anàlisis de l'aigua quan aquesta sigui potable provinent de la xarxa de subministrament, segons l'article 85.5 de la EHE-08.

Ciment

En les tres fases es va utilitzar ciment CEM II/B-L 32,5 N, les propietats del qual es detallen a continuació:

Propietats	
Composició en massa	CEM II/B-L 32,5 N
Clínquer	65-79%
Calcària	21-35%
Components minoritaris	0-5%
Exigències químiques	
Sulfats	≤ 3,5%
Clorurs	≤ 0,10%
Crom (IV) soluble en aigua	≤ 2 ppm.
Exigències mecàniques	
Resistència a compressió a 7 dies	≥ 16 MPa
Resistència a compressió a 28 dies	32,5 ≤ Rc ≤ 52,5 MPa
Propietats físiques	
Inici d'enduriment	≥ 75 minuts
Expansió (Le Chatelier)	≤ 10 mm.

Taula 2: Propietats físic-químiques del ciment utilitzat per a la fabricació del formigó. Font: Lafarge

Àrids naturals i vidre

Tots els àrids utilitzats en la fabricació de formigons, tan la sorra natural com la graveta, són d'origen calcari i provenen de l'empresa Àrids Costabella Freixas, S.L.

El vidre utilitzat prové d'envasos d'origen domèstic, als quals s'ha realitzat un procés d'adequació per tal d'eliminar-ne les impureses.

Distribució granulomètrica

Davant el fet de no disposar de la documentació pròpia dels materials, es va determinar la distribució granulomètrica dels àrids utilitzats conforme al resultat de la norma UNE-EN 933-1: 1998 "Determinació de la granulometria dels àrids".

Tamís (mm)	Sorra	Graveta	Vidre en pols (esferes de vidre)	Vidre de mida inferior a 4 mm	Vidre de mida entre 4 i 8 mm
63	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
31,5	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
16	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
8	100,00	13,77	100,00	100,00	100,00
4	100,00	0,50	100,00	99,66	0
2	95,26	0,20	100,00	60,55	0
1	59,95	0,19	100,00	31,95	0
0,5	25,77	0,18	76,39	16,92	0
0,25	8,46	0,14	14,25	8,50	0
0,125	2,60	0,09	0,40	4,27	0
0	0	0	0	0	0

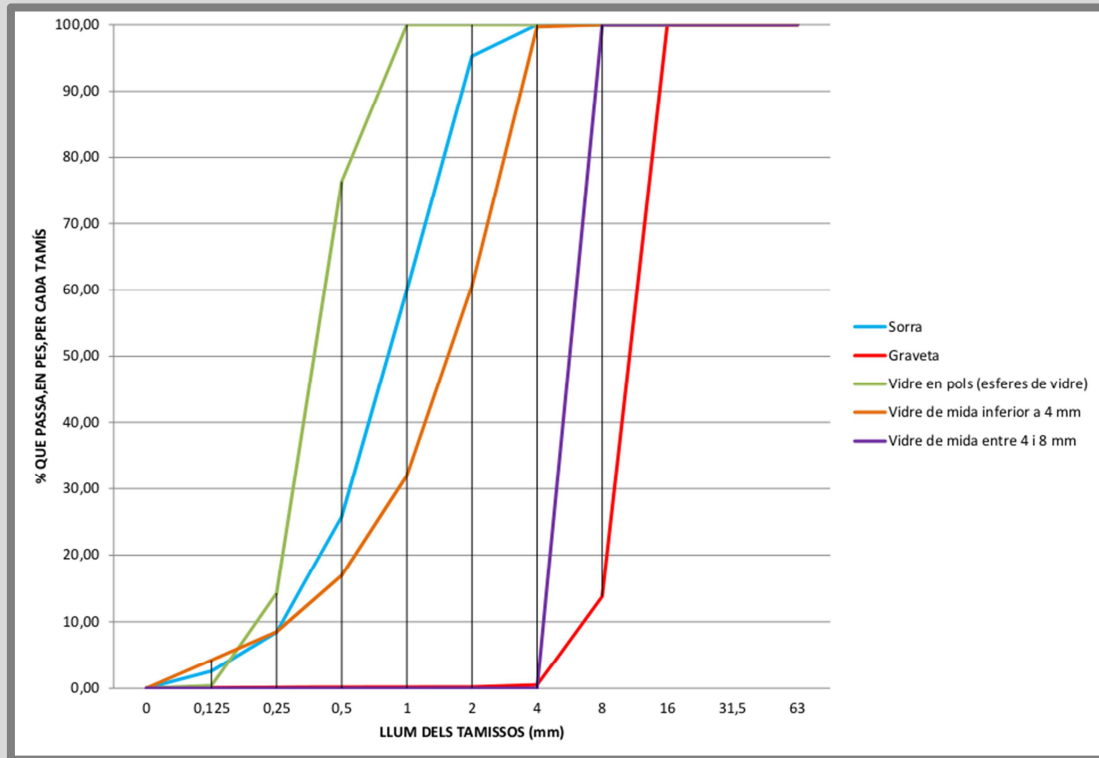
Mòdul Granulomètric	3,08	6,85	2,09	3,78	6,00
----------------------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

Mida màxima dels àrids	4	16	1	4	8
-------------------------------	----------	-----------	----------	----------	----------

Taula 3: Àrids de l'estudi (% que passa, en pes, per cada tamís) . Font: Pròpia

Després d'assajar les mostres granulars, podem observar les següents determinacions:

- La mida màxima de l'àrid utilitzat per a la fabricació del formigó a assajar és de 16 mm, corresponent a la graveta. Per tant, sigui quin sigui el vidre utilitzat, la graveta serà l'àrid de major mida.
- El mòdul granulomètric de la sorra se situa entre el de vidre en pols format a base d'esferes i el triturat de mida inferior a 4 mm. D'aquests dos, el vidre triturat és el més assimilable a la sorra, ja que disposa d'una granulometria i composició granular més pròxima i semblant.



Gràfic 1: Corba granulomètrica dels àrids utilitzats en l'estudi. Font: Pròpia

Un cop estudiats els components, el següent pas consisteix en avaluar el percentatge ideal de cadascun d'ells en l'elaboració del formigó d'assaig, en el que es coneix com la dosificació.

5.2.3. Fabricació del formigó

Dosificació

Una de les relacions més importants alhora de fabricar un formigó, és determinar quina dosificació és farà servir, i la seva importància és cabdal alhora de que un formigó tingui les majors prestacions possibles. De fet, la dosificació es pot extrapolar al que a la cuina coneixem com la recepta, i paral·lelament a com un cuiner tria els ingredients i en pesa les diferents quantitats alhora de preparar un plat; en la fabricació del formigó és igualment necessari determinar els components i les quantitats que el formaran.

Per tal de que els components del formigó s'uneixin de forma eficaç, s'ha de relacionar la granulometria dels diferents components. En aquest cas, després d'estudiar el model teòric de Fuller, es va decidir elaborar els formigons amb el següent percentatge de càlcul:

Material	Percentatge de càlcul	
	Fase 1	Fase 2 i 3
Aigua	0,75 x ciment	0,65 x ciment
Ciment	15%	
Graveta 5/12	45 %	
Sorra	40 %	
Vidre	% sobre el total de la sorra	
Additius	Sense additius	

Taula 4: Percentatge de càlcul utilitzat en la fabricació de formigons. Font: Pròpia

Com es pot observar, al finalitzar la primera fase, la dosificació va sofrir una variació pel que respecte a la quantitat d'aigua. La relació efectiva a/c era massa elevada i es va reduir fins a un 65%, per tal d'obtenir una consistència de treball més seca, i consegüentment un augment significatiu de la resistència a compressió. Seguint el criteris descrits anteriorment, es van realitzar, per cadascuna de les fases, les sèries de provetes amb les dosificacions següents:

Sèrie			Components (kg)					Total amassada (kg)
Nomenclatura	Tipus vidre	% vidre	Aigua	Ciment	Graveta	Sorra	Vidre	
A	Pols	20	1,20	1,20	3,60	2,56	0,64	8,00
B	Pols	10	0,54	0,90	2,70	2,16	0,24	6,00
C	Pols	50	0,73	0,975	2,925	1,30	1,30	6,50
D	Blanc	0	0,73	0,975	2,925	2,60	-	6,50
E	m<4	20	0,73	0,975	2,925	2,08	0,52	6,50
F	Pols	100	0,73	0,975	2,925	-	2,60	6,50

Taula 5: Dosificació dels formigons fabricats en la primera fase. Font: Pròpia

Durant la primera fase, es va produir una variació del pes de l'amassada elaborada. Aquest ajust es correspon a l'optimització de la quantitat necessària de formigó per a realitzar les provetes degut a que per fabricar tres provetes, inicialment es van realitzar 8 kilograms d'amassada. Però un cop emmotllat el formigó, la quantitat sobrant va resultar tan elevada que es va anar ajustant la seva elaboració per tal de produir un residu mínim en la fabricació de cada sèrie.

En la segona fase es va optar per realitzar formigons amb fins un 50% de vidre com a substitut de la sorra, per tal d'aprofundir en l'estudi i obtenir dades més fiables de resistència a compressió.

Sèrie			Components (kg)					Total amassada (kg)
Nomenclatura	Tipus vidre	% vidre	Aigua	Ciment	Graveta	Sorra	Vidre	
A-0	Blanc	0	0,67	1,035	3,105	2,760	-	6,90
A-0 (0,75 a/c)	Blanc	0	0,67	1,035	3,105	2,760	-	6,90
A-10	Pols	10	0,67	1,035	3,105	2,484	0,276	6,90
A-10 (0,75 a/c)	Pols	10	0,67	1,035	3,105	2,484	0,276	6,90
A-20	Pols	20	0,67	1,035	3,105	2,208	0,552	6,90
A-20 (0,75 a/c)	Pols	20	0,67	1,035	3,105	2,208	0,552	6,90
A-30	Pols	30	0,67	1,035	3,105	1,932	0,828	6,90
A-40	Pols	40	0,67	1,035	3,105	1,656	1,104	6,90
B-10	m<4	10	0,67	1,035	3,105	2,484	0,276	6,90
B-20	m<4	20	0,67	1,035	3,105	2,208	0,552	6,90
B-30	m<4	30	0,67	1,035	3,105	1,932	0,828	6,90
B-40	m<4	40	0,67	1,035	3,105	1,656	1,104	6,90
B-50	m<4	50	0,67	1,035	3,105	1,380	1,380	6,90
C-10	4<m<8	10	0,67	1,035	3,105	2,484	0,276	6,90
C-20	4<m<8	20	0,67	1,035	3,105	2,208	0,552	6,90
C-30	4<m<8	30	0,67	1,035	3,105	1,932	0,828	6,90
C-40	4<m<8	40	0,67	1,035	3,105	1,656	1,104	6,90
C-50	4<m<8	50	0,67	1,035	3,105	1,380	1,380	6,90

Taula 6: Dosificació dels formigons fabricats en la segona fase. **Font:** Pròpia

Un cop analitzats els resultats de l'assaig de resistència a compressió de les sèries de provetes d'aquesta fase, es va estudiar l'interval 0-10% de vidre utilitzat com a substitut de la sorra, elaborant-se les dosificacions que es mostren a continuació.

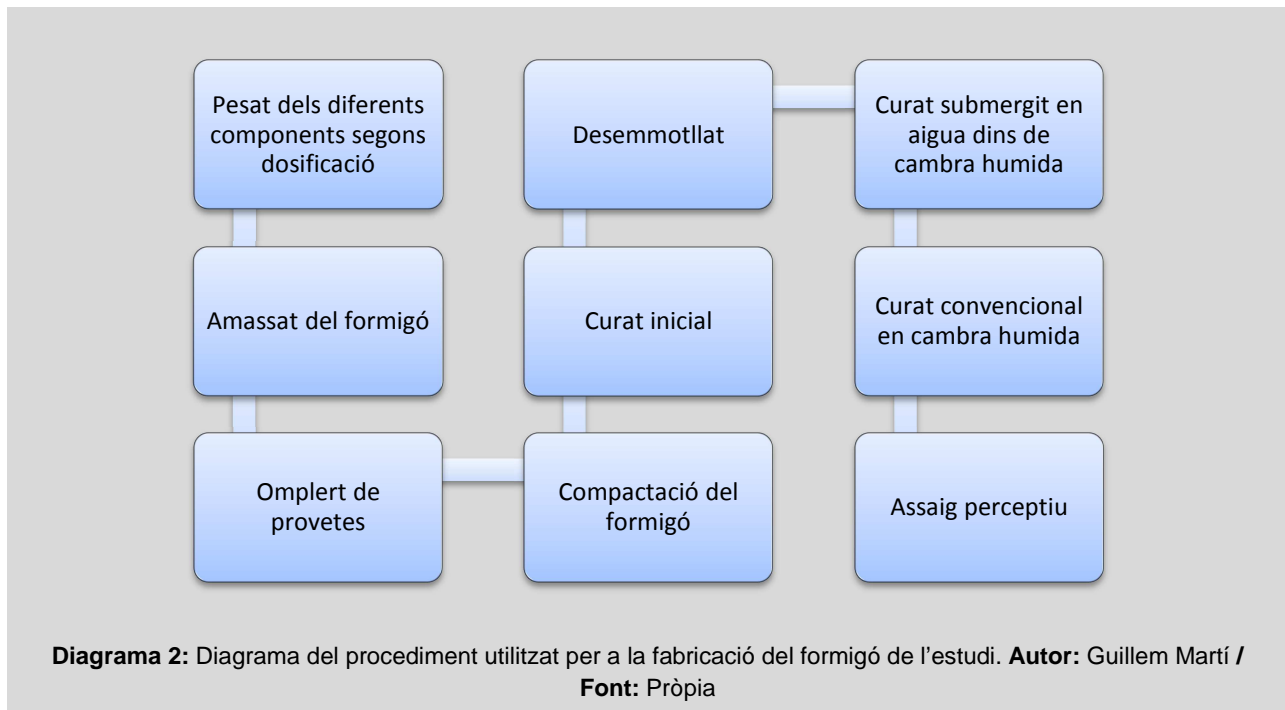
Sèrie			Components (kg)					Total amassada (kg)
Nomenclatura	Tipus vidre	% vidre	Aigua	Ciment	Graveta	Sorra	Vidre	
A-0	Blanc	0	0,67	1,035	3,105	2,760	-	6,90
A-2	Pols	2	1,34	2,070	6,210	5,410	0,110	13,80
A-4	Pols	4	1,34	2,070	6,210	5,299	0,221	13,80
A-6	Pols	6	1,34	2,070	6,210	5,189	0,331	13,80
A-8	Pols	8	1,34	2,070	6,210	5,078	0,442	13,80
A-10	Pols	10	1,34	2,070	6,210	4,968	0,552	13,80
B-2	m<4	2	1,34	2,070	6,210	5,410	0,110	13,80
B-4	m<4	4	1,34	2,070	6,210	5,299	0,221	13,80
B-6	m<4	6	1,34	2,070	6,210	5,189	0,331	13,80
B-8	m<4	8	1,34	2,070	6,210	5,078	0,442	13,80
B-10	m<4	10	1,34	2,070	6,210	4,968	0,552	13,80
C-2	4<m<8	2	1,34	2,070	6,210	5,410	0,110	13,80
C-4	4<m<8	4	1,34	2,070	6,210	5,299	0,221	13,80
C-6	4<m<8	6	1,34	2,070	6,210	5,189	0,331	13,80
C-8	4<m<8	8	1,34	2,070	6,210	5,078	0,442	13,80
C-10	4<m<8	10	1,34	2,070	6,210	4,968	0,552	13,80

Taula 7: Dosificació dels formigons fabricats en la tercera fase. Font: Pròpia

L'estudi del mòdul teòric de Fuller, juntament amb el gràfic granulomètric de cadascun dels formigons elaborats en les diferents fases, es poden consultar en el capítol 12.1., corresponent al volum II dels annexos d'aquest document.

Fabricació, omplert de provetes i compactació

El procés de fabricació del formigó del present estudi es correspon amb el diagrama següent:



Realitzat amb les condicions següents:

Lloc de fabricació del formigó:	Laboratori de Materials de la Construcció del departament d'Arquitectura i Enginyeria de la Construcció de l'Escola Politècnica Superior de la Universitat de Girona		
Data de fabricació:	De gener a maig del 2015		
Mètode de fabricació:	Mescladora de morters de 550W i 0/2600 rpm		
Motlles utilitzats:	Cúbics de 10x10x10 cm de costat. La utilització de motlles cúbics ve motivada per una major facilitat d'ús, menor volum d'omplert i inexistència de refrentat respecte a provetes de tipus cilíndric.		
Normativa de referència:	UNE-EN 12390-2:2009 "Assaigs de formigó endurit. Part 2: Fabricació i curat de provetes per a assajos de resistència".		
Nombre de provetes fabricades			
Fase	Núm. de sèries	Provetes per sèrie	Provetes totals
1	6	3	18
2	18	3	54
3	16	6	96
Total de provetes fabricades			168

Taula 8: Condicions de fabricació de cadascuna de les dosificacions utilitzades en el projecte. **Font:** Pròpia

Les diferents fases del procés de fabricació es desenvolupen segons les consideracions següents:

Procés de fabricació	
Pesat dels diferents components segons dosificació	És necessari pesar els diferents components per tal de complir amb les dosificacions determinades. <u>Consideracions:</u> No s'han assecat a estufa els materials utilitzats, en primer lloc perquè aquests disposaven d'unes condicions de acopi idònies i assimilables a la d'un material sense hidratació i, en segon lloc, per la gran quantitat de material necessari per a la fabricació de les provetes que hagués limitat si cap més la utilització de l'estufa del laboratori.
Amassat del formigó	Davant la necessitat d'elaborar poc més de 6 kg per a cada dosificació es decideix utilitzar el sistema de pastat comentat anteriorment per facilitar el procés. <u>Ordre de pastat (invariable):</u> 1. S'inicia amb la barreja de l'aigua i part de la sorra. 2. Addició del ciment i barreja. 3. Addició de la sorra restant i el vidre 4. Per últim, s'afegeix la graveta en tongades sense deixar de batre, i el procés finalitza quan s'obté un material homogeni.
Omplert de les provetes	<u>Consideracions prèvies:</u> Impregnar les parets i la base dels motlles amb oli desencofrant per facilitar el procés de desemmotllat. <u>Procediment:</u> Emplenar el motlle per capes precedides de la corresponent compactació. Un cop omplertes, és necessari enrasar la cara superior dels motlles perquè quedi el més llisa possible.
Compactació	<u>Procediment:</u> colpejar a cada tongada els motlles per la seva part exterior amb una maça amb l'objectiu d'expulsar l'aire reclòs en el formigó i realitzar una compactació d'aquest. <u>Consideracions:</u> La compactació s'efectua immediatament després de l'abocament del formigó en el motlle, de manera que s'obtingui una compactació completa sense una excessiva segregació, ni aparició d'un flux de beurada en excés.

Taula 9: Característiques del procés de fabricació de cadascuna de les dosificacions utilitzades en el projecte.

Font: Pròpia



Imatge 14: Pesada dels diferents components del formigó. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia



Imatge 15: Addició de vidre en pols en la fabricació de formigó. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia



Imatge 16: Procés de barreja de l'assada del formigó mitjançant màquina per a morters. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia



Imatge 17: Aplicació del producte desemmotllant a les cares interiors del motlle. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia



Imatge 18: Colpejat del motlle amb maça i enrasat de la cara superior. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

La compactació s'ha d'efectuar immediatament després de l'abocament del formigó en el motlle.



Imatge 19: Formigó després de la fase d'emmotllat, correctament identificat. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

Per finalitzar, s'identifica cadascuna de les provetes amb el seu corresponent etiquetat, on es fa constar també la data en que ha estat emmotllat.

Conservació, desemmotllatge i transport de les provetes

Curat	
Consideracions prèvies	No s'ha pogut disposar de la cambra humida a 20°C i 95% d'humitat davant la confluència de diferents estudis amb necessitat d'utilització de la mateixa. Durant l'estudi, les condicions de la cambra humida han estat de 20°C i 65% d'humitat.
Curat inicial	Conservació de les provetes encara emmotllades durant 2 dies fora de cambra, en condicions ambientals de laboratori. Durant aquesta fase, les provetes es conserven cobertes amb una làmina plàstica per evitar la deshidratació de la superfície del formigó.
Desemmotllat	Transcorreguts els primers dos dies, es desemmotllen les provetes mitjançant grup de pressió d'aire comprimit equipat amb pistola.
Curat submergit en aigua dins la cambra humida	Posteriorment al desemmotllat, les provetes es submergeixen en aigua a 20°C durant 3 dies.
Curat convencional en cambra humida	Per finalitzar el procés de curat, aquestes s'extreuen de l'aigua i es deixen assecar en condicions de cambra humida.

Taula 10: Característiques del procés de fabricació de cadascuna de les dosificacions utilitzades en el projecte.

Font: Pròpia

El procés de conservació de les provetes ha consistit en tres fases:



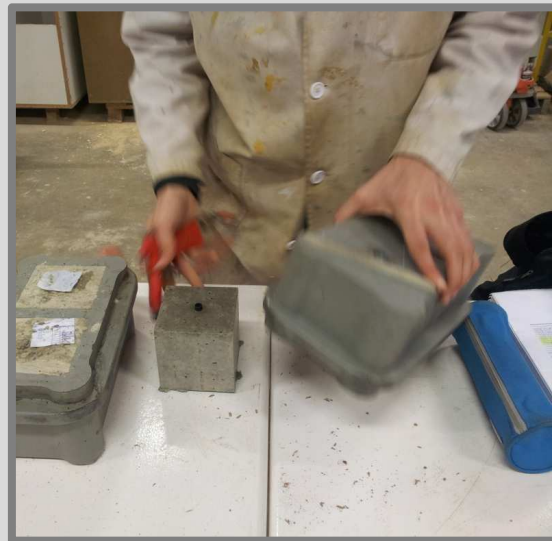
Imatge 20: Conservació del formigó 0-48 hores. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

Transcorregudes 48 hores s'han extret les provetes i marcat de manera que no s'alteressin les superfícies que havien d'estar en contacte amb els plats de la premsa d'assaig.



Imatge 21: Equip d'aire a pressió i pistola de desemmotllat. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

El desemmotllat de les mostres es realitza mitjançant un equip d'aire a pressió amb acoblament d'una pistola especial per a provetes de formigó.



Imatge 22: Acoblament pistola al motlle i extracció de la proveta del motlle. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

El procediment consisteix en situar la boca de la pistola a l'orifici de la cara inferior del motlle i, mitjançant l'aire a pressió, la proveta lliscarà ajudada per l'acció del desencofrant utilitzat durant l'emmotllament.



Imatge 23: Marcat amb retolador permanent de les provetes de formigó després del desemmotllat. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

Posteriorment, les provetes s'han transportat a la cambra humida, on s'han emmagatzemat tres dies més submergides en aigua, dins un recipient de plàstic.



Imatge 24: Conservació provetes submergides en aigua entre 48-120 hores. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

Transcorregut aquest període, s'han extret de l'aigua i mantingut en condicions estacionàries d'uns 20°C i uns 65% d'humitat, fins a la data indicada per la realització de l'assaig.



Imatge 25: Conservació de les provetes de formigó dins cambra humida. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

Resum del procés de preparació de les mostres

A continuació es mostra una taula resum del procés utilitzat per a la producció de les mostres.

Fase	Tasca	Descripció	Duració
Fabricació	Pesat del ciment, la sorra, la graveta, el vidre i l'aigua.	Es pesen els diferents components del formigó d'acord a les dosificacions establertes.	20 minuts
	Pastat	És important mantenir la metodologia de confecció de l'argamassa.	10 minuts
Omplert, compactació i desemmotllat de provetes	Omplert de provetes	Consideracions prèvies: Impregnar d'oli l'interior dels motlles cúbics per facilitar el posterior desencofrat. L'omplert s'ha de realitzar per tongades. Per finalitzar, s'enrasa la cara superior deixant-la el més llisa possible.	10 minuts
	Compactació	Entre capes s'ha de colpejar el motlle amb una maça per afavorir el compactat.	
	Desemmotllat	Passades 48 hores es desencofren les provetes mitjançant un equip d'aire a pressió.	5 minuts
Temps invertit en la fabricació			45 minuts
Conservació	Curat inicial	Inicialment, les provetes es conserven emmotllades fora de la cambra durant dos dies, a condicions de laboratori i cobertes per una làmina plàstica per evitar la deshidratació del formigó.	2 dies
	Curat submergit en aigua dins de cambra humida	Després de desemmotllar les provetes, es submergeixen en uns recipients plens d'aigua ubicats a l'interior de la cambra de conservació.	3 dies
	Curat convencional en cambra humida	Finalitzat el curat submergit en aigua, s'extreuen dels recipients i es deixen assecar en condicions de 20°C i 65% d'humitat.	2 / 23 dies
Temps invertit en la conservació			7 / 28 dies

Taula 11: Resum del procés de fabricació de cadascuna de les dosificacions utilitzades en el projecte. **Font:** Pròpia

Marcatge de les provetes

Es va establir un codi per classificar les provetes i saber en quin moment era necessari el seu canvi de fase en el procés de conservació i en els corresponents assajos.

El criteri és uniforme en les fases experimentals dos i tres de l'estudi. Aquest es basa, principalment, en diferenciar el tipus de vidre utilitzat per a la realització del formigó i el percentatge de vidre reciclat com a substitut de la sorra. D'aquesta manera es troben les següents nomenclatures:

- A-0, (Blanc): Formigó convencional fabricat amb àrids naturals sense substitució de la sorra per vidre reciclat.
- A-X%: Formigó amb vidre en pols, amb una substitució del X% en pes de la sorra per vidre.
- B-X%: Formigó amb vidre provinent d'envasos, amb una mida inferior a 4 mm, amb una substitució del X% en pes de la sorra per vidre.
- C-X%: Vidre provinent d'envasos, amb una mida entre 4 i 8 mm, amb una substitució del X% en pes de la sorra per vidre.

6. PROCÉS EXPERIMENTAL

En aquest capítol es desenvolupen i detallen els assaigs realitzats sobre el formigó fresc i el formigó endurit a diferents edats de maduració, així com els resultats obtinguts d'aquests assajos i les observacions corresponents a aquests.

Els assaigs que es van dur a terme sobre formigons en aquest estudi van ser els següents:

- Resistència a compressió.
- Densitat.
- Absorció d'aigua, densitat i porositat accessible a l'aigua del formigó.
- Absorció d'aigua per capil·laritat.
- Resistència de la velocitat de penetració de la carbonatació.
- Resistència a la humectació-gel-assecatge.
- Abrasió.
- Consistència.

A continuació es detallen els assaigs realitzats en cadascuna de les fases descrites en aquest estudi:

- Fase 1

Assaigs de compressió a l'edat de 7 dies.

- Fase 2

Assaigs de compressió i densitat a l'edat de 28 dies.

- Fase 3

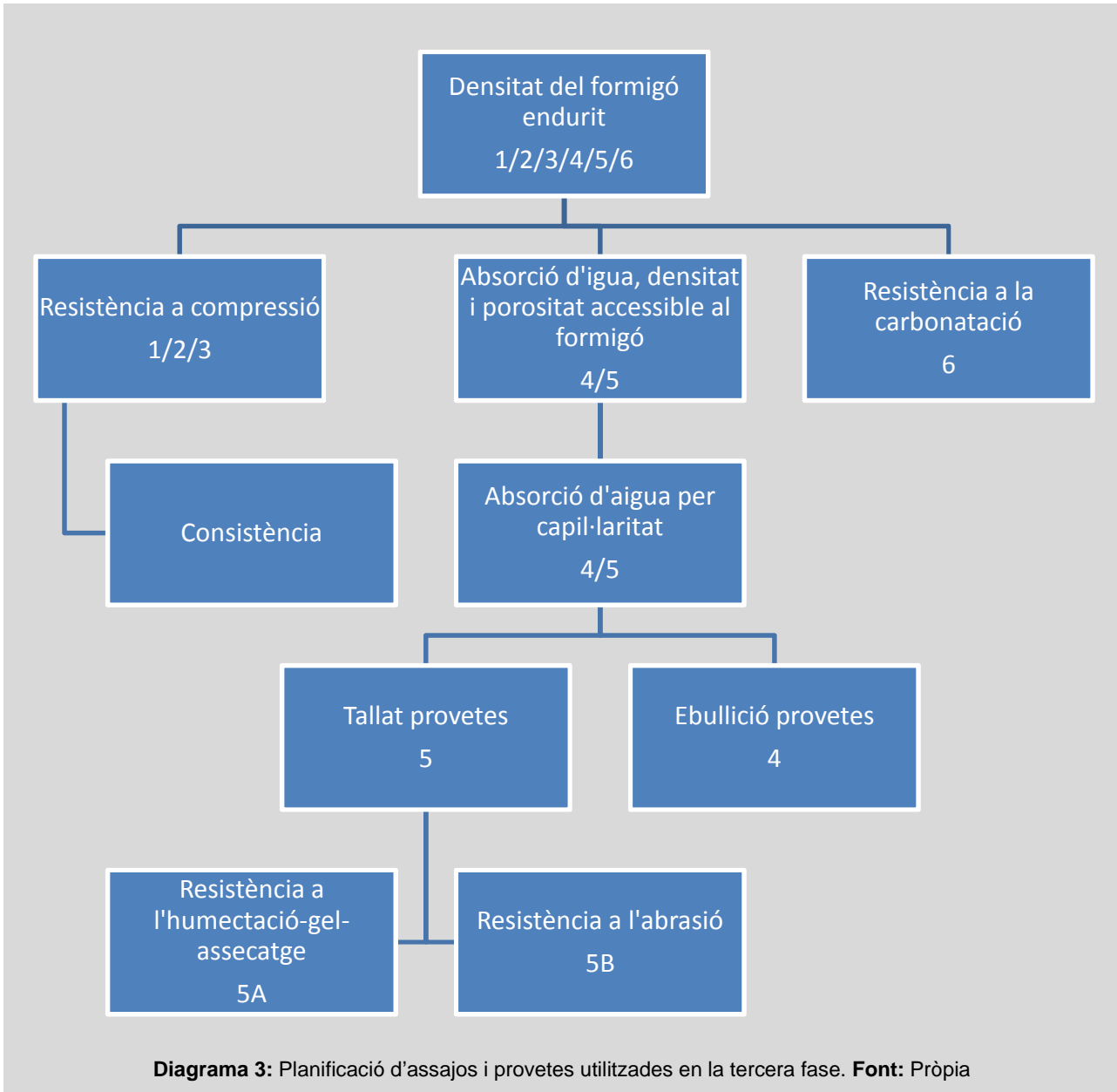
Assaigs de compressió a l'edat de 28 dies. També es va determinar l'absorció d'aigua, densitat i porositats accessible a l'aigua del formigó, resistència a la humectació-gel-assecatge, resistència de la velocitat de penetració de la carbonatació, absorció d'aigua per capil·laritat, abrasió i assaig de consistència.

Ús les provetes en els diferents fases

En la primera i segona fase, el baix nombre d'assaig duts a terme, no presentaven complicacions alhora de programar els assajos. Per contra, la tercera fase presentava un nombre major de mostres a assajar i la necessitat d'organitzar i preveure correctament els assajos planificats i les provetes que els havien de dur a terme.

D'aquesta manera, quan la mateixa proveta havia de ser utilitzada en diferents assaigs, els que es realitzaven en primera instància eren els no destructius, per tal de no comprometre les característiques de les mostres i permetre una interpretació dels resultats vàlida.

A continuació es mostra el diagrama d'assajos de les diferents provetes per tal de comprendre quin ha estat el procediment utilitzat al respecte.



Com es pot observar, la tercera fase està configurada per un nombre elevat d'assajos. Per tal de reduir el nombre de provetes a fabricar, es va optar per realitzar assajos amb les mateixes provetes, realitzant primerament els de caràcter no destructiu, i fins i tot tallar una de les provetes per tal de realitzar dos assajos⁶.

⁶ En l'assaj de resistència a la humectació-gel-assecatge i el de resistència a l'abració es van utilitzar la meitat d'una de les provetes.

6.1. ASSAIG DE DETERMINACIÓ DE LA RESISTÈNCIA A COMPRESSIÓ DE LES PROVETES

INTRODUCCIÓ

Objectiu de l'assaig:	Determinar la resistència a compressió de les mostres		
Tipologia:	Assaig destructiu		
Normativa de referència:	Norma UNE-EN 12390-3:2009 "Assaigs de formigó endurit. Part 3: Determinació de la resistència a compressió de provetes".		
Resum del procediment:	Les provetes es comprimeixen fins a col·lapse en una màquina d'assaig a compressió conforme a norma. Es registra la càrrega màxima de cada proveta per calcular-ne la resistència.		
Provetes a assajar:	3 provetes cúbiques per cada dosificació		
Màquina:	Premsa universal de 60 tones i software PCD2K		
Velocitat de càrrega:	0,30 tones/segon		
Nombre de provetes assajades			
Fase	Núm. de sèries	Provetes per sèrie	Provetes totals
1	6	3	18
2	18	3	54
3	16	3	48
Total de provetes fabricades			120

Taula 12: Taula introductòria de l'assaig de resistència a compressió. Font: Pròpia

6. PROCÉS EXPERIMENTAL

L'assaig de determinació de la resistència a compressió⁷ consisteix en aixafar les provetes aplicant una càrrega fins a la ruptura de les mateixes, en una màquina de premsar com la de la imatge següent:



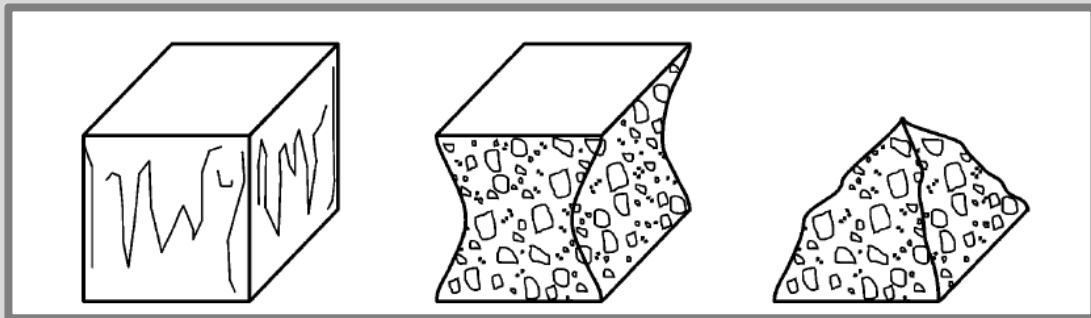
Imatge 26: Premsa universal de 60T. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

Posteriorment, es calcula la resistència a compressió (dividint la càrrega màxima de ruptura entre l'àrea transversal de la proveta), expressada en MPa (N/mm^2).

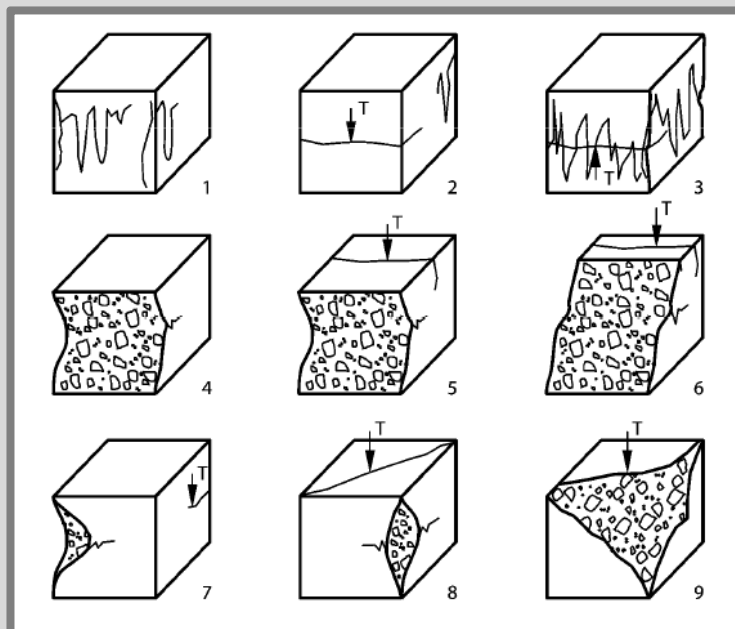
⁷ La resistència a compressió és l'esforç màxim que és capaç de suportar un material quan està sotmès a una càrrega d'aixafament.

6. PROCÉS EXPERIMENTAL

La norma específica que també s'ha de valorar el tipus de ruptura de la proveta, fent-se constar la referència al tipus de ruptura més similar en cas de tractar-se d'una ruptura no satisfactòria.



Imatge 27: Ruptures satisfactòries en provetes cúbiques. Font: UNE-EN 12390-3:2009



Imatge 28: Ruptures no satisfactòries en provetes cúbiques. Font: UNE-EN 12390-3:2009 (AC 2011)

EQUIP

- Màquina d'aplicació de la càrrega i enregistrament de dades de la universitat (Premsa universal de 60T).

PROCEDIMENT

El procediment que s'ha utilitzat per realitzar l'assaig ha estat el següent:



Per iniciar l'assaig, es retiren les provetes de la cambra humida després d'haver transcorregut el procés de curat.

Amb el propòsit de que les mostres no es vegin afectades pel canvi bruscat de condicions, és important permetre el seu aclimatament a la temperatura i humitat del laboratori, durant un període no inferior a l'hora.

Arribats a aquest punt, l'assaig pot iniciar-se.

Primerament, cal assegurar-se que els plats de la màquina estan nets, eliminant-se en cas contrari qualsevol residu provinent d'altres mostres ja assajades. La importància d'aquesta neteja és cabdal alhora d'obtenir resultats reals i evitar que aquestes restes influeixin en l'assaig.

Després de situar la proveta correctament al seu lloc, s'aplica la càrrega de forma continua i sense salts bruscs, de manera que l'augment de tensió mitjana sobre la proveta sigui de 0,3 MPa/s ($\text{N/mm}^2\text{s}$).

6. PROCÉS EXPERIMENTAL

La velocitat de càrrega ha de ser constant fins que la proveta es deformi ràpidament abans del trencament. En acabar, es pren com a càrrega de ruptura la màxima aconseguida i es calcula la resistència a compressió del formigó.



Imatge 29: Col·locació de la proveta en la màquina d'assaig i mostra trencada després de l'assaig. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

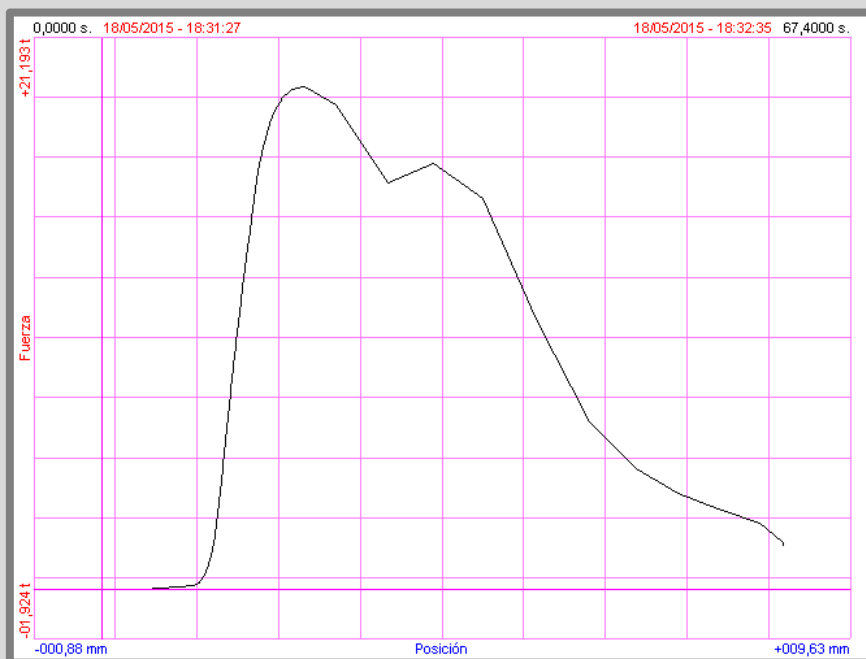


Imatge 30: Anàlisi del tipus de ruptura. Ruptura satisfactòria. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

6. PROCÉS EXPERIMENTAL



Imatge 31: Interfície de control del programa PCD2K. Font: Software PCD2K



Gràfic 2: Gràfic de l'assaig de compressió. Font: Software PCD2K

Resum de l'assaig de resistència a compressió

A continuació es mostra una taula resum del procés utilitzat en l'assaig de resistència a compressió.

Tasca	Descripció	Duració*
Extracció de provetes de la cambra en condicions de curat	Es retira la proveta de la cambra humida i es deixa aclimatar a les condicions del laboratori durant una hora.	60 minuts
Neteja de la màquina	És important mantenir neta la superfície on descansarà la mostra durant l'assaig, per tant, es neteja aquesta zona després del col·lapse de cada determinació.	-
Assaig	Posteriorment es situen la proveta a la màquina d'assaig i es comprimeix a una velocitat de 0,30 tones/s. Després del trencament de cadascuna d'elles, es comprova la tipologia de trencament	3 minuts
Temps d'assaigs		63 minuts

Taula 13: Resum del procés de fabricació de cadascuna de les dosificacions utilitzades en el projecte. **Font:** Pròpia

*La duració correspon al temps necessari d'assaig per a una sola proveta.

CÀLCULS I EXPRESSIÓ DE RESULTATS

Es determina la resistència a compressió f_c , expressada en MPa o N/mm², amb l'equació:

$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

On:

F és la càrrega màxima de ruptura, expressada en newtons;

A_c és l'àrea transversal de la proveta sobre la que actua la força de compressió, calculada a partir de les dimensions normalitzades de la proveta, expressada en mm².

S'anoten tots els resultats individuals i es calculen els valors mitjans de la resistència a compressió com la mitjana de resultats acceptables.

RESULTATS DE L'ASSAIG

A continuació es recullen tots els resultats d'aquest assaig.

Fase 1

Els valors de la resistència a compressió obtinguts en la primera fase corresponen a un formigó amb una edat de 7 dies. Per tal de poder efectuar una comparació amb el formigó a edat de 28 dies, s'han utilitzat els coeficients de conversió proposats a la EHE 1998, que es recullen a la taula 3 de l'article 30.4.

Edat del formigó, en dies	3	7	28	90	360
Formigons d'enduriment normal	0,40	0,65	1,00	1,20	1,35
Formigons d'enduriment ràpid	0,55	0,75	1,00	1,15	1,20

Taula 14: Coeficients de conversió per edat del formigó en el moment de la ruptura. **Font:** EHE-1998

Donada la taula anterior i un cop analitzades les dosificacions, obtenim els següents resultats;

Sèrie	Tipus vidre	% vidre substituït de la sorra	Núm. proveta	Resistència a compressió a 7 dies	Resistència a compressió a 28 dies utilitzant el coeficient de conversió
A	Pols	20	1	4,386	6,748
			2	4,484	6,898
			3	4,389	6,752
B	Pols	10	1	9,148	14,074
			2	8,663	13,328
			3	6,147	9,457
C	Pols	50	1	7,806	12,009
			2	8,478	13,043
			3	8,729	13,429
D	Blanc	0	1	11,369	17,491
			2	11,340	17,446
			3	11,791	18,140
E	m<4	20	1	9,787	15,057
			2	10,099	15,537
			3	10,397	15,995
F	Pols	100	1	6,453	9,928
			2	6,718	10,335

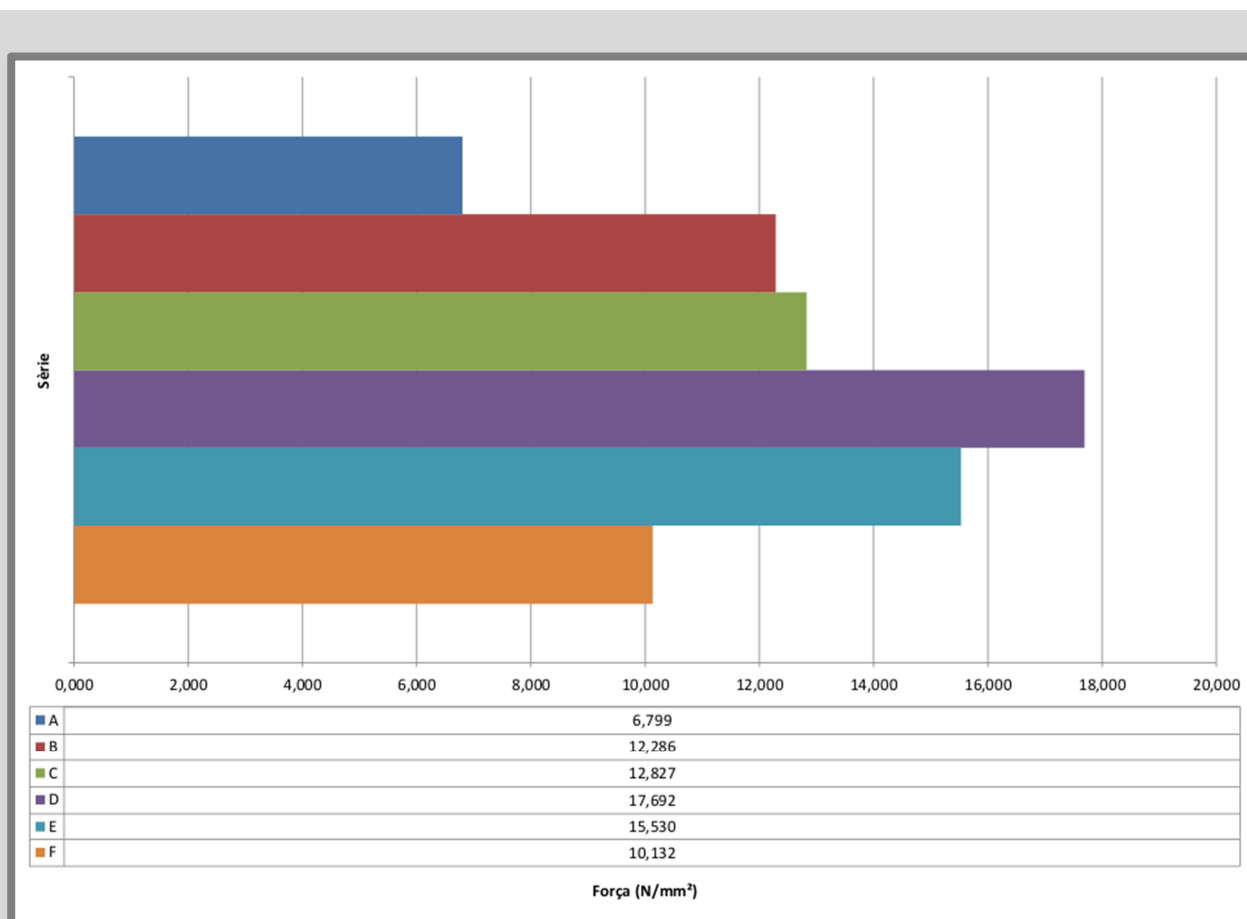
Taula 15: Valors de resistència a compressió (N/mm²) de les mostres de la primera fase. **Font:** Pròpia

Que al seu torn corresponent amb les mitjanes següents:

Sèrie	Tipus vidre	% vidre substituït de la sorra	Resistència a compressió a 7 dies	Resistència a compressió a 28 dies utilitzant el coeficient de conversió
A	Pols	20	4,420	6,799
B	Pols	10	7,986	12,286
C	Pols	50	8,338	12,827
D	Blanc	0	11,500	17,692
E	m<4	20	10,094	15,530
F	Pols	100	6,586	10,132

Taula 16: Valors mitjans de resistència a compressió (N/mm²) de les mostres de la primera fase. Font: Pròpia

I es poden comparar gràficament:



Gràfic 3: Gràfic de valors mitjans de resistència a compressió de les mostres de formigó aplicant el coeficient de conversió per a edat de 28 dies, fase 1. Font: Pròpia

Analitzant els resultats obtinguts en la primera fase, es fan les següents observacions:

- Es descarten com errònies les provetes de les sèries A i B, ja que en la seva elaboració va ser necessària l'addició de més aigua i, per tant, es va veure greument afectada la seva resistència a compressió, com queda pal·les en el gràfic anterior, on aquests dos valors són els més baixos, tot i disposar de menys vidre que d'altres dosificacions.
- S'observa que la resistència a compressió més elevada correspon a les provetes que no contenen vidre. El seu valor ($17,7 \text{ N/mm}^2$), però, és baix si el comparem amb els 25 N/mm^2 que s'estimava arribar en aquesta mostra.
- La sèrie de provetes F, on s'ha substituït la totalitat de la sorra per vidre en pols, mostren que una proveta d'aquestes característiques produeix una caiguda de la resistència pròxima al 43%, en comparació amb el blanc.
- Les mostres E realitzades amb un 20% de vidre mòlt de mida inferior a 4 mm, tenen una resistència a compressió de $15,6 \text{ N/mm}^2$ i, per tant, una caiguda de la resistència a compressió pròxima al 12%.
- Analitzant la sèrie C, obtenim una resistència pròxima als 13 N/mm^2 . Aquest resultat suposa una pèrdua de la resistència a compressió del 27,5%.

I en resum es conclou:

- Que si analitzem els resultats d'aquesta fase de forma global, en primera instància es creu que l'addició de vidre suposa una caiguda de la resistència a compressió en el formigó endurit, i no tan sols això, sinó que sembla ser que aquesta pèrdua de capacitats de resistència és proporcional a mesura que afegim vidre.
- Que el comportament de les mostres que contenen vidre en pols s'han pogut avaluar amb bastanta exactitud, al disposar de valors de substitució de sorra per vidre del 50 i 100%. No obstant això, es considera que aquests intervals encara són poc representatius. Per exemple podria donar-se el cas que en algun moment la resistència augmentés i conseqüentment, amb les dosificacions assajades, seria impossible detectar.
- Que no s'han obtingut valors representatius de les mostres elaborades amb vidre mòlt i en conseqüència no es pot afirmar que la pèrdua de capacitats i la tendència del formigó elaborat amb aquestes característiques respongui al mateix comportament que les elaborades amb el vidre en pols.

Arribats a aquest punt, es decideix:

1. Realitzar noves dosificacions prou representatives dels tres tipus de vidre.
2. Que aquestes dosificacions seran d'interval·ls del 0 al 40% en vidre en pols i el 0 al 50% en vidre mòlt.
3. Que continguin una relació aigua/ciment menor per tal d'afavorir l'augment de la resistència a compressió, tenint en compte que la consistència de treball de les provetes de la primera fase ja era bastant seca.
4. En concordança amb el punt anterior, es determina realitzar els formigons següents amb una relació del 65%.
5. Que es realitzaran 3 sèries de formigons amb vidre en pols amb una relació aigua/ciment del 75%, per comprovar si es compleix la tònica observada entre ambdues dosificacions amb diferents quantitats d'aigua.
6. Que la ruptura de les provetes es realitzarà al cap de 28 dies en comptes dels 7, per tal d'afavorir un major assecat de les provetes després del curat submergit en aigua.

D'acord amb les consideracions anteriors, es realitza la nova amassada i s'obtenen els resultats de la segona fase.

Fase 2

Un cop assajades les mostres de la segona fase s'obtenen els resultats següents:

Sèrie	Tipus vidre	Núm. proveta	% Vidre com a substitut de la sorra					
			0	10	20	30	40	50
A _(0,75 a/c)	Pols	1	16,026	13,655	14,138			
		2	15,892	14,916	16,401			
		3	16,665	14,746	16,570			
A	Pols	1	21,481	19,996	22,609	18,432	18,716	
		2	23,636	22,449	21,666	18,835	18,974	
		3	22,673	22,633	20,519	18,829	19,695	
B	m<4	1	21,481	19,395	18,445	19,364	17,190	15,168
		2	23,636	19,556	20,673	18,489	17,392	14,621
		3	22,673	19,159	19,668	20,331	18,014	15,623
C	4<m<8	1	21,481	18,903	20,049	19,395	17,106	14,480
		2	23,636	21,199	18,287	18,320	19,009	14,605
		3	22,673	19,573	19,950	18,332	17,802	14,332

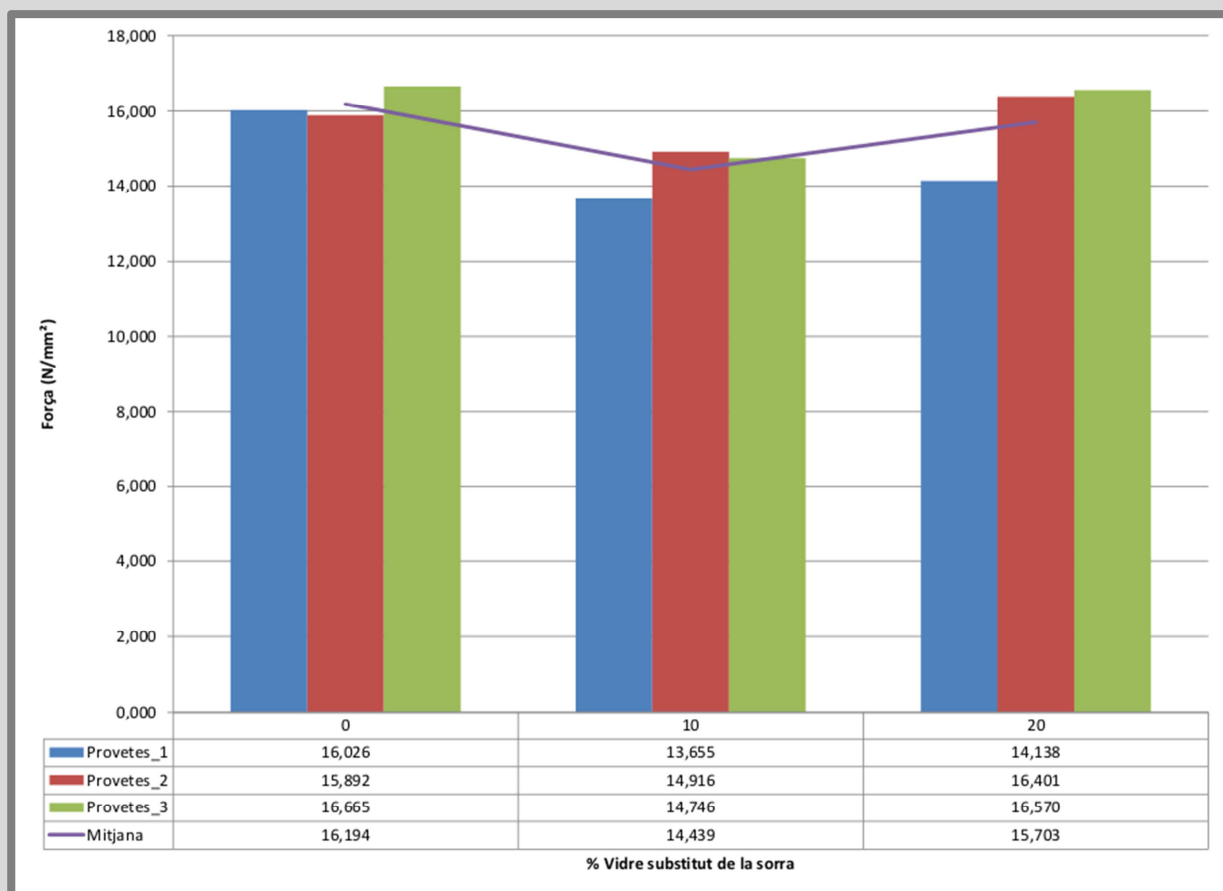
Taula 17: Valors de resistència a compressió (N/mm²) de les mostres segona fase. **Font:** Pròpia

Que es poden resumir en la taula de mitjanes següents:

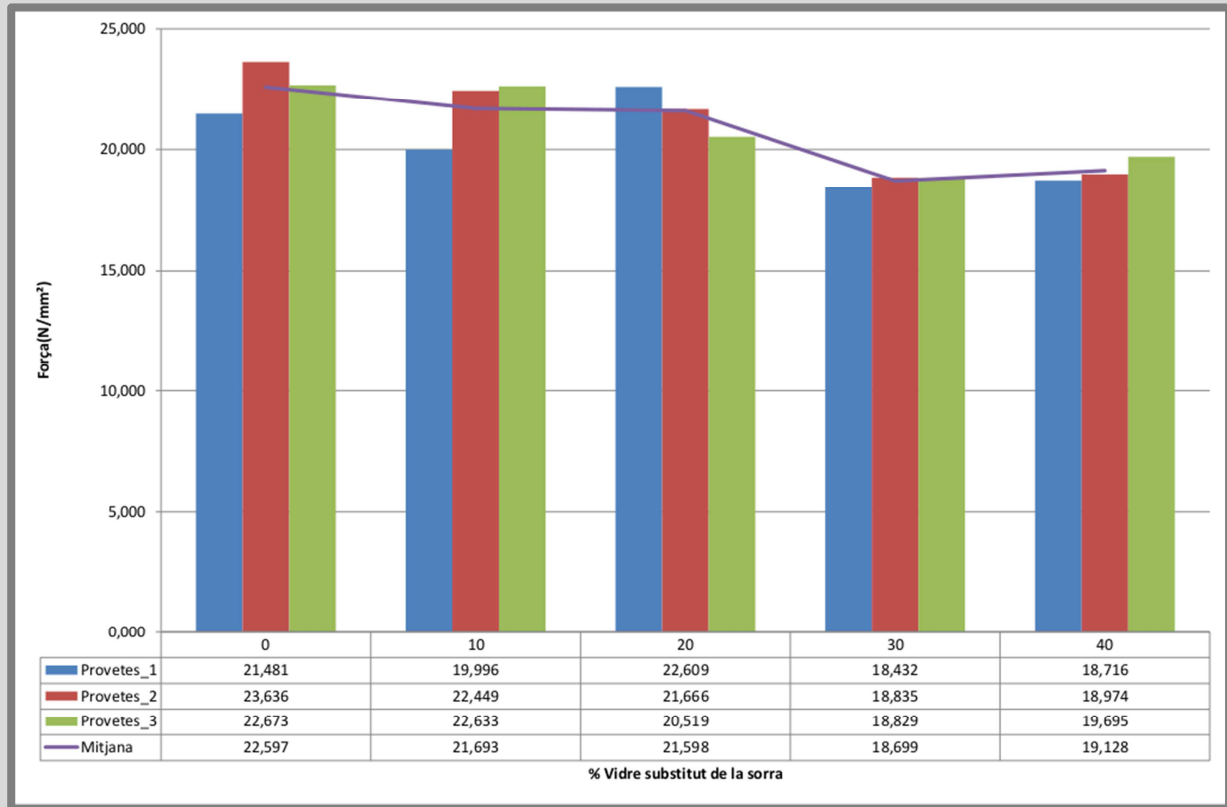
Sèrie	Tipus vidre	% Vidre com a substitut de la sorra					
		0	10	20	30	40	50
A _(0,75 a/c)	Pols	16,194	14,439	15,703			
A	Pols	22,597	21,693	21,598	18,699	19,128	
B	m<4	22,597	19,370	19,595	19,395	17,532	15,287
C	4<m<8	22,597	19,892	19,429	18,682	17,972	14,472

Taula 18: Valors mitjans de resistència a compressió (N/mm²) de les mostres de la segona fase. Font: Pròpia

Vidre en pols



Gràfic 4: Gràfic de resistència a compressió de les mostres de formigó de la sèrie A_(0,75 a/c), fase 2. Font: Pròpia



Gràfic 5: Gràfic de resistència a compressió de les mostres de formigó de la sèrie A, fase 2. Font: Pròpia

Analizant els resultats obtinguts d'aquesta tipologia de vidre es fan les següents observacions:

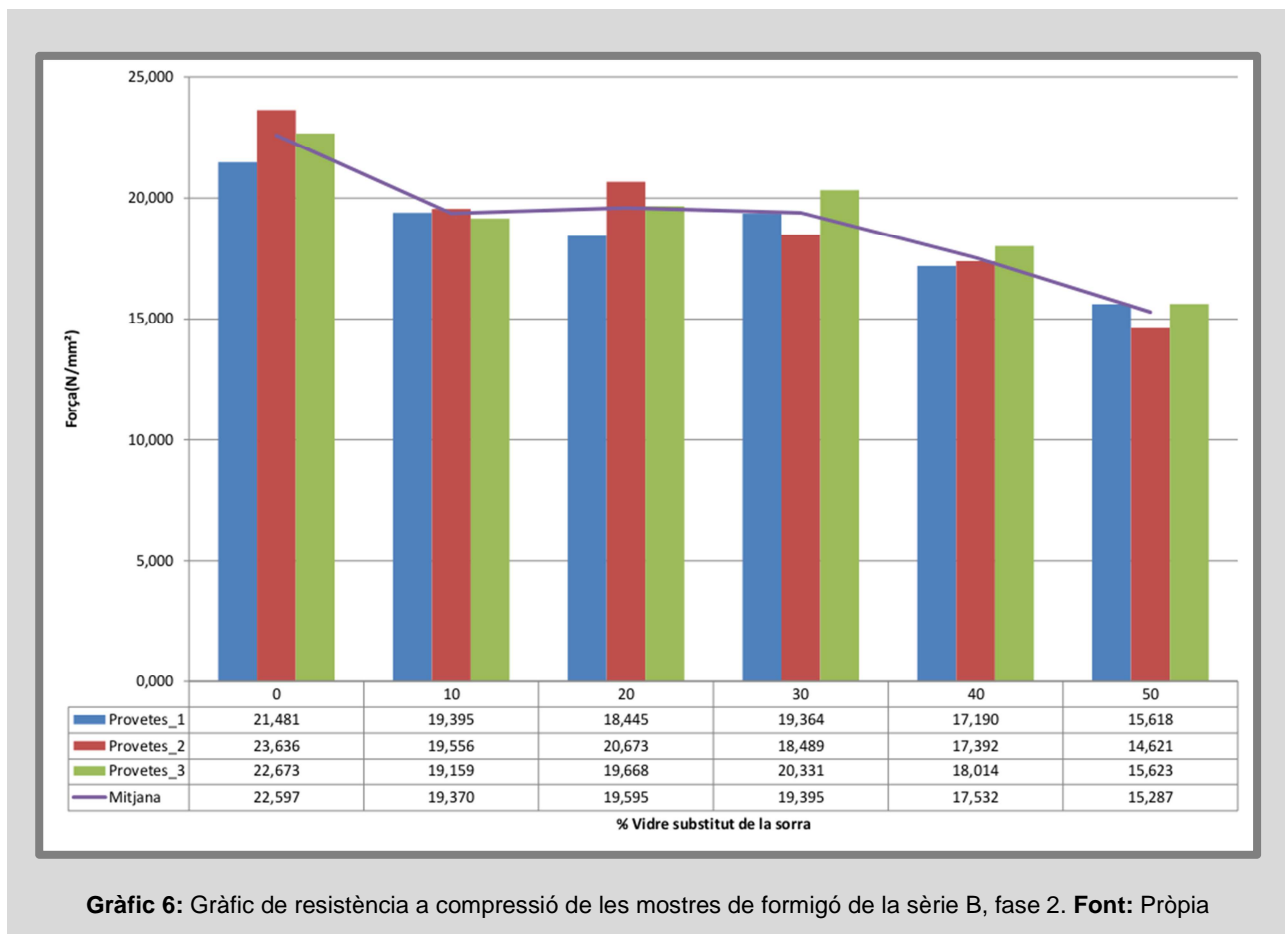
- Que la resistència a compressió del formigó sense vidre d'aquesta fase és inferior a l'estimada en la primera fase mitjançant la taula de comparació de la EHE 1998.
- Que la tendència del formigó elaborat amb aquesta tipologia d'àrid reciclat és una disminució de la resistència, tal i com s'havia determinat en la fase anterior.
- Que respecte a la resistència del formigó de referència la seva resistència s'ha vist augmentada en disminuir la relació aigua/ciment. Aquesta se situa al voltant dels 22,5 MPa, valor pròxim als 25 N/mm² plantejats segons la dosificació.
- Que la diferència de resultats obtinguts pel que respecte a aquest assaig entre formigó elaborat amb dosificacions del 65 i 75%, és pròxima als 6 MPa.
- Que d'acord amb el punt anterior, aquesta és favorable a la dosificació que disposa de menys aigua i que la diferència suposa un 30% de pèrdua de la capacitat de suportar esforços de compressió.
- Que les mostres que contenen vidre en pols tenen una caiguda de la resistència a compressió respecte al formigó convencional que es correspon amb la taula següent:

Percentatge de vidre com a substitut de la sorra	10%	20%	30%	40%
Caiguda de la resistència a compressió, en %	4,0	4,42	17,25	15,35

I en resum es conclou:

- Que la tendència del formigó elaborat amb vidre en pols és una disminució de la seva resistència a compressió quan s'augmenta el percentatge d'aquest en la seva dosificació.
- Que l'interval d'assaig on la substitució de sorra per vidre resulta més avantatjosa, és del 0 al 20%, ja que tan sols es produeix una caiguda del 4,42% respecte al formigó convencional.
- Que la caiguda de la resistència característica del formigó entre el 10 i el 20% és gairebé inapreciable.

Vidre mòlt de mida inferior a 4mm



Gràfic 6: Gràfic de resistència a compressió de les mostres de formigó de la sèrie B, fase 2. **Font:** Pròpia

Analitzant els resultats obtinguts d'aquesta tipologia de vidre es fan les següents observacions:

- Que la tendència del formigó elaborat amb aquesta tipologia d'àrid reciclat és una disminució de la resistència.

6. PROCÉS EXPERIMENTAL

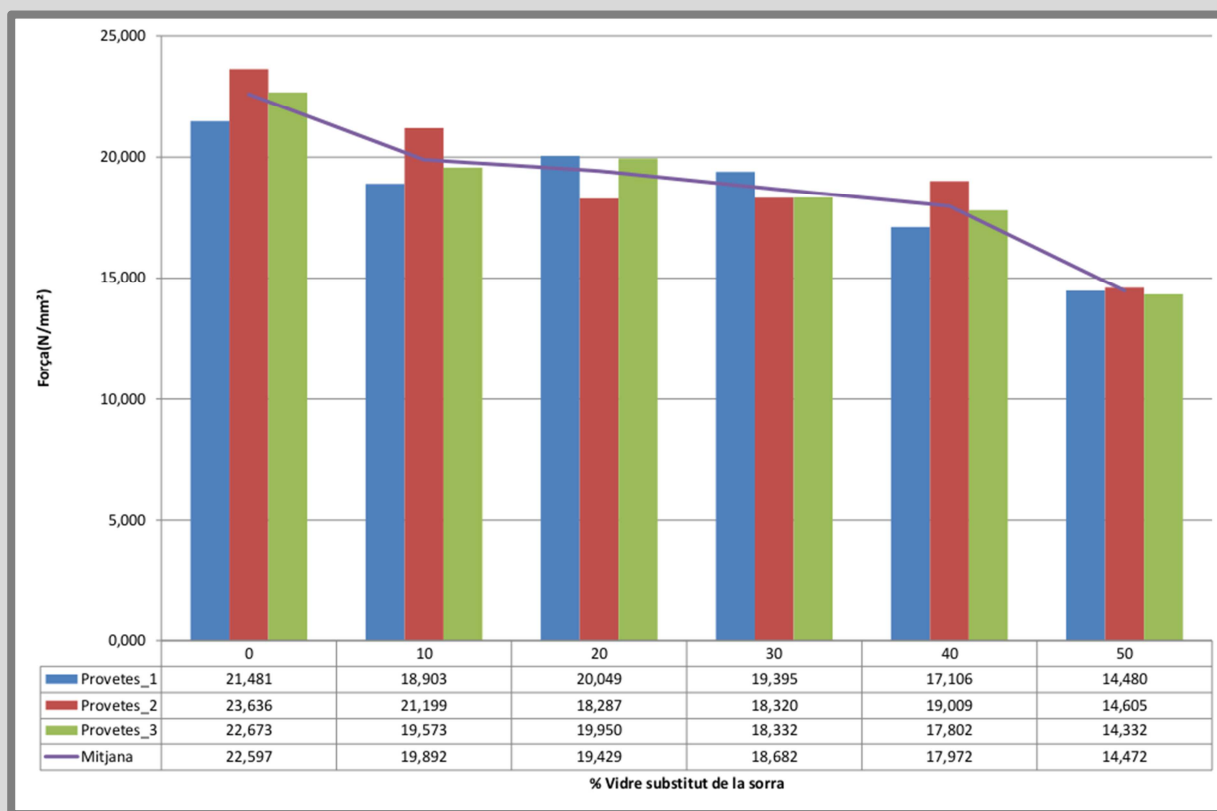
- Que les mostres de vidre mòlt de mida inferior a 4 mm tenen una caiguda de la resistència a compressió respecte al formigó convencional que es correspon amb la taula següent:

Percentatge de vidre com a substitut de la sorra	10%	20%	30%	40%	50%
Caiguda de la resistència a compressió, en %	14,28	13,28	14,17	22,41	32,35

I en resum es conclou:

- Que la tendència del formigó elaborat amb vidre mòlt de mida inferior a 4 mm és una disminució de la seva resistència a compressió quan s'augmenta el percentatge d'aquest en la seva dosificació.
- Que l'interval d'assaig on la substitució de sorra per vidre en l'elaboració de formigons resulta més avantatjosa, és del 0 al 10%, on és produeix una caiguda del 14,28% respecte al formigó convencional.
- Que la caiguda de la resistència característica del formigó entre el 10 i el 30% és gairebé inapreciable.

Vidre mòlt de mida entre 4 i 8 mm.



Gràfic 7: Gràfic de resistència a compressió de les mostres de formigó de la sèrie C, fase 2. Font: Pròpia

Analitzant els resultats obtinguts d'aquesta tipologia de vidre es fan les següents observacions:

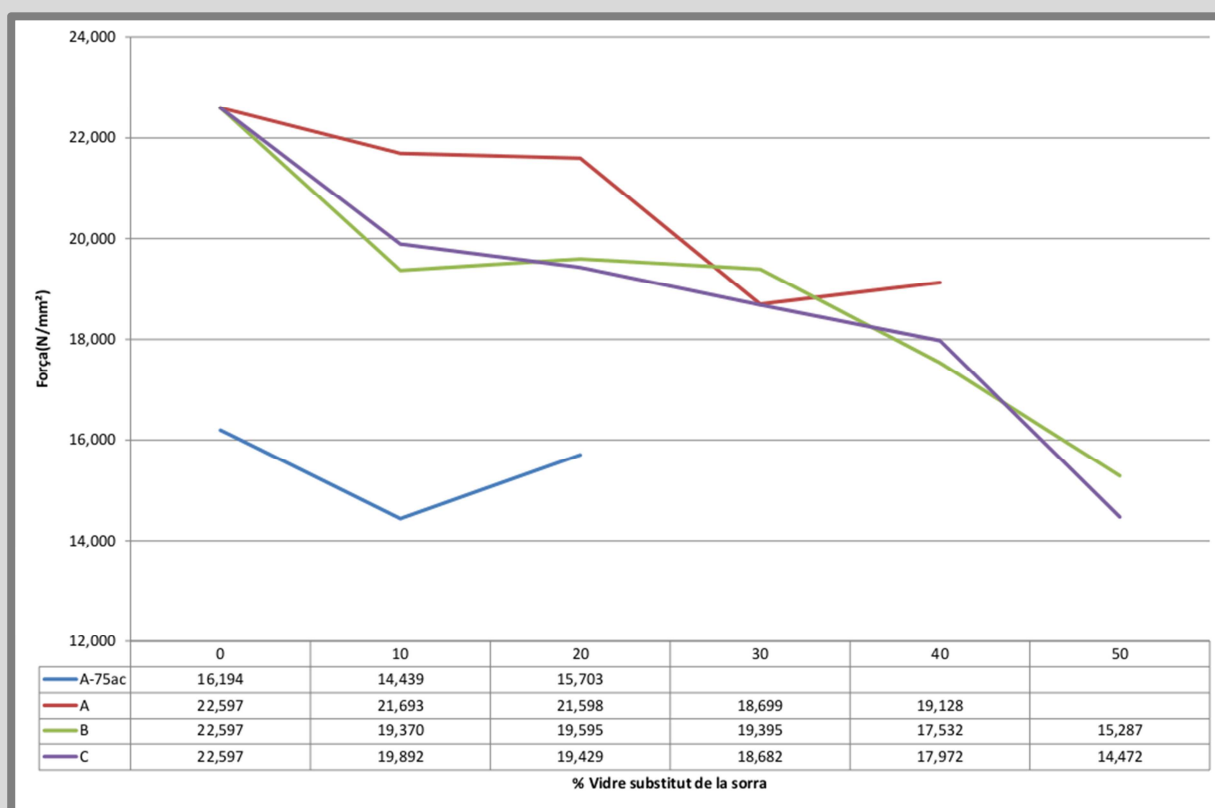
- Que la tendència del formigó elaborat amb aquesta tipologia d'àrid reciclat és una disminució de la resistència.
- Que les mostres de vidre mòlt de mida entre 4 i 8 mm tenen una caiguda de la resistència a compressió respecte al formigó convencional que es correspon amb la següent taula:

Percentatge de vidre com a substitut de la sorra	10%	20%	30%	40%	50%
Caiguda de la resistència a compressió, en %	12,00	14,02	17,32	20,47	35,96

I en resum es conclou:

- Que la tendència del formigó elaborat amb vidre mòlt de mida entre 4 i 8 mm és una disminució de la seva resistència a compressió quan s'augmenta el percentatge d'aquest en la seva dosificació.
- Que l'interval d'assaig on la substitució de sorra per vidre resulta més avantatjosa, és del 0 al 10%, on es produeix una caiguda del 12,00% respecte al formigó convencional.

Comparació entre les diferents tipologies de vidre



Gràfic 8: Gràfic comparatiu de resistència a compressió de les mostres de formigó de la segona fase . **Font:** Pròpia

Analizant els resultats i comparant els formigons elaborats amb diferents tipus de vidre es fan les següents observacions:

- Que la tendència del formigó elaborat amb vidre en pols i mòlt és una disminució de la resistència.
- Que el formigó que proporciona majors característiques de resistència a compressió és el elaborat amb vidre en pols.
- Que contràriament a l'imaginat, el comportament dels dos tipus de vidre mòlt és similar, tot i disposar de dues granulometries ben diferenciades.
- Que l'interval amb majors prestacions en els tres casos correspon al que transcorre entre el 0 i el 10% de vidre com a substitut de la sorra.

I en resum es conclou:

- Que el comportament del vidre mòlt i en pols aporten un comportament diferent respecte a la resistència a compressió en l'interval del 0 al 30%, esdevenint millor el del vidre de major finor.
- Que a partir del 30%, les diferents tipologies d'àrid es comporten d'una forma similar, obtenint valors de resistència equivalents.
- Que l'interval situat entre el 0 i el 10%, és en el que es produeix una menor caiguda de la resistència a compressió.

Arribats a aquest punt, es decideix:

1. Realitzar noves dosificacions en l'interval del 0 al 10% amb les tres tipologies de vidre, ja que és on les prestacions són majors.
2. Que es mantindrà una relació aigua/ciment del 65%, ja que una consistència inferior comprometria molt la treballabilitat del formigó en estat fresc.

D'acord amb les consideracions anteriors, es realitza la nova amassada i s'obtenen els resultats de la tercera fase.

Fase 3

Un cop assajades les mostres de la tercera fase s'obtenen els resultats següents:

Sèrie	Tipus vidre	Núm. proveta	% Vidre com a substitut de la sorra					
			0	2	4	6	8	10
A	Pols	1	21,481	22,523	24,085	22,448	24,746	21,453
		2	23,636	22,222	23,129	25,088	20,532	21,008
		3	22,673	21,473	21,660	23,197	20,776	19,950
B	m<4	1	21,481	23,380	23,658	19,186	20,573	22,709
		2	23,636	21,796	23,830	20,885	19,862	21,629
		3	22,673	23,184	21,924	22,149	21,581	20,866
C	4<m<8	1	21,481	23,372	24,042	21,997	22,828	19,197
		2	23,636	22,175	22,583	22,979	20,025	19,267
		3	22,673	23,224	21,466	23,784	20,792	22,345

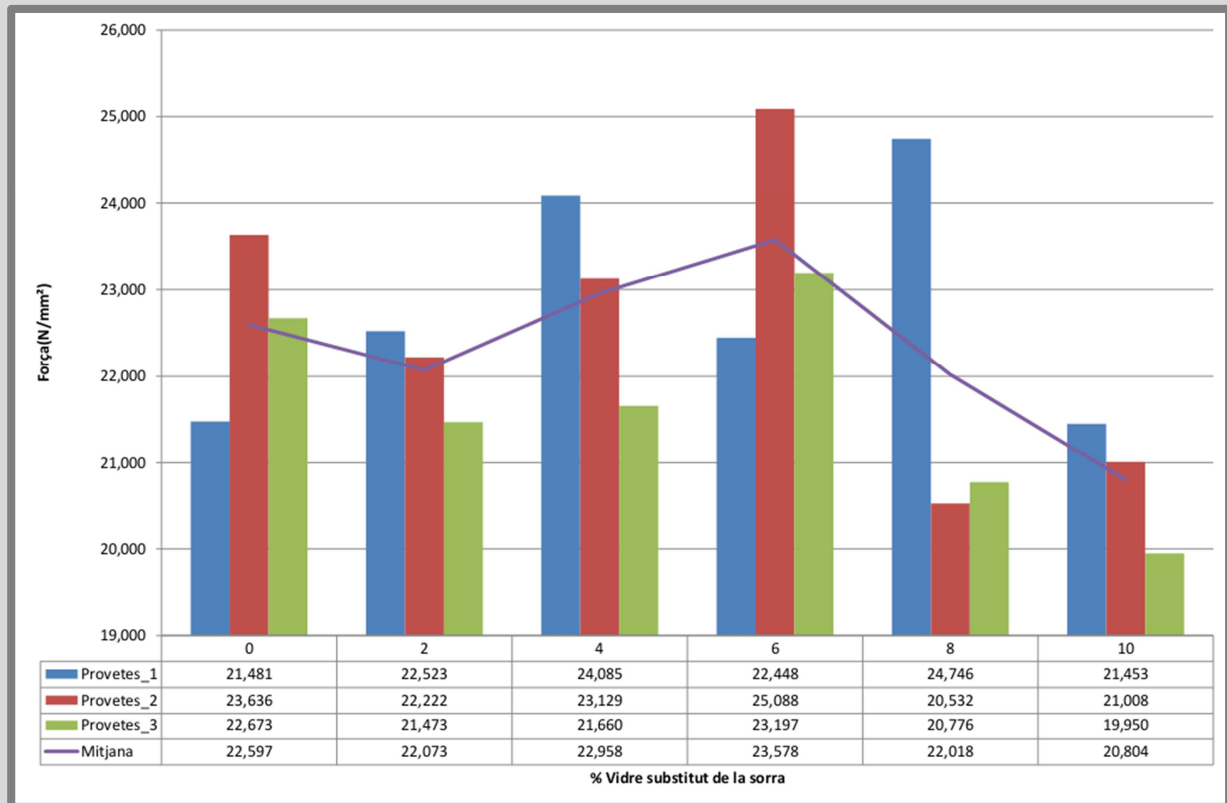
Taula 19: Valors de resistència a compressió (N/mm²) de les mostres de la tercera fase. Font: Pròpia

Que es poden resumir en la taula de mitjanes següents:

Sèrie	Tipus vidre	% Vidre com a substitut de la sorra					
		0	2	4	6	8	10
A	Pols	22,597	22,073	22,958	23,578	22,018	20,804
B	m<4	22,597	22,787	23,137	20,740	20,672	21,735
C	4<m<8	22,597	22,924	22,697	22,920	21,215	20,270

Taula 20: Valors mitjans de resistència a compressió (N/mm²) de les mostres de la tercera fase. Font: Pròpia

Vidre en pols



Gràfic 9: Gràfic de resistència a compressió de les mostres de formigó de la sèrie A, fase 3. Font: Pròpia

Analitzant els resultats obtinguts d'aquesta tipologia de vidre es fan les següents observacions:

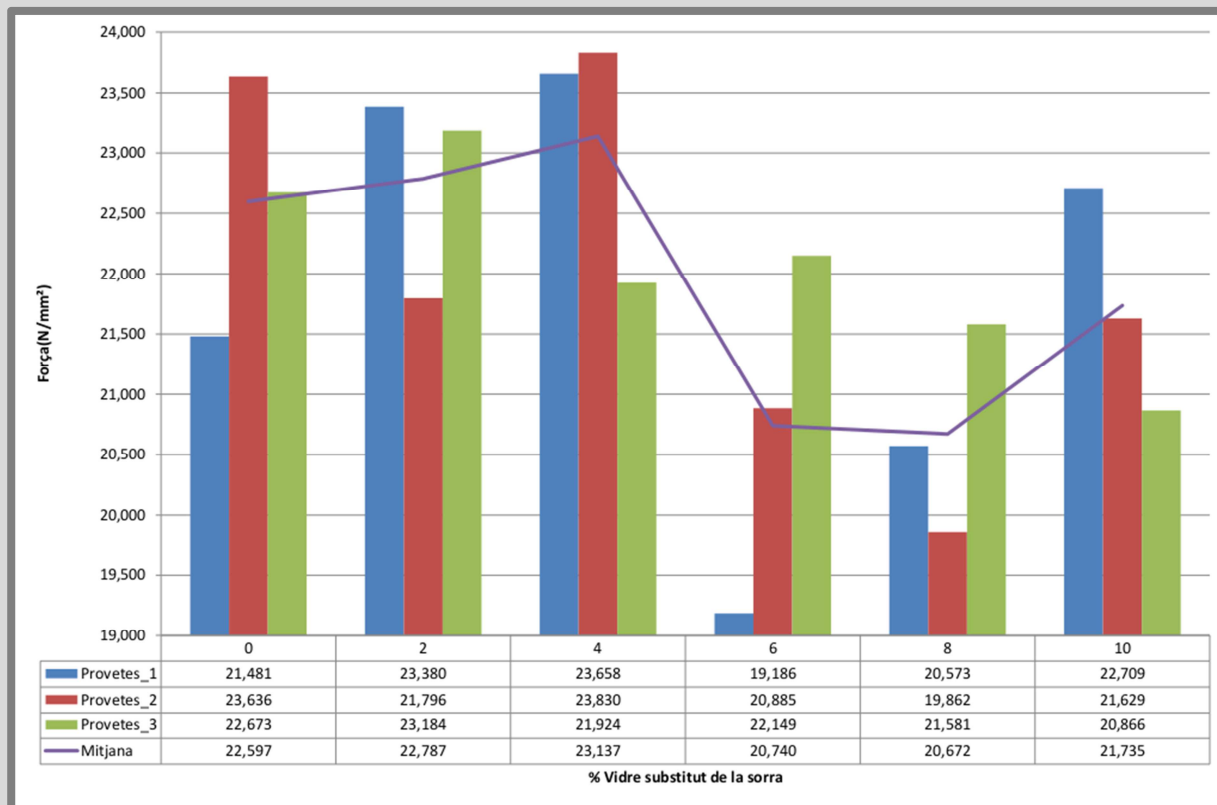
- Que es produeix un augment de la resistència a compressió en certs percentatges si es compara respecte el formigó convencional.
- Que les mostres de vidre en pols tenen una variació de resistència a compressió respecte al formigó convencional que es correspon amb la següent taula:

Percentatge de vidre com a substituït de la sorra	2%	4%	6%	8%	10%
Variació de la resistència a compressió, en %	-2,32	+1,6	+4,34	-2,56	-7,90

I en resum es conclou:

- Que en l'interval estudiat existeixen dos dosificacions on es produeix un augment de la resistència a compressió.
- Que aquest augment en el millor dels casos correspon a un 4,34%.
- Que aquest augment es correspon amb la dosificació amb un 6% de vidre com a substituït de la sorra.

Vidre mòlt de mida inferior a 4 mm



Gràfic 10: Gràfic de resistència a compressió de les mostres de formigó de la sèrie B, fase 3. **Font:** Pròpia

Analitzant els resultats obtinguts d'aquesta tipologia de vidre es fan les següents observacions:

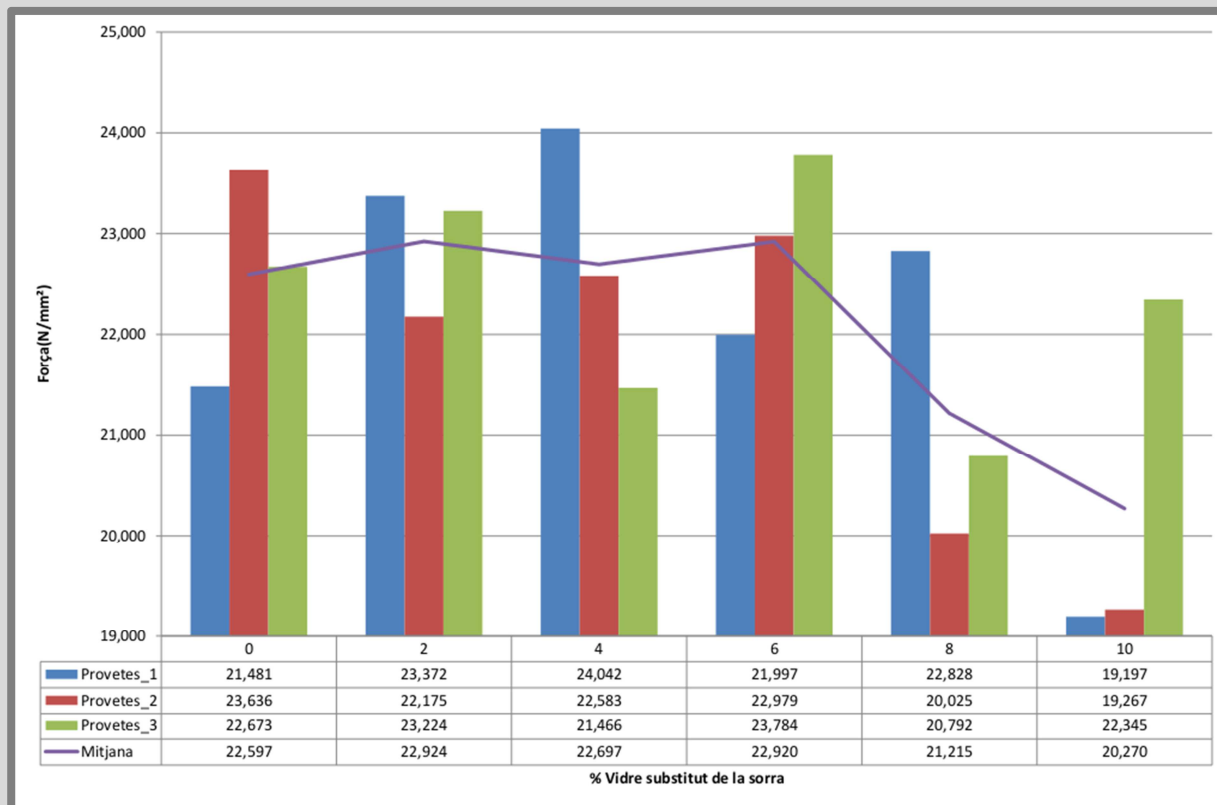
- Que es produeix un augment de la resistència a compressió en certs percentatges si es compara respecte el formigó convencional.
- Que les mostres de vidre mòlt amb mida inferior a 4 mm tenen una variació de resistència a compressió respecte al formigó convencional que es correspon amb la següent taula:

Percentatge de vidre com a substitut de la sorra	2%	4%	6%	8%	10%
Variació de la resistència a compressió, en %	+0,84	+2,39	-8,2	-8,5	-3,8

I en resum es conclou:

- Que en l'interval estudiat existeixen dos dosificacions on es produeix un augment de la resistència a compressió.
- Que aquest augment en el millor dels casos correspon a un 2,39%.
- Que aquest augment es correspon amb la dosificació amb un 4% de vidre com a substitut de la sorra.

Vidre mòlt de mida entre a 4 i 8 mm



Gràfic 11: Gràfic de resistència a compressió de les mostres de formigó de la sèrie C, fase 3. **Font:** Pròpia

Analitzant els resultats obtinguts d'aquesta tipologia de vidre es fan les següents observacions:

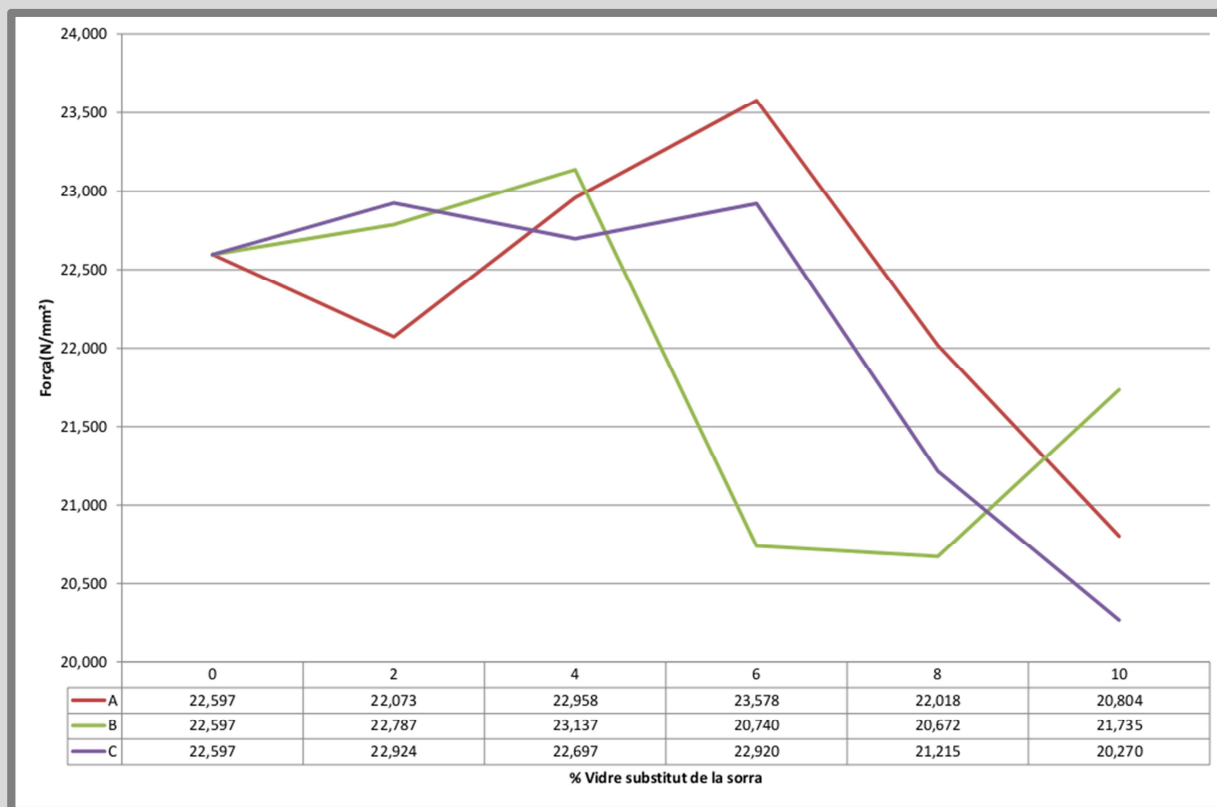
- Que es produeix un augment de la resistència a compressió en certs percentatges si es compara respecte el formigó convencional.
- Que les mostres de vidre mòlt amb mida entre 4 i 8 mm tenen una variació de resistència a compressió respecte al formigó convencional que es correspon amb la següent taula:

Percentatge de vidre com a substituït de la sorra	2%	4%	6%	8%	10%
Variació de la resistència a compressió, en %	+1,45	+0,45	+1,43	-6,11	-10,30

I en resum es conclou:

- Que en l'interval estudiat existeixen tres dosificacions on es produeix un augment de la resistència a compressió.
- Que aquest augment en el millor dels casos correspon a un 1,45%.
- Que aquest augment es correspon amb la dosificació amb un 6% de vidre com a substituït de la sorra.

Comparació entre les diferents tipologies de vidre:



Gràfic 12: Gràfic comparatiu de resistència a compressió de les mostres de formigó de la fase 3. **Font:** Pròpia

Analitzant els resultats i comparant els formigons elaborats amb diferents tipus de vidre es fan les següents observacions:

- Que la tendència del formigó elaborat amb vidre en pols i mòlt és una augment de la resistència en certes dosificacions del interval estudiat.
- Que el formigó que proporciona majors característiques de resistència a compressió és el elaborat amb vidre en pols, tal i com s'ha determinat en la segona fase.
- Que el comportament de les provetes elaborades amb els dos tipus de vidre mòlt és similar, tot i disposar de dues granulometries ben diferenciades, tal i com s'ha determinat en la segona fase.

- Que l'interval amb majors prestacions en els tres casos correspon amb la taula següent:

Sèrie	Tipus de vidre	Percentatge de vidre com a substitut de la sorra	Resistència mitjà a compressió	Variació de la resistència a compressió
	Blanc	0%	22,597 N/mm ²	-
A	Vidre en pols	6%	23,578 N/mm ²	+4,34%
B	Vidre mòlt de mida inferior a 4mm	4%	23,137 N/mm ²	+2,39%
C	Vidre mòlt de mida entre 4 i 8 mm	6%	22,970 N/mm ²	+1,43%

I en resum es conclou:

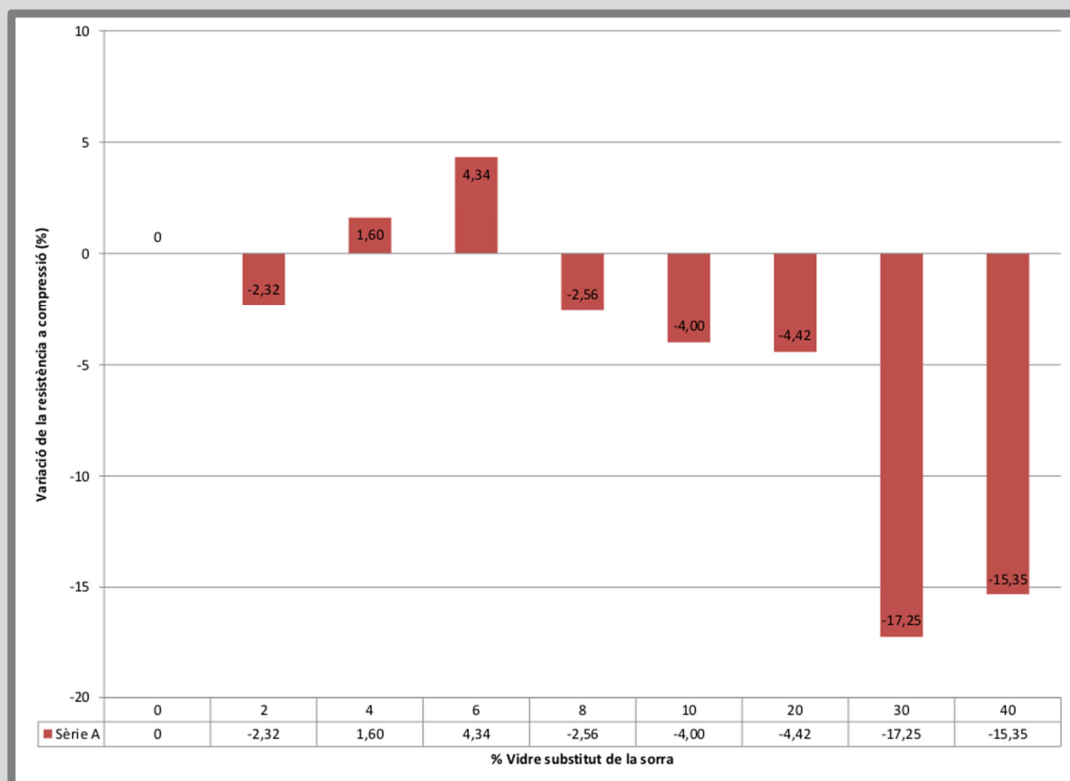
- Que en algunes dosificacions de l'interval 0-10% de vidre com a substitut de la sorra s'observa un augment de la resistència a compressió.
- Que en les mostres de la sèrie A s'observa un augment de la resistència a compressió d'un 4,34% respecte el formigó convencional.
- Que en les mostres de la sèrie B s'observa un augment de la resistència a compressió d'un 2,39% respecte el formigó convencional.
- Que en les mostres de la sèrie C s'observa un augment de la resistència a compressió d'un 1,43% respecte el formigó convencional.

CONCLUSIONS GENERALS

En relació amb totes les observacions realitzades en cadascuna de les fases anteriors es conclou:

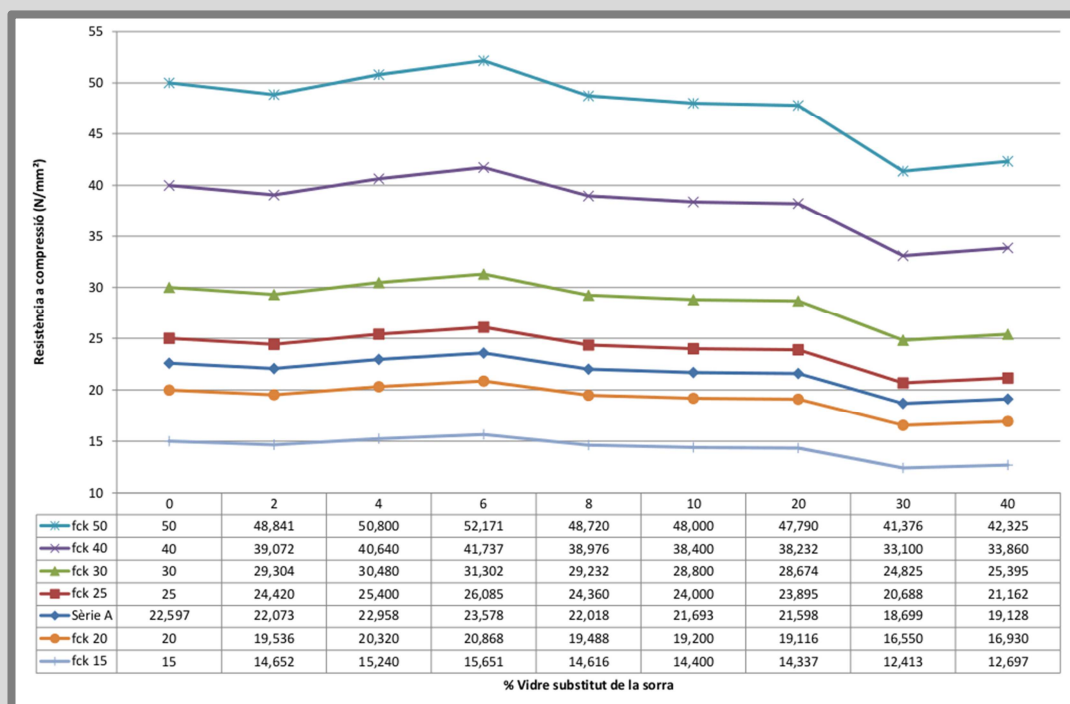
- Que pel que fa al vidre com a substitut de la sorra en l'elaboració de formigons existeix una tendència d'augment de la resistència a compressió per a valors pròxims al 6%.
- Que en incloure un percentatge major a partir del valor anomenat amb anterioritat es produeix una caiguda progressiva de la resistència a esforços d'aixafament.
- Que el valor absolut de més augment de la resistència correspon a un 4,34%, corresponent al formigó fabricat amb vidre en pols de la sèrie A amb un percentatge del 6% de vidre.
- Que el comportament del formigó elaborat amb vidre mòlt de mida inferior a 4 mm i de mida entre 4 i 8 mm és similar en quan a l'assaig de resistència a compressió.
- Que per a formigons convencionals d'altres resistències característiques, l'efecte de substituir-ne la sorra pel vidre, pot suposar un efecte en les capacitats assimilables a les següents:

Formigó amb vidre en pols:



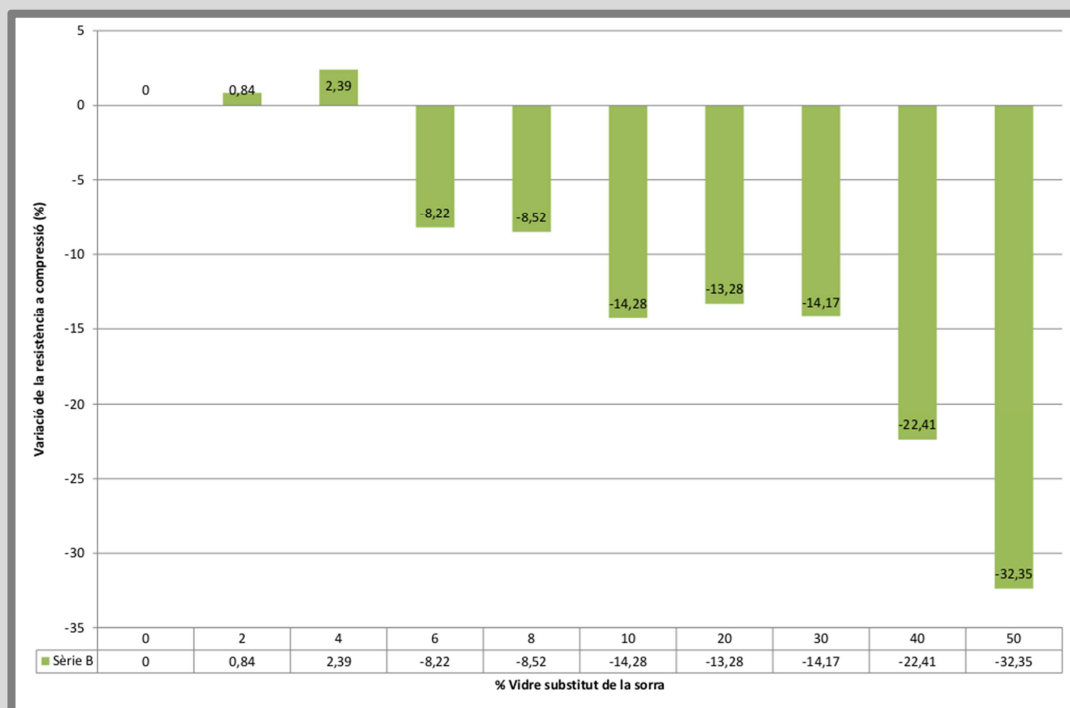
Gràfic 13: Variació de la resistència a compressió de les mostres de formigó amb vidre en pols. **Font:** Pròpia

6. PROCÉS EXPERIMENTAL



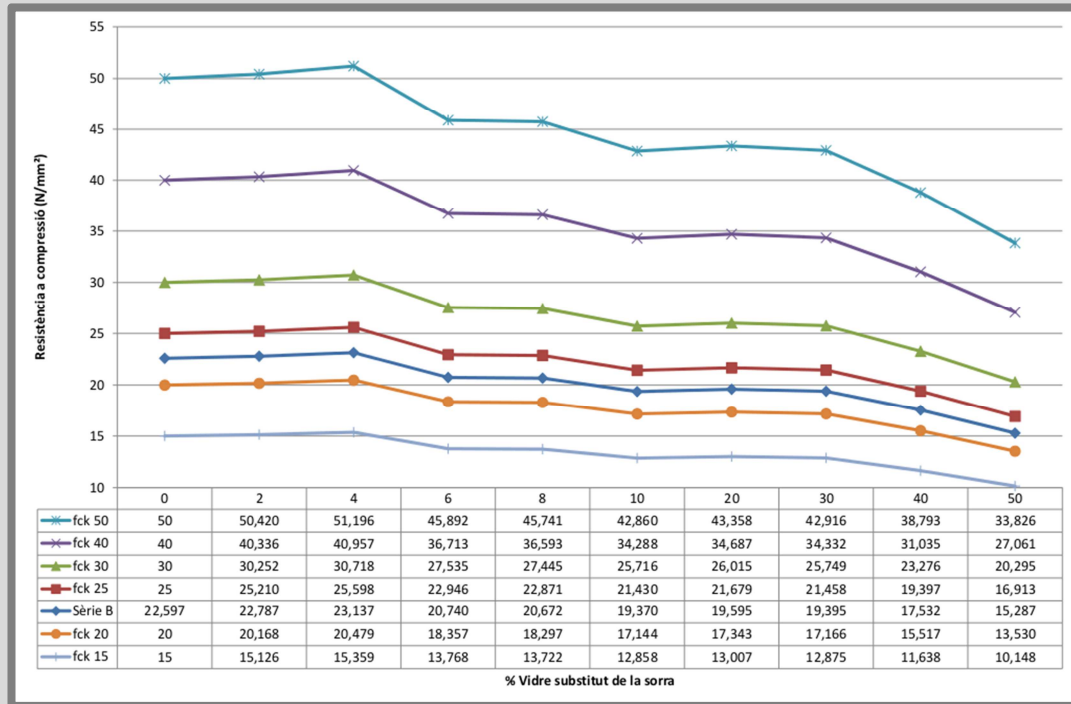
Gràfic 14: Gràfic comparatiu de valors experimentals de resistència a compressió de les mostres de formigó amb vidre en pols. Font: Pròpia

Formigó amb vidre mòlt de mida inferior a 4 mm



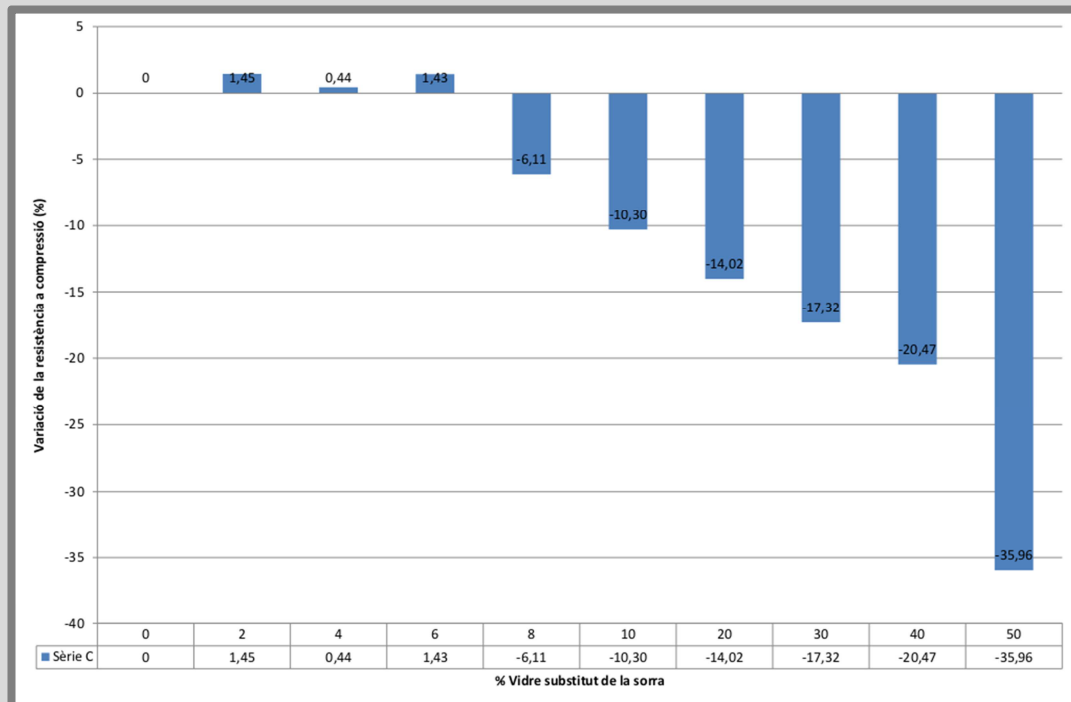
Gràfic 15: Variació de la resistència a compressió de les mostres de formigó amb vidre mòlt de mida inferior a 4 mm. Font: Pròpia

6. PROCÉS EXPERIMENTAL



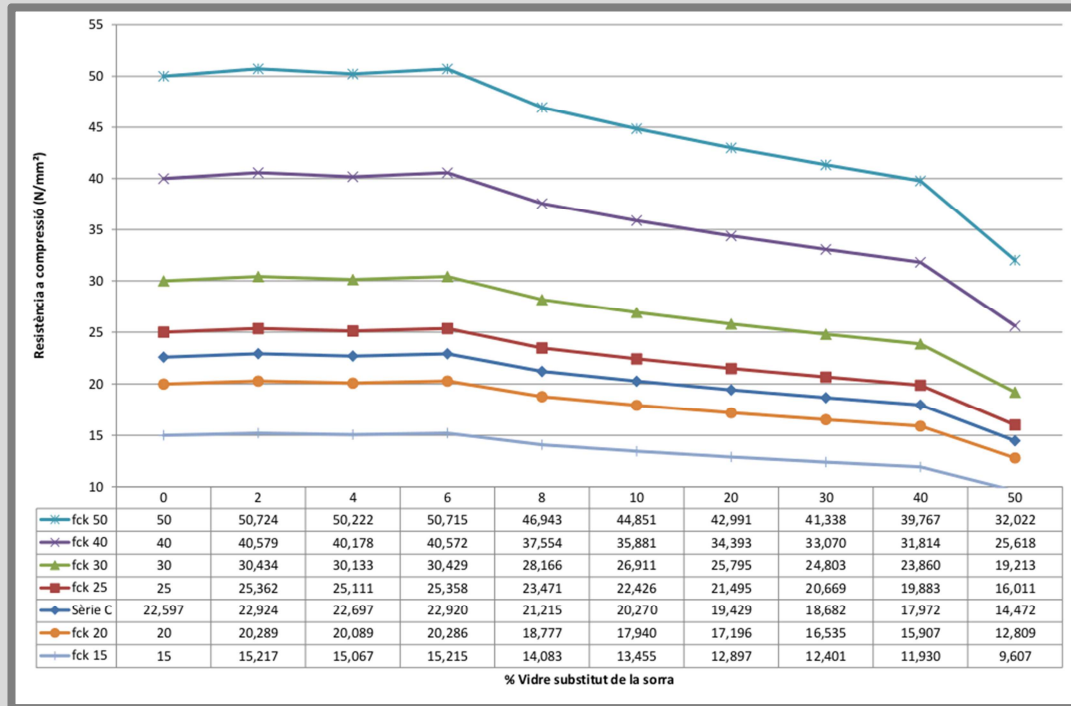
Gràfic 16: Gràfic comparatiu de valors experimentals de resistència a compressió de les mostres de formigó amb vidre mòlt de mida inferior a 4mm. Font: Pròpia

Formigó amb vidre mòlt de mida entre 4 i 8 mm



Gràfic 17: Variació de la resistència a compressió de les mostres de formigó amb vidre mòlt de mida entre 4 i 8 mm. Font: Pròpia

6. PROCÉS EXPERIMENTAL



Gràfic 18: Gràfic comparatiu de valors experimentals de resistència a compressió de les mostres de formigó amb vidre molt de mida inferior a 4mm. **Font:** Pròpia

Dels gràfics anteriors observem:

Que segons la resistència característica del formigó de base, podem obtenir formigons amb vidre on la inclusió d'un percentatge de vidre ens permeti obtenir formigó apte estructuralment i no estructural.

Que el tipus de vidre utilitzat té una afectació diferent en quan a la variació percentual de la resistència a compressió de les mostres.

6.2. ASSAIG DE DETERMINACIÓ DE LA DENSITAT DEL FORMIGÓ ENDURIT

INTRODUCCIÓ

Objectiu de l'assaig:	Determinar la densitat en el formigó endurit		
Tipologia:	Assaig no destructiu		
Normativa de referència:	Norma UNE-EN 12390-7:2009 "Assaigs de formigó endurit. Part 7: Densitat del formigó endurit".		
Resum del procediment:	Les provetes es pesen en condicions de recepció (després de curat en cambra humida), i es determina el volum d'aquestes mitjançant mesures teòriques de motlle per posteriorment determinar-ne la densitat.		
Provetes a assajar:	Provetes cúbiques de cada dosificació		
Màquina:	Balança		
Nombre de provetes assajades			
Fase	Núm. de sèries	Provetes per sèrie	Provetes totals
2	18	3	54
3	16	6	96
Total de provetes fabricades			150

Taula 21: Taula introductòria de l'assaig de determinació de la densitat del formigó endurit. Font: Pròpia

La densitat és la relació entre la massa i el volum d'una substància. La densitat del formigó depèn de la densitat real i de la proporció en que participen cadascun dels diferents materials que el constitueixen.

La norma diferencia tres estats diferents, mitjançant els quals es pot calcular la densitat del formigó endurit:

- En condicions de recepció.
- Saturada en aigua.
- Assecat en estufa.

Després d'analitzar les tres opcions, s'ha optat per calcular la densitat del formigó endurit en condicions de recepció.



Imatge 32: Provetes en condicions de recepció després de conservació en cambra humida. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

Les condicions de recepció correspon a l'estat de les provetes després de la seva conservació en cambra humida, pel temps determinat en cada fase de l'estudi.

EQUIP

- Balança
- Regle

PROCEDIMENT

El procediment que s'ha utilitzat per realitzar l'assaig ha estat el següent:

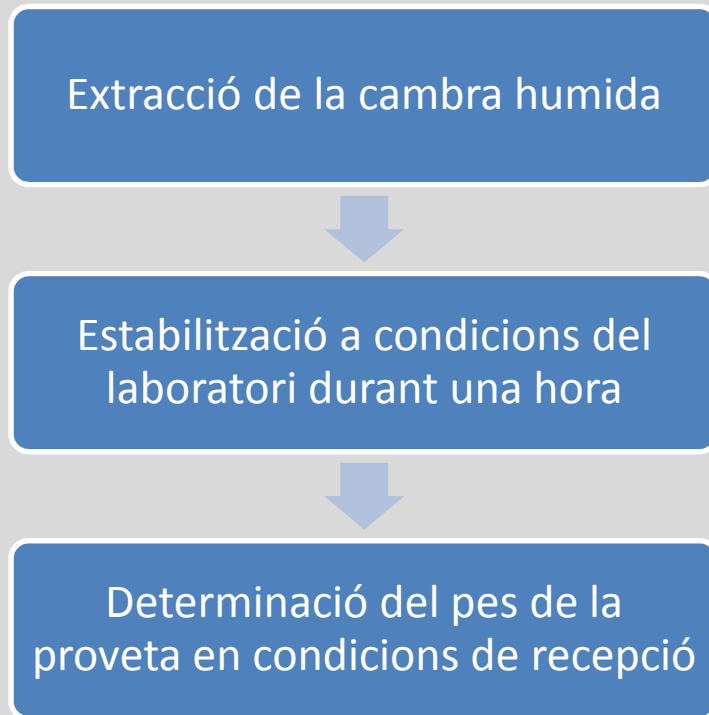
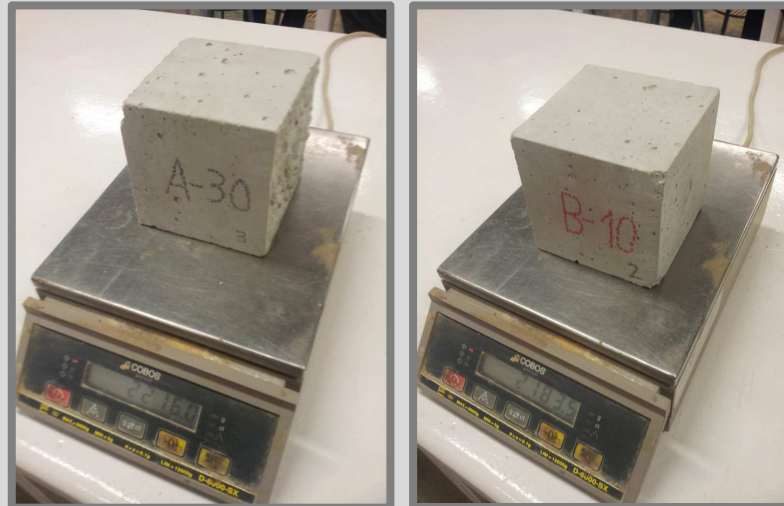


Diagrama 5: Esquema del procediment utilitzat en l'assaig de determinació de la densitat del formigó endurit.
Autor: Guillem Martí / **Font:** Pròpia

Després de la conservació de les diferents provetes segons el procediment descrit en l'apartat corresponent, aquestes es retiren de la cambra humida, aproximadament una hora abans de la seva pesada, perquè s'aclimatin a la temperatura i humitat del laboratori. Un cop transcorregut aquest temps, es pesen les provetes en una balança i es determina el seu volum mitjançant el càlcul de les dimensions del motlle de fabricació de les provetes.

Posteriorment es calcula la densitat (dividint la massa entre el volum de la proveta), expressada en kg/m^3 .



Imatge 33: Determinació de la massa de les provetes en condicions de recepció mitjançant balança.

Autor: Guillem Martí / **Font:** Pròpia

Resum de l'assaig de determinació de la densitat del formigó endurit

A continuació es mostra una taula resum del procés utilitzat en l'assaig de determinació de la densitat del formigó endurit:

Tasca	Descripció	Duració*
Extracció de provetes de la cambra en condicions de curat	Es retira la proveta de la cambra humida i es deixa aclimatar a les condicions del laboratori durant una hora.	60 minuts
Pesat	Posteriorment se situa la proveta a la balança per determinar-ne la massa i calcular, posteriorment i mitjançant el volum, la densitat.	1 minut
Temps d'assaigs		61 minuts

Taula 22: Resum del procés de fabricació de cadascuna de les dosificacions utilitzades en el projecte. **Font:** Pròpia

*La duració correspon al temps necessari d'assaig per a una sola proveta.

CÀLCULS I EXPRESSIÓ DE RESULTATS

Es determina la densitat del formigó endurit en condicions de recepció D, expressada en kg/m³, amb l'equació:

$$D = \frac{m}{V}$$

On:

m és la massa de la proveta en condicions de recepció, expressada en kg.

V és el volum determinat segons dimensions del motlle, expressada en m³.

S'anoten tots els resultats individuals i es calculen els valors mitjans de la densitat com la mitjana de resultats acceptables.

RESULTATS DE L'ASSAIG

A continuació es recullen tots els resultats d'aquest assaig.

Fase 2

Un cop assajades les mostres de la segona fase, s'obtenen els resultats següents:

Sèrie	Tipus vidre	Núm. proveta	% Vidre com a substitut de la sorra					
			0	10	20	30	40	50
A _(0,75 a/c)	Pols	1	2150,3	2150,3	2134,8			
		2	2147,9	2149,6	2161,1			
		3	2155,2	2158,8	2147,1			
A	Pols	1	2190,6	2172,4	2226,9	2214,8	2192,6	
		2	2213,4	2200,2	2180,4	2201,0	2184,2	
		3	2194,9	2191,5	2255,9	2216,0	2180,5	
B	m<4	1	2190,6	2218,6	2191,3	2200,4	2193,5	2147,4
		2	2213,4	2183,5	2188,4	2195,5	2198,3	2140,1
		3	2194,9	2229,4	2156,5	2189,8	2178,6	2138,7
C	4<m<8	1	2190,6	2189,3	2218,3	2175,9	2203,7	2173,3
		2	2213,4	2202,2	2180,4	2195,5	2237,6	2171,5
		3	2194,9	2222,8	2202,6	2201,1	2161,9	2152,5

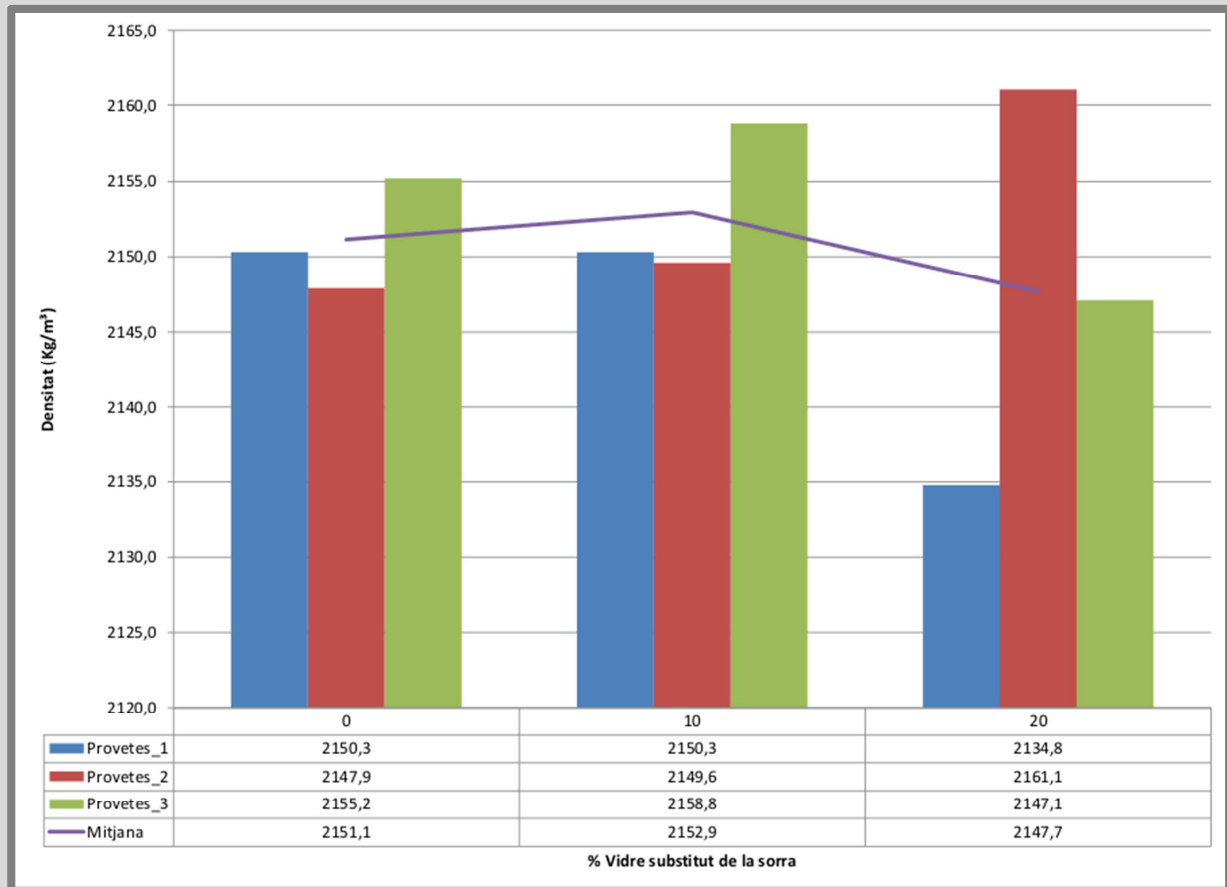
Taula 24: Densitat (kg/m³) en condicions de recepció de les mostres de la fase 2. Font: Pròpia

Que es poden resumir en la taula de mitjanes següents:

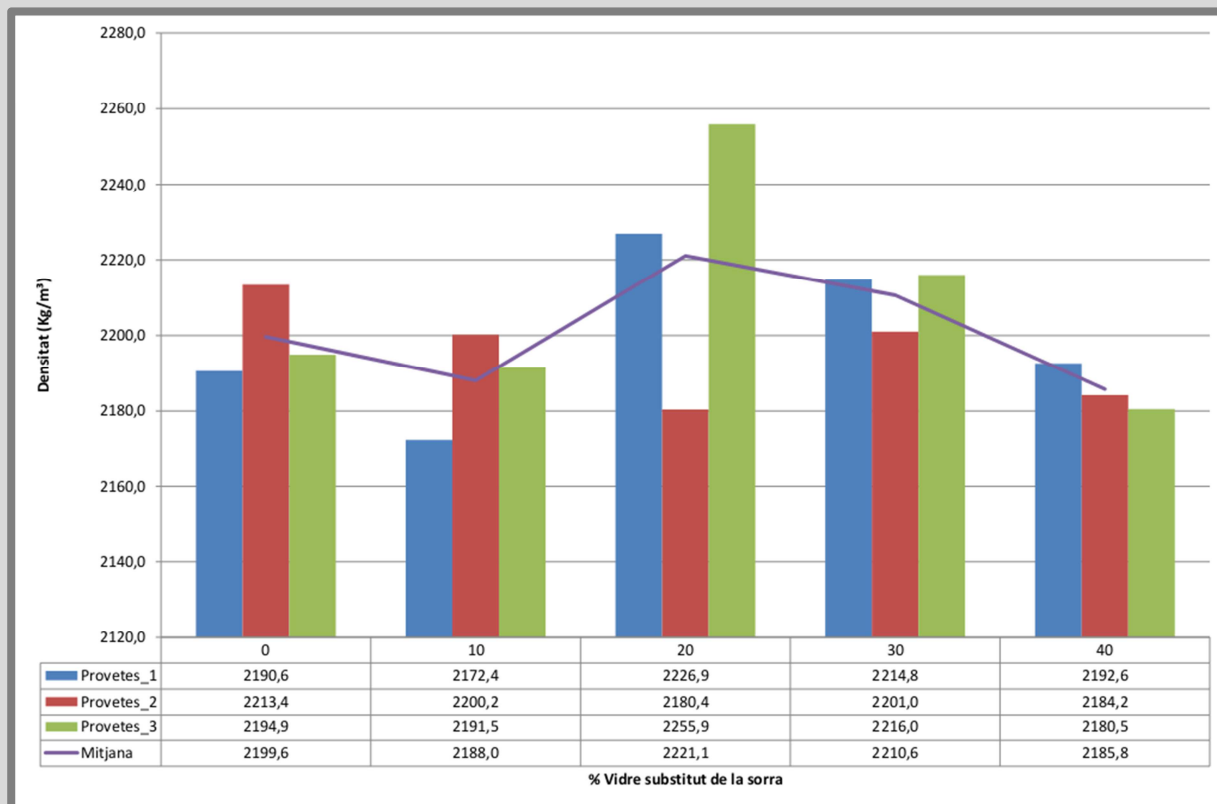
Sèrie	Tipus vidre	% Vidre com a substitut de la sorra					
		0	10	20	30	40	50
A _(0,75 a/c)	Pols	2151,1	2152,9	2147,7			
A	Pols	2199,6	2188,0	2221,1	2210,6	2185,5	
B	m<4	2199,6	2210,5	2178,7	2195,2	2190,1	2142,1
C	4<m<8	2199,6	2204,8	2200,4	2190,8	2201,1	2165,8

Taula 25: Valors mitjans de densitat (kg/m³) en condicions de recepció de les mostres de la fase 2. Font: Pròpia

Vidre en pols



Gràfic 19: Gràfic de densitat de les mostres de formigó de la sèrie $A_{(0,75 a/c)}$, fase 2. **Font:** Pròpia



Gràfic 20: Gràfic de densitat de les mostres de formigó de la sèrie A, fase 2. Font: Pròpia

Analizant els resultats obtinguts d'aquesta tipologia de vidre es fan les següents observacions:

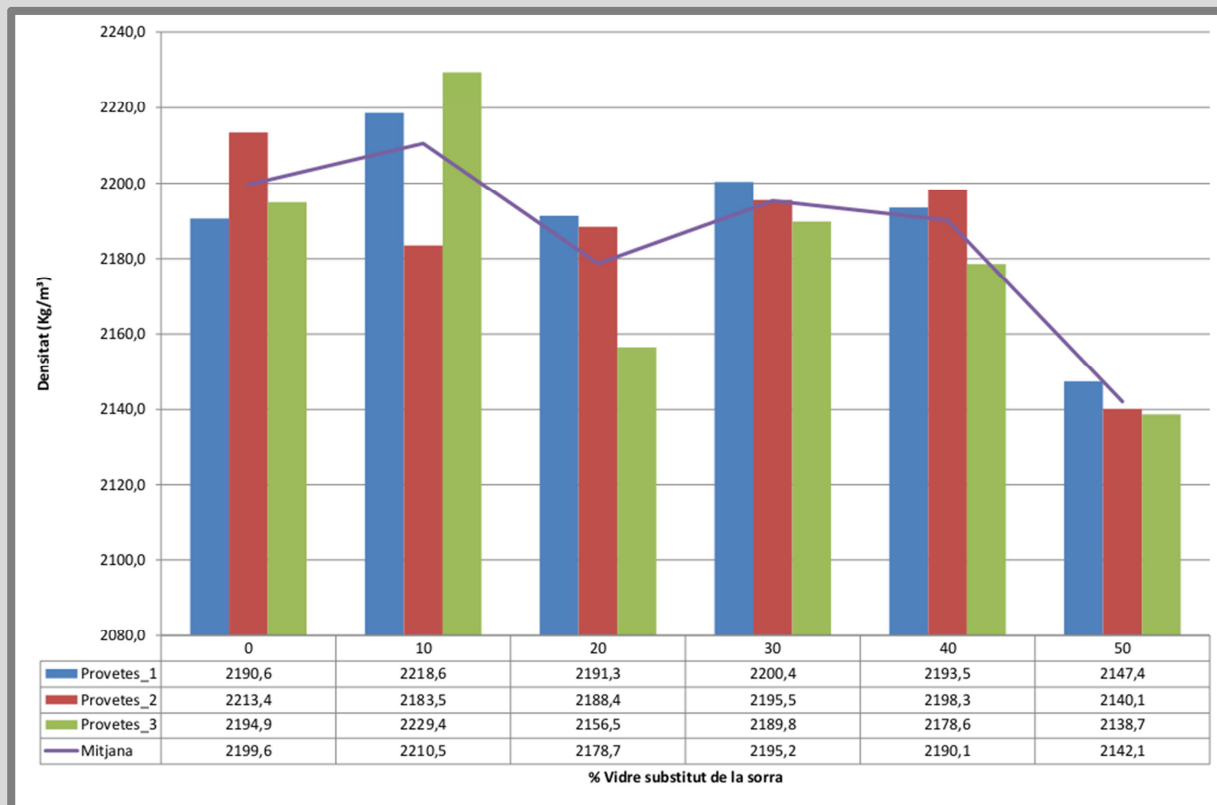
- Que la tendència del formigó elaborat amb aquesta tipologia d'àrid és una variació poc apreciable respecte la densitat del formigó endurit en condicions de recepció.
- Que la diferència de resultats obtinguts pel que respecte a aquest assaig entre formigó elaborat amb dosificacions del 65 i 75%, és pròxima als 50 grams.
- Que d'acord amb el punt anterior, aquesta és major a la dosificació que disposa de menys aigua i que la diferència suposa un 2,7% menys de densitat.
- Que les mostres que contenen vidre en pols tenen una variació de la densitat respecte al formigó convencional que es correspon amb la taula següent:

Percentatge de vidre com a substitut de la sorra	10%	20%	30%	40%
Variació de la densitat, en %	-0,53	+0,97	+0,50	-0,63

I en resum es conclou:

- Que la tendència del formigó elaborat amb vidre en pols és la de mantenir la seva densitat amb una variació poc perceptible.

Vidre mòlt de mida inferior a 4 mm



Gràfic 21: Gràfic de densitat de les mostres de formigó de la sèrie B, fase 2. **Font:** Pròpia

Analitzant els resultats obtinguts d'aquesta tipologia de vidre es fan les següents observacions:

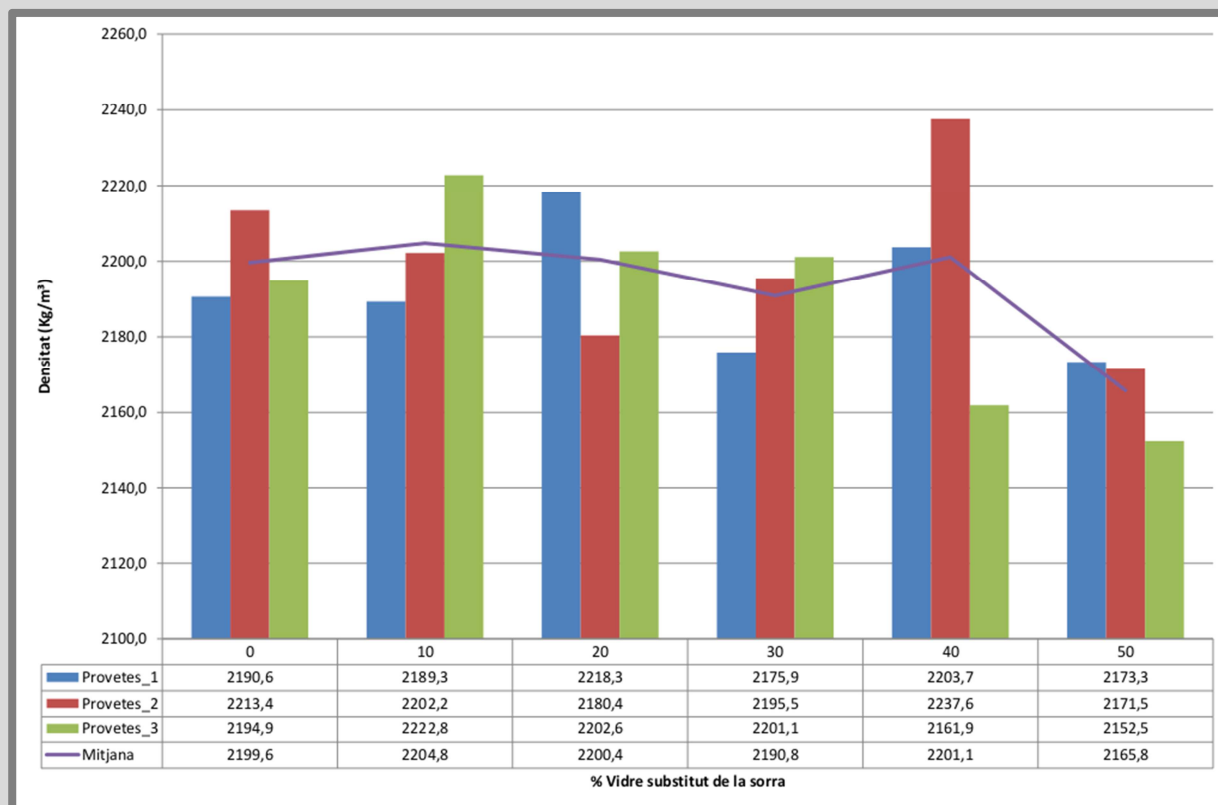
- Que la tendència del formigó elaborat amb aquesta tipologia d'àrid reciclat és una lleugera disminució de la densitat quan augmenta el percentatge de vidre.
- Que les mostres de vidre mòlt de mida inferior a 4 mm tenen una variació de la densitat respecte al formigó convencional que es correspon amb la taula següent:

Percentatge de vidre com a substitut de la sorra	10%	20%	30%	40%	50%
Variació de la densitat del formigó endurit, en %	+0,49	-0,95	-0,20	-0,43	-2,62

I en resum es conclou:

- Que la tendència del formigó elaborat amb vidre mòlt de mida inferior a 4 mm és una lleugera disminució de la seva densitat quan s'augmenta el percentatge d'aquest en la seva dosificació.

Vidre mòlt de mida entre 4 i 8 mm



Gràfic 22: Gràfic de densitat de les mostres de formigó de la sèrie C, fase 2. **Font:** Pròpia

Analitzant els resultats obtinguts d'aquesta tipologia de vidre es fan les següents observacions:

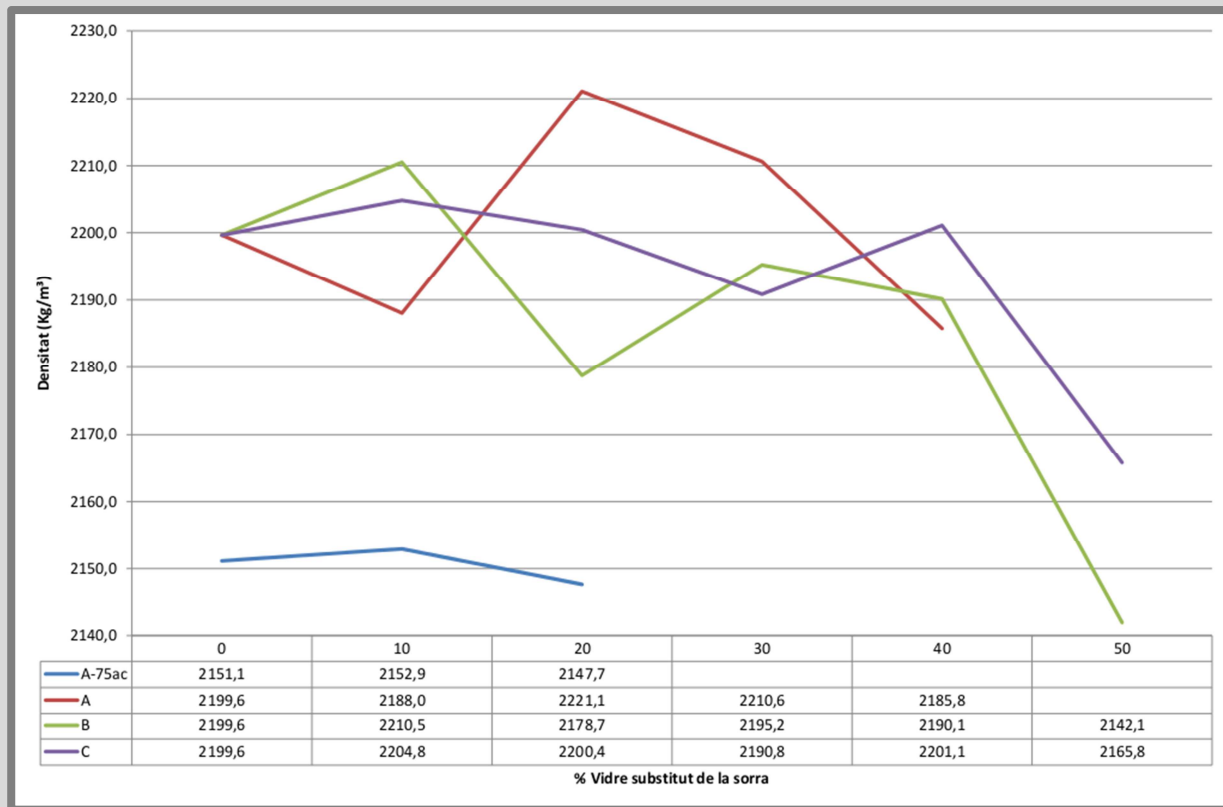
- Que la tendència del formigó elaborat amb aquesta tipologia d'àrid reciclat és una lleugera disminució de la densitat quan augmenta el percentatge de vidre.
- Que les mostres de vidre mòlt de mida entre 4 i 8 mm tenen una variació de la densitat respecte al formigó convencional que es correspon amb la taula següent:

Percentatge de vidre com a substitut de la sorra	10%	20%	30%	40%	50%
Variació de la densitat del formigó endurit, en %	+0,23	+0,04	-0,40	+0,07	-1,54

I en resum es conclou:

- Que la tendència del formigó elaborat amb vidre mòlt de mida entre 4 i 8 mm és una lleugera disminució de la seva densitat quan s'augmenta el percentatge d'aquest en la seva dosificació.

Comparació entre les diferents tipologies de vidre



Gràfic 23: Gràfic comparatiu de densitats de les mostres de formigó de la fase 2. **Font:** Pròpia

Analitzant els resultats i comparant els formigons elaborats amb diferents tipus de vidre es fan les següents observacions:

- Que la tendència del formigó elaborat amb vidre en pols i mòlt és una lleugera disminució de la densitat.
- Que el formigó que proporciona majors valors de densitat és el elaborat amb vidre en pols.

I en resum es conclou:

- Que el comportament del vidre mòlt i en pols és similar en quan a valors de densitat.
- Que a partir del 40%, la caiguda de la densitat sembla ser major.

Fase 3

Un cop assajades les mostres de la tercera fase s'obtenen els resultats següents:

Sèrie	Tipus vidre	Núm. proveta	% Vidre com a substitut de la sorra					
			0	10	20	30	40	50
A	Pols	1	2190,6	2206,2	2223,0	2139,9	2192,4	2187,4
		2	2213,4	2212,0	2194,9	2236,4	2206,7	2188,9
		3	2194,9	2173,2	2206,8	2284,5	2208,9	2207,7
		4	2182,8	2195,3	2226,7	2225,6	2196,3	2176,8
		5	2194,4	2216,5	2204,7	2221,7	2215,2	2183,7
		6	2216,3	2219,2	2211,7	2237,1	2209,9	2227,1
B	m<4	1	2190,6	2171,8	2214,5	2196,1	2197,4	2178,2
		2	2213,4	2201,9	2179,5	2185,4	2187,3	2211,7
		3	2194,9	2198,7	2183,6	2209,3	2172,4	2198,0
		4	2182,8	2195,1	2189,0	2204,0	2212,2	2201,1
		5	2194,4	2191,8	2187,5	2189,3	2212,7	2211,7
		6	2216,3	2184,5	2203,5	2209,2	2177,2	2196,3
C	4<m<8	1	2190,6	2221,1	2180,9	2171,9	2198,4	2183,9
		2	2213,4	2194,4	2212,5	2185,7	2153,7	2182,3
		3	2194,9	2184,0	2224,6	2191,5	2159,2	2190,2
		4	2182,8	2172,2	2203,1	2182,3	2164,9	2241,6
		5	2194,4	2210,4	2165,2	2182,9	2160,3	2191,7
		6	2216,3	2187,3	2228,8	2195,8	2167,0	2185,1

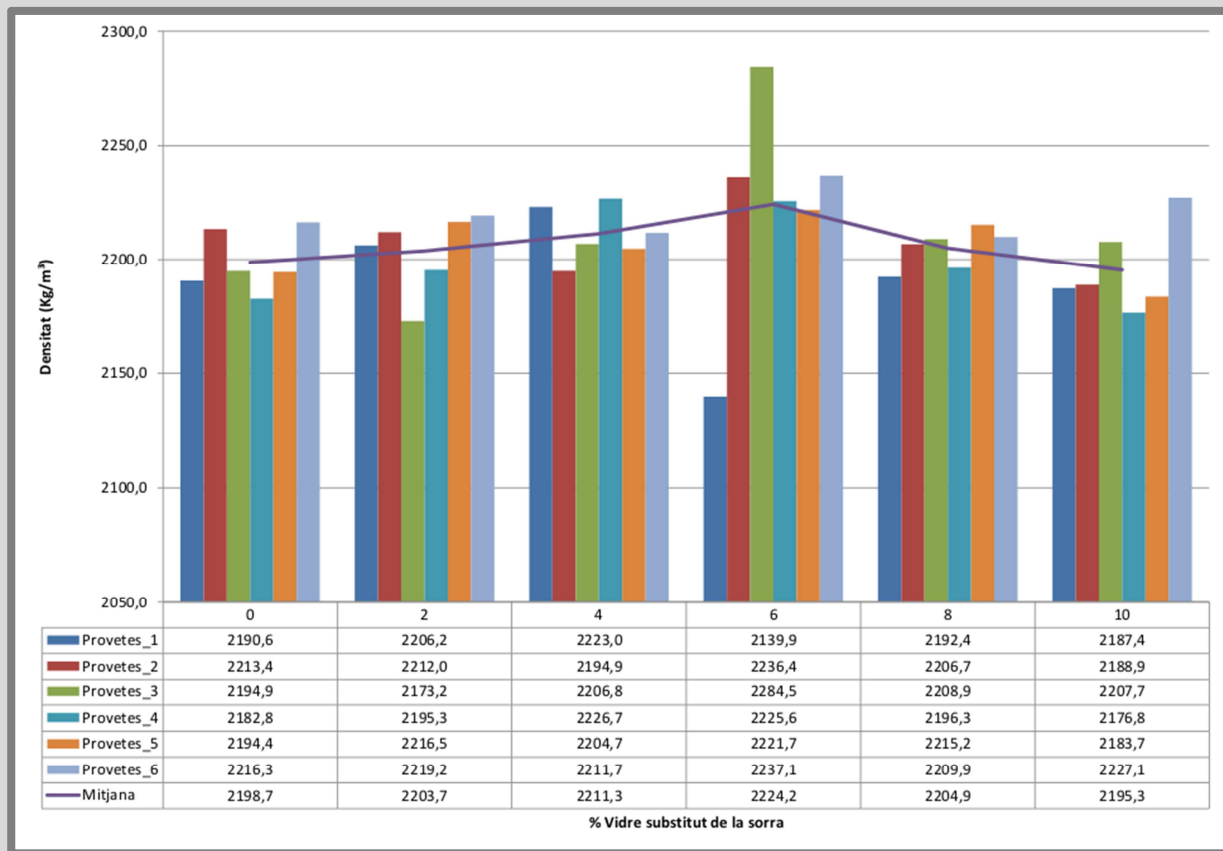
Taula 26: Densitat (kg/m³) en condicions de recepció de les mostres de la fase 3. Font: Pròpia

Que es poden resumir en la taula de mitjanes següents:

Sèrie	Tipus vidre	% Vidre com a substitut de la sorra					
		0	2	4	6	8	10
A	Pols	2198,7	2203,7	2211,3	2224,2	2204,9	2195,3
B	m<4	2198,7	2190,6	2192,9	2198,9	2193,2	2199,5
C	4<m<8	2198,7	2194,9	2202,5	2185,0	2167,3	2195,8

Taula 27: Valors mitjans de densitat (kg/m³) en condicions de recepció de les mostres de la fase 3. Font: Pròpia

Vidre en pols



Gràfic 24: Gràfic de densitat de les mostres de formigó de la sèrie A, fase 3. Font: Pròpia

Analizant els resultats obtinguts d'aquesta tipologia de vidre es fan les següents observacions:

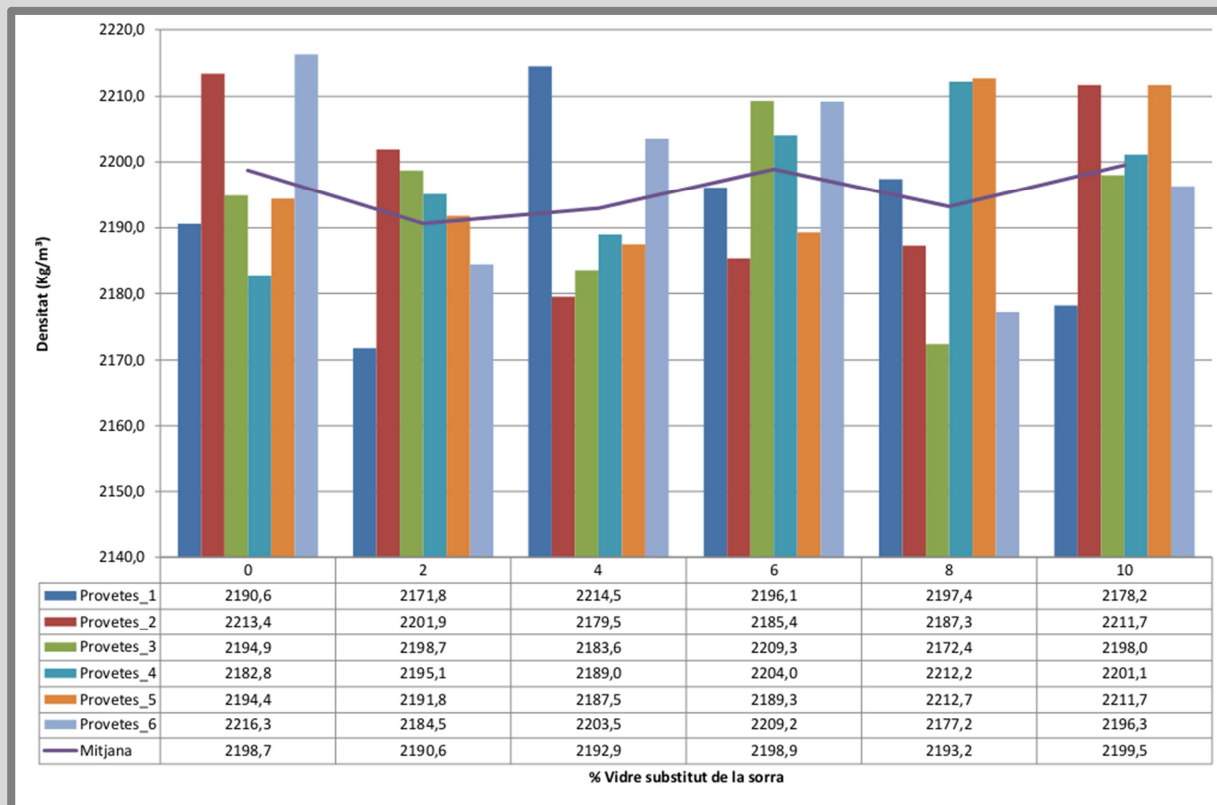
- Que la tendència del formigó elaborat amb aquesta tipologia d'àrid reciclat en l'interval analitzat és la de mostrar valors similars de densitat.
- Que les mostres de vidre en pols tenen una variació de la densitat respecte al formigó convencional que es correspon amb la taula següent:

Percentatge de vidre com a substitut de la sorra	2%	4%	6%	8%	10%
Variació de la densitat del formigó endurit, en %	+0,23	+0,57	+1,16	+0,28	-0,16

I en resum es conclou:

- Que la tendència del formigó elaborat amb vidre en pols és una lleugera fluctuació dels valors de la densitat.

Vidre mòlt de mida inferior a 4 mm



Gràfic 25: Gràfic de densitat de les mostres de formigó de la sèrie B, fase 3. **Font:** Pròpia

Analitzant els resultats obtinguts d'aquesta tipologia de vidre es fan les següents observacions:

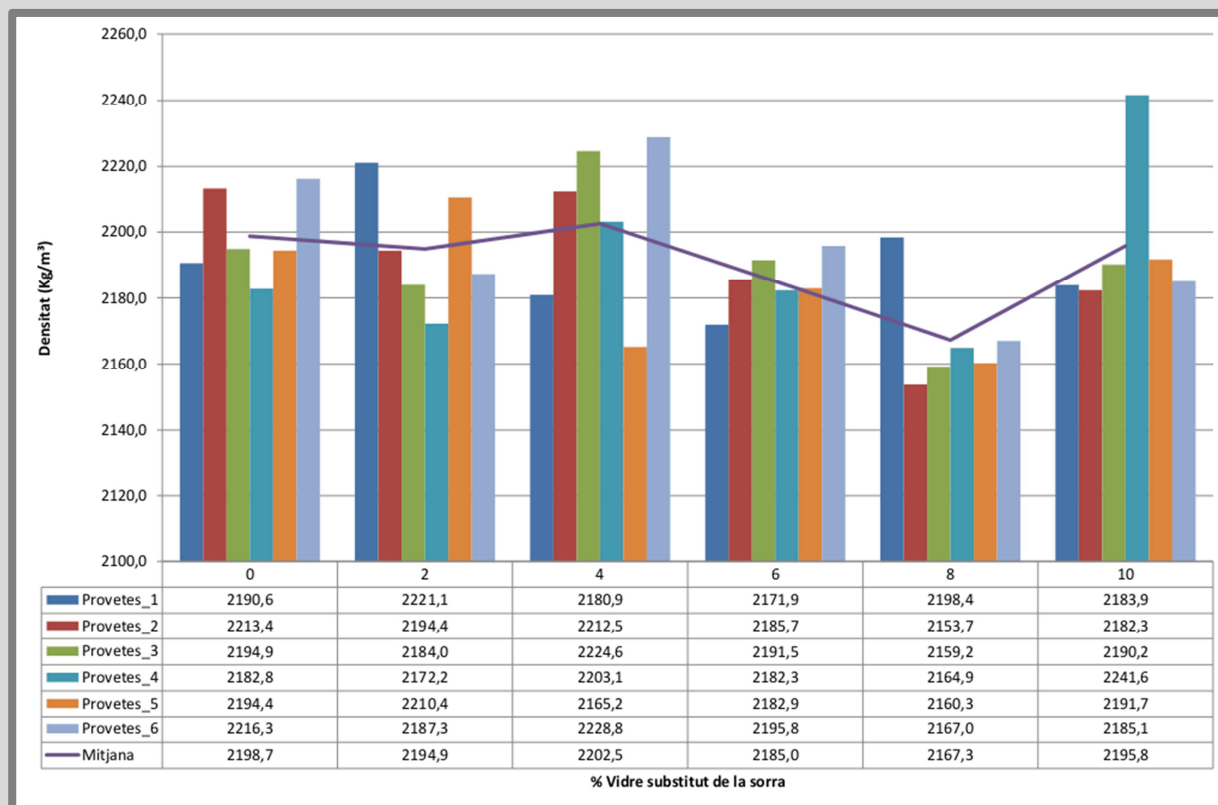
- Que la tendència del formigó elaborat amb aquesta tipologia d'àrid reciclat en l'interval analitzat és la de mostrar valors similars de densitat.
- Que les mostres de vidre en pols tenen una variació de la densitat respecte al formigó convencional que es correspon amb la taula següent:

Percentatge de vidre com a substitut de la sorra	2%	4%	6%	8%	10%
Variació de la densitat del formigó endurit, en %	-0,37	-0,26	+0,01	-0,25	+0,03

I en resum es conclou:

- Que la tendència del formigó elaborat amb vidre de mida inferior a 4 mm és una lleugera fluctuació dels valors de la densitat.

Vidre mòlt de mida entre 4 i 8 mm



Gràfic 26: Gràfic de densitat de les mostres de formigó de la sèrie C, fase 3. **Font:** Pròpia

Analitzant els resultats obtinguts d'aquesta tipologia de vidre es fan les següents observacions:

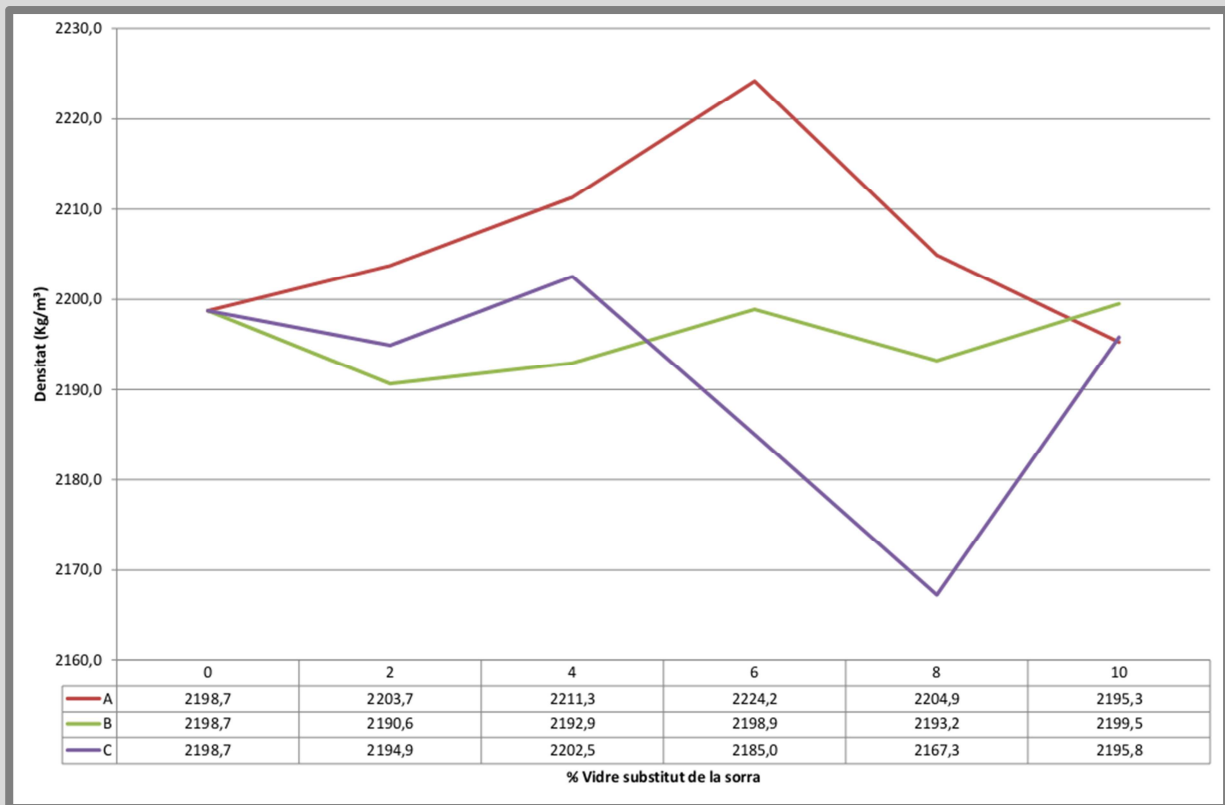
- Que la tendència del formigó elaborat amb aquesta tipologia d'àrid reciclat en l'interval analitzat és la de mostrar valors similars de densitat.
- Que les mostres de vidre en pols tenen una variació de la densitat respecte al formigó convencional que es correspon amb la taula següent:

Percentatge de vidre com a substitut de la sorra	2%	4%	6%	8%	10%
Variació de la densitat del formigó endurit, en %	-0,17	+0,17	-0,62	-1,43	-0,13

I en resum es conclou:

- Que la tendència del formigó elaborat amb vidre de mida entre 4 i 8 mm és una lleugera fluctuació dels valors de la densitat.

Comparació entre les diferents tipologies de vidre



Gràfic 27: Gràfic comparatiu de densitats de les mostres de formigó de la fase 3. **Font:** Pròpia

Analitzant els resultats i comparant els formigons elaborats amb diferents tipus de vidre es fan les següents observacions:

- Que la tendència del formigó elaborat amb vidre en pols i mòlt en l'interval analitzat és la de mostrar valors similars de densitat.
- Que el formigó que proporciona majors valors de densitat és el elaborat amb vidre en pols.

I en resum es conclou:

- Que el comportament del vidre mòlt i en pols es similar en quan a valors de densitat, essent aquest últim tipus el que major densitat obté.

CONCLUSIONS GENERALS

En relació amb totes les observacions realitzades en cadascuna de les fases anteriors es conclou:

- Que pel que fa al vidre com a substitut de la sorra en l'elaboració de formigons, els valors de densitats són lleugerament fluctuants, essent sempre molt similars a la densitat del formigó convencional.
- Que la inclusió de vidre com a substitut de la sorra en l'elaboració de formigons no té repercussió en quan a la densitat.

6.3. ASSAIG DE DETERMINACIÓ DE L'ABSORCIÓ D'AIGUA, LA DENSITAT I LA POROSITAT ACCESSIBLE A L'AIGUA DEL FORMIGÓ

INTRODUCCIÓ

Objectiu de l'assaig:	Determinar l'absorció d'aigua, la densitat i la porositat accessible a l'aigua del formigó.		
Tipologia:	Assaig no destructiu (excepte després de la ebullició de la mostra).		
Normativa de referència:	Norma UNE 83980:2014 "Durabilitat del formigó. Mètodes d'assaig. Determinació de l'absorció d'aigua, la densitat i la porositat accessible a l'aigua del formigó".		
Resum del procediment:	Les provetes es pesen en condicions d'assecat en estufa, saturació per immersió, ebullició i balança hidrostàtica i es determina el volum d'aquestes mitjançant mesures teòriques de motlle per posteriorment determinar-ne la densitat.		
Provetes a assajar:	2 Provetes cúbiques de cada dosificació.		
Màquina:	Balança / balança hidrostàtica		
Nombre de provetes assajades			
Fase	Núm. de sèries	Provetes per sèrie	Provetes totals
3	16	2	32
Total de provetes fabricades			32

Taula 28: Taula introductòria de l'assaig de determinació de l'absorció d'aigua, la densitat i la porositat accessible a l'aigua del formigó. **Font:** Pròpia

L'assaig de determinació de l'absorció d'aigua, la densitat i la porositat accessible a l'aigua del formigó consisteix en determinar la massa de les provetes, després del seu condicionament, en els següents estats:

- Assecat en estufa.
- Saturació per immersió.
- Ebullició o buit.
- Balança hidrostàtica.

Per posteriorment calcular:

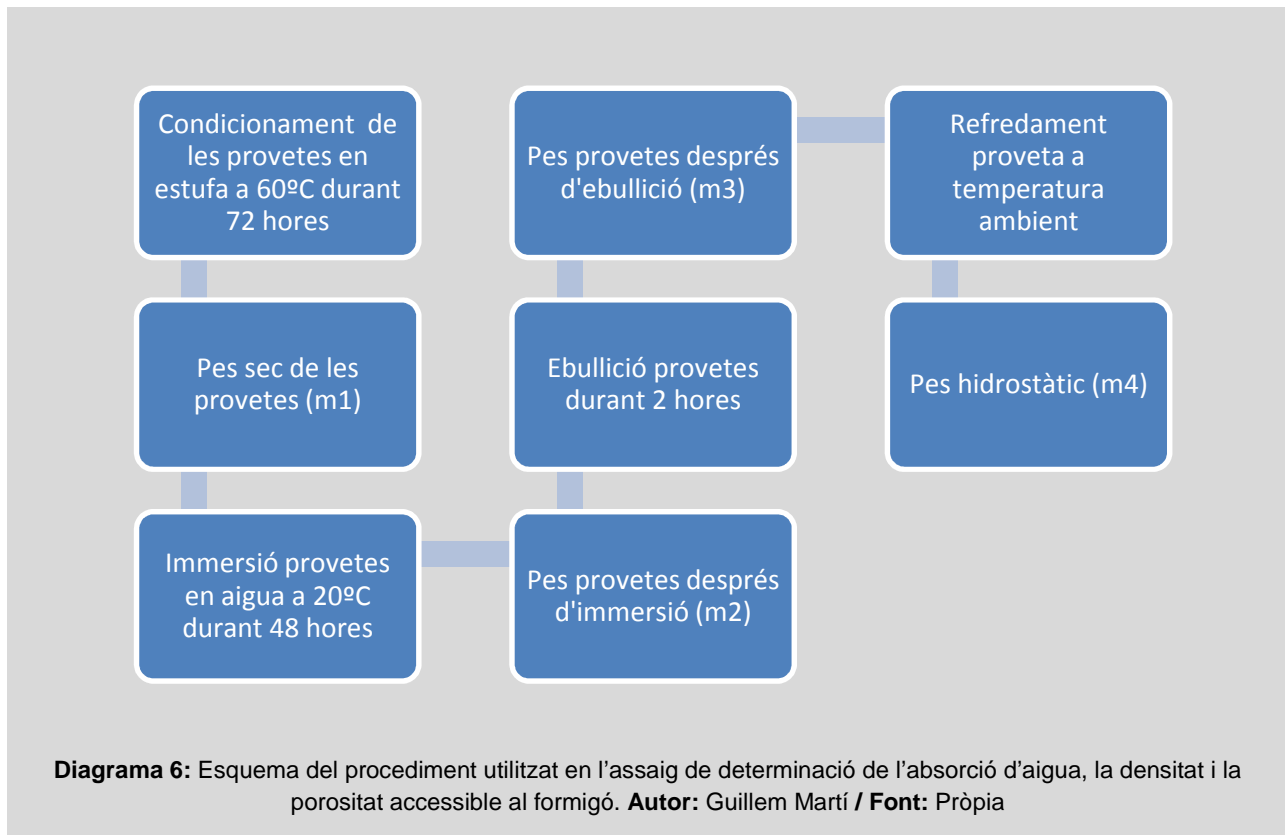
- Percentatge d'absorció d'aigua després d'immersió.
- Percentatge d'absorció després d'immersió i ebullició/buit.
- Densitat en sec
- Densitat aparent.
- Percentatge de porositat accessible a l'aigua.

EQUIP

- Estufa de dessecació: a $(60\pm 5)^{\circ}\text{C}$.
- Recipient amb aigua a $(20\pm 5)^{\circ}\text{C}$.
- Placa tèrmica elèctrica: Capaç de funcionar a $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$.
- Recipient en el qual es realitza l'ebullició.
- Element d'elevació de les provetes per mantenir-les separades del fons del recipient.
- Taula talladora de formigó.
- Balança.
- Balança hidrostàtica equipada amb cistella.

PROCEDIMENT

El procediment que s'ha utilitzat per realitzar l'assaig ha estat el següent:



Les mostres es van pesar de quatre formes diferents per a la determinació de la seva massa:

Mesura del pes sec (m_1)

El pes sec de la proveta, m_1 , s'ha determinat després del condicionament en l'estufa del laboratori a una temperatura entre 60 i 65°C, durant unes 72 hores, per tal que la seva variació en pes s'estabilitzés.

6. PROCÉS EXPERIMENTAL



Imatge 34: Condicionament de les provetes a l'estufa de laboratori per tal de determinar el pes sec, m1. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia



Imatge 35: Termòstat de l'estufa de laboratori configurat a temperatura entre 60 i 65°C. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

Mesura del pes després d'immersió (m_2)

Posteriorment, les provetes s'han submergit en aigua a $(20\pm 2)^\circ\text{C}$ fins no observar un increment significatiu de massa. Després s'ha eliminat l'aigua superficial present a la mostra, utilitzant un drap humit, obtenint la massa de la mostra saturada amb superfície seca.



Imatge 36: Saturació de les provetes submergides en aigua. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

Mesura del pes després de saturació per ebullició (m_3)

Hem optat per l'ebullició en comptes del procediment de buit, degut a les possibilitats d'assaig que ens ofereix el laboratori.

Un cop obtingut el pes de la mostra després de la immersió, aquesta s'ha introduït de nou en un recipient d'aigua i s'ha deixat bullir durant aproximadament dues hores. Passat aquest temps, es deixa refredar l'aigua, a temperatura ambient, fins que aquesta arribi a una temperatura pròxima als 20°C . Abans de realitzar la pesada corresponent, s'ha eliminat l'excés d'aigua de la superfície mitjançant un drap humit i s'ha registrat el seu pes: m_3 .



Imatge 37: Ebullició de les mostres de formigó mitjançant placa tèrmica. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

Pes aparent (m_4)

Per obtenir el pes aparent, s'ha de col·locar la balança en pes hidrostàtic. La cistella perforada s'ha d'enganxar a la balança i submergir-se completament. Es tara la balança i s'ha de col·locar la proveta a l'interior de la cistella, sense que aquesta toqui ni les parets ni el fons del dipòsit, i es registra el pes: m_4 .

Per finalitzar, es calcula l'absorció d'aigua, la densitat i la porositat accessible a l'aigua del formigó.

6. PROCÉS EXPERIMENTAL



Imatge 38: Balança hidrostàtica equipada amb cistella. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia



Imatge 39: Determinació pes m_4 mitjançant balança hidrostàtica. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

Resum de l'assaig de determinació de l'absorció d'aigua, la densitat i la porositat accessible a l'aigua del formigó

A continuació es mostra una taula resum del procés utilitzat en l'assaig de determinació de l'absorció d'aigua, la densitat i la porositat accessible a l'aigua del formigó.

Tasca	Descripció	Duració*
Condicionament de les provetes en estufa	S'introdueixen les provetes en estufa a 60°C i es deixen assecar durant 3 dies.	72 hores
Pes sec (m1)	Es mesura el pes sec.	1 minut
Immersió provetes en aigua	Es submergeixen les provetes en aigua a 20°C durant 2 dies.	48 hores
Pes provetes després d'immersió (m2)	Es mesura el pes després d'immersió, assecant les cares de la proveta amb un mocador.	1 minut
Ebullició provetes durant 2 hores	Es bullen les provetes durant 2 hores en una placa tèrmica.	2 hores
Refredament proveta a temperatura ambient	Es deixa refredar la proveta durant un mínim de 24 hores fins a temperatura ambient.	24 hores
Pes provetes després d'ebullició (m3)	Es mesura el pes després d'ebullició.	1 minut
Pes hidrostàtic (m4)	Es mesura el pes hidrostàtic mitjançant balança equipada amb cistella hidrostàtica.	1 minut
Temps d'assaigs		146 hores (≈6 dies)

Taula 29: Resum del procés d'assaig per a la determinació de l'absorció d'aigua, la densitat i la porositat accessible a l'aigua del formigó. **Font:** Pròpia

*La duració correspon al temps necessari d'assaig per a una sola proveta.

CÀLCULS I EXPRESSIÓ DE RESULTATS

Es determina l'absorció d'aigua, la densitat i la porositat accessible a l'aigua, amb les següents equacions:

$$\text{Absorció després d'immersió, \%} = \left[\frac{m_2 - m_1}{m_1} \right] \cdot 100$$

$$\text{Absorció després d'immersió i ebullició, \%} = \left[\frac{m_3 - m_1}{m_1} \right] \cdot 100$$

$$\text{Densitat en sec, } \rho_{seca} = \left[\frac{m_1}{m_3 - m_4} \right] \cdot \rho_{aigua}$$

$$\text{Densitat aparent, } \rho_{ap} = \left[\frac{m_1}{m_1 - m_4} \right] \cdot \rho_{aigua}$$

$$\text{Porositat accessible a l'aigua, \%} = \left[\frac{\rho_{ap} - \rho_{seca}}{\rho_{ap}} \right] \cdot 100 = \left[\frac{m_3 - m_1}{m_3 - m_4} \right] \cdot 100$$

On:

m_1 és el pes sec de la mostra, expressat en grams.

m_2 és el pes de la mostra després d'immersió, expressat en grams.

m_3 és el pes de la mostra després d'ebullició, expressat en grams.

m_4 és el pes aparent, expressat en grams.

ρ_{aigua} és la densitat de l'aigua, (1 g/cm³).

ρ_{seca} és la densitat en sec de la proveta, expressada en g/cm³.

ρ_{ap} és la densitat aparent de la proveta, expressada en g/cm³.

S'anoten tots els resultats individuals i es calculen els valors mitjans com la mitjana de resultats acceptables.

RESULTATS DE L'ASSAIG

A continuació es recullen tots els resultats d'aquest assaig.

Sèrie	Tipus vidre	% vidre com a substitut de la sorra	Núm. proveta	Pes (grams)					
				M1	M2	M3	M4		
Blanc	-	0	4	2136,7	2294,7	2295,0	1304,0		
			5	2145,7	2308,0	-	1316,0		
A	Pols	2	4	2140,4	2298,6	2299,5	1307,0		
			5	2160,5	2312,0	-	1318,0		
		4	4	2158,3	2309,2	2309,5	1314,0		
			5	2141,9	2287,0	-	1305,0		
		6	4	2153,9	2295,1	2295,5	1304,0		
			5	2145,5	2290,0	-	1301,0		
		8	4	2146,4	2299,0	2301,5	1310,0		
			5	2165,1	2314,0	-	1322,0		
		10	4	2129,6	2286,6	2287,0	1297,0		
			5	2136,3	2288,0	-	1300,0		
		B	m<4	2	4	2138,4	2299,0	2299,4	1302,0
					5	2141,6	2296,0	-	1306,0
				4	4	2132,7	2281,7	2281,9	1295,0
					5	2132,1	2285,0	-	1296,0
6	4			2140,5	2304,5	2305,9	1310,0		
	5			2112,9	2271,0	-	1283,0		
8	4			2150,3	2308,1	2308,3	1315,0		
	5			2151,4	2307,0	-	1311,0		
10	4			2136,3	2300,5	2301,2	1304,0		
	5			2151,3	2305,0	-	1310,0		
C	4<m<8			2	4	2130,7	2277,5	2278,2	1299,0
					5	2162,2	2313,0	-	1317,0
				4	4	2153,1	2318,2	2319,8	1323,0
					5	2117,0	2274,0	-	1291,0
		6	4	2129,4	2287,5	2287,2	1302,0		
			5	2130,3	2285,0	-	1302,0		
		8	4	2109,4	2283,4	2284,9	1297,0		
			5	2102,8	2270,0	-	1291,0		
		10	4	2179,2	2345,6	2347,1	1358,0		
			5	2132,0	2296,0	-	1305,0		

Taula 30: Pes de les mostres de la fase 3. Font: Pròpia

Sèrie	Tipus vidre	% vidre com a substitut de la sorra	Núm. proveta	Pes (grams)			
				M1	M2	M3	M4
Blanc	-	0	mitjana	2141,2	2301,4	2295,0	1310,0
A	Pols	2	mitjana	2150,5	2305,3	2299,5	1312,5
		4	mitjana	2150,1	2298,1	2309,5	1309,5
		6	mitjana	2149,7	2292,6	2295,5	1302,5
		8	mitjana	2155,8	2306,5	2301,5	1316,0
		10	mitjana	2133,0	2287,3	2287,0	1298,5
B	m<4	2	mitjana	2140,0	2297,5	2299,4	1304,0
		4	mitjana	2132,4	2283,4	2281,9	1295,5
		6	mitjana	2126,7	2287,8	2305,9	1296,5
		8	mitjana	2150,9	2307,6	2308,3	1313,0
		10	mitjana	2143,8	2302,8	2301,2	1317,0
C	4<m<8	2	mitjana	2146,5	2295,3	2278,2	1308,0
		4	mitjana	2135,1	2296,1	2319,8	1307,0
		6	mitjana	2129,9	2286,3	2287,2	1302,0
		8	mitjana	2106,1	2276,7	2284,9	1294,0
		10	mitjana	2155,6	2320,8	2347,1	1331,5

Taula 31: Pes mitjà de les mostres de la fase 3. Font: Pròpia

A continuació es mostra la taula de resultats referent a:

R1: Volum proveta mitjançant desplaçament d'aigua (balança hidrostàtica), expressat en dm^3 .

R2: Absorció després d'immersió, expressada en %.

R3: Absorció després d'immersió i ebullició, expressada en %.

R4: Densitat en sec, expressada en g/cm^3 .

R5: Densitat aparent, expressada en g/cm^3 .

R6: Porositat accessible a l'aigua, expressada en %.

Sèrie	Tipus vidre	% vidre com a substitut de la sorra	Núm. proveta	RESULTATS							
				R1	R2	R3	R4	R5	R6		
Blanc	-	0	4	0,9927	7,39	7,41	2156,1	2566,0	15,97		
			5	0,9940	7,56	-	-	2586,1	-		
A	Pols	2	4	0,9936	7,39	7,43	2156,6	2568,3	16,03		
			5	0,9960	7,01	-	-	2564,4	-		
		4	4	0,9972	6,99	7,01	2168,1	2556,3	15,19		
			5	0,9840	6,77	-	-	2559,3	-		
		6	4	0,9931	6,56	6,57	2172,4	2534,3	14,28		
			5	0,9910	6,74	-	-	2540,6	-		
		8	4	0,9910	7,11	7,23	2164,8	2566,2	15,64		
			5	0,9940	6,88	-	-	2568,0	-		
		10	4	0,9916	7,37	7,39	2151,1	2557,8	15,90		
			5	0,9900	7,10	-	-	2554,5	-		
		B	m<4	2	4	0,9990	7,51	7,53	2144,0	2556,7	16,14
					5	0,9920	7,21	-	-	2562,9	-
				4	4	0,9887	6,99	7,00	2161,0	2545,9	15,12
					5	0,9910	7,17	-	-	2550,1	-
6	4			0,9965	7,66	7,73	2149,3	2577,4	16,61		
	5			0,9900	7,48	-	-	2546,0	-		
8	4			0,9951	7,34	7,35	2164,8	2574,3	15,91		
	5			0,9980	7,23	-	-	2560,0	-		
10	4			0,9985	7,69	7,72	2142,3	2566,7	16,54		
	5			0,9970	7,14	-	-	2557,1	-		
C	4<m<8	2	4	0,9805	6,89	6,92	2176,0	2561,9	15,06		
			5	0,9980	6,97	-	-	2558,2	-		
		4	4	0,9972	7,67	7,74	2160,0	2593,8	16,72		
			5	0,9850	7,42	-	-	2563,0	-		
		6	4	0,9875	7,42	7,41	2161,4	2573,6	16,02		
			5	0,9850	7,26	-	-	2571,9	-		
		8	4	0,9884	8,25	8,32	2135,2	2596,5	17,76		
			5	0,9810	7,95	-	-	2590,3	-		
		10	4	0,9896	7,64	7,70	2203,2	2653,7	16,98		
			5	0,9930	7,69	-	-	2578,0	-		

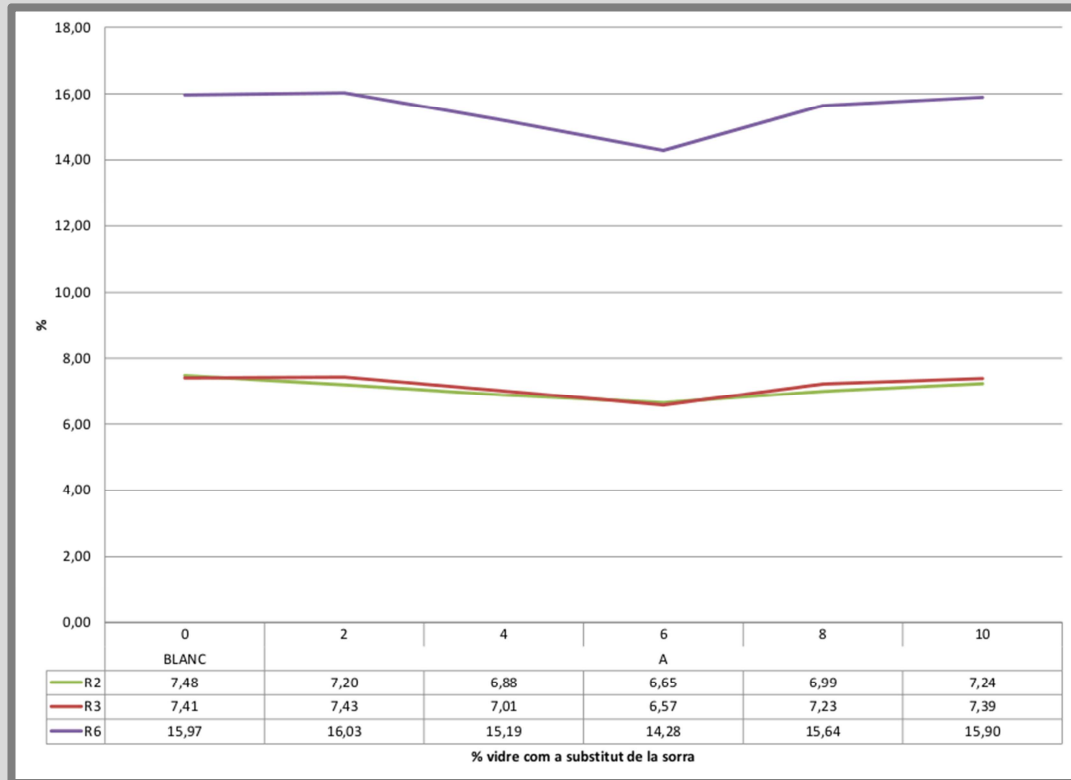
Taula 32: Resultats de les mostres de la fase 3. Font: Pròpia

Aquests valors es resumeixen al seu torn en la taula següent:

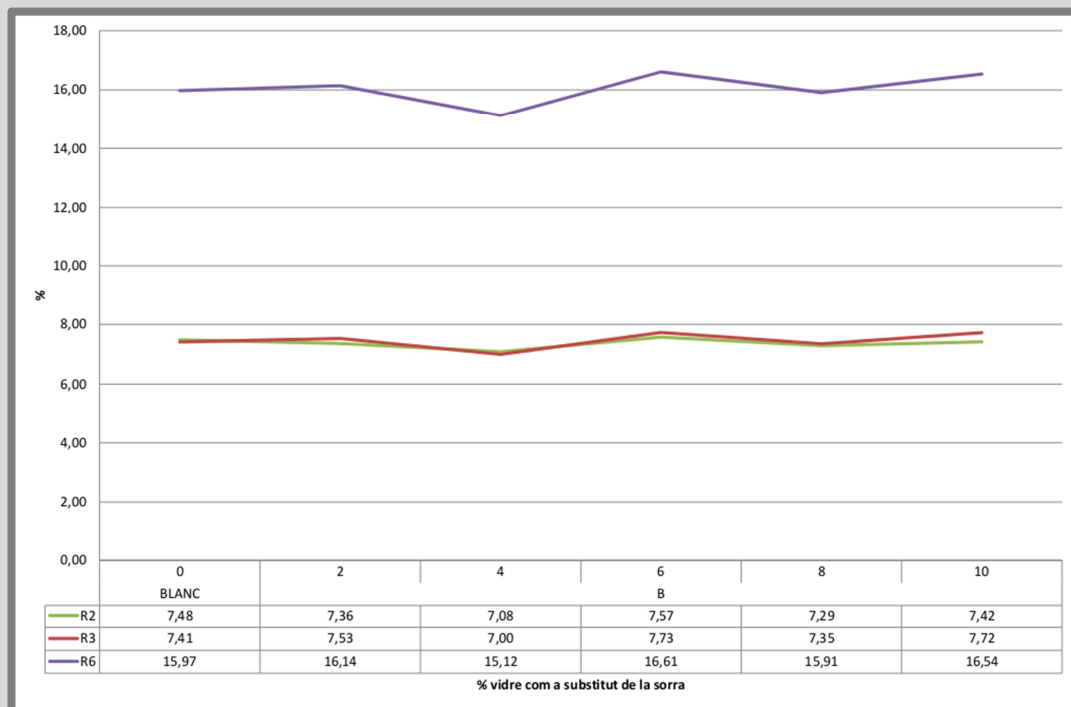
Sèrie	Tipus vidre	% vidre com a substitut de la sorra	Núm. proveta	RESULTATS					
				R1	R2	R3	R4	R5	R6
Blanc	-	0	mitjana	0,9933	7,48	7,41	2156,1	2576,1	15,97
A	Pols	2	mitjana	0,9948	7,20	7,43	2156,6	2566,3	16,03
		4	mitjana	0,9906	6,88	7,01	2168,1	2557,8	15,19
		6	mitjana	0,9920	6,65	6,57	2172,4	2537,4	14,28
		8	mitjana	0,9925	6,99	7,23	2164,8	2567,1	15,64
		10	mitjana	0,9908	7,24	7,39	2151,1	2556,1	15,90
B	m<4	2	mitjana	0,9955	7,36	7,53	2144,0	2559,8	16,14
		4	mitjana	0,9898	7,08	7,00	2161,0	2548,0	15,12
		6	mitjana	0,9932	7,57	7,73	2149,3	2561,7	16,61
		8	mitjana	0,9965	7,29	7,35	2164,8	2567,1	15,91
		10	mitjana	0,9977	7,42	7,72	2142,3	2561,9	16,54
C	4<m<8	2	mitjana	0,9892	6,93	6,92	2176,0	2560,0	15,06
		4	mitjana	0,9911	7,54	7,74	2160,0	2578,4	16,72
		6	mitjana	0,9862	7,34	7,41	2161,4	2572,7	16,02
		8	mitjana	0,9847	8,10	8,32	2135,2	2593,4	17,76
		10	mitjana	0,9913	7,66	7,70	2203,2	2615,8	16,98

Taula 33: Resultats de les mostres de la fase 3. Font: Pròpia

6. PROCÉS EXPERIMENTAL

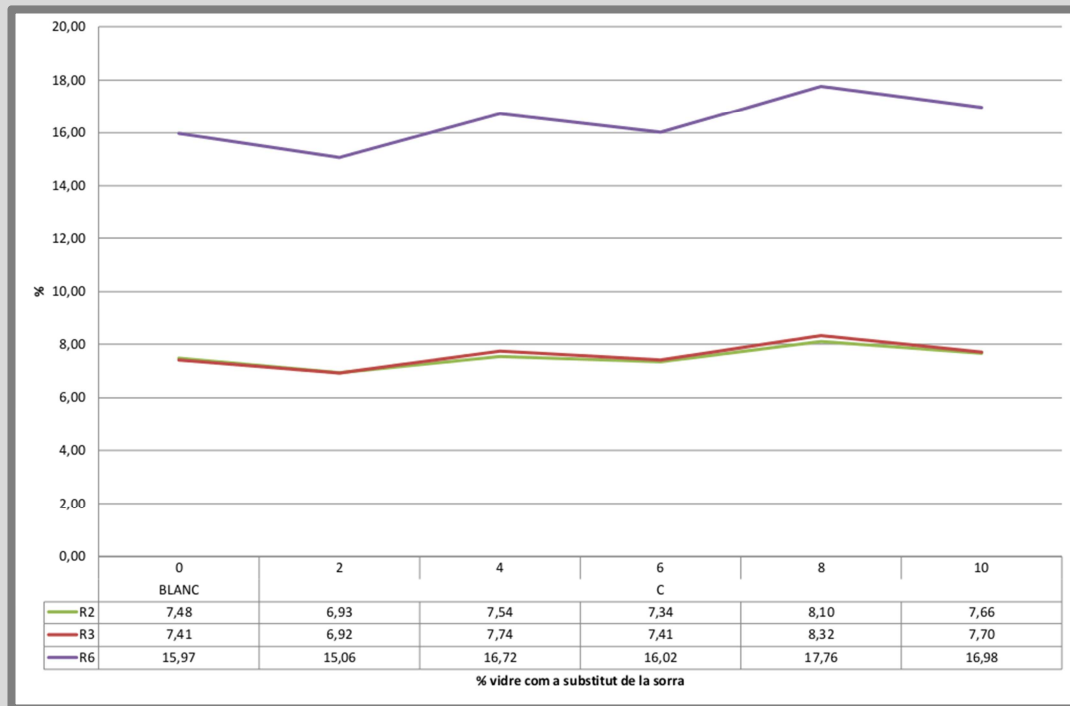


Gràfic 28: Gràfic d'absorció després d'immersió, absorció després d'immersió i ebullició i porositat accessible a l'aigua de les mostres de formigó de la sèrie A. Font: Pròpia

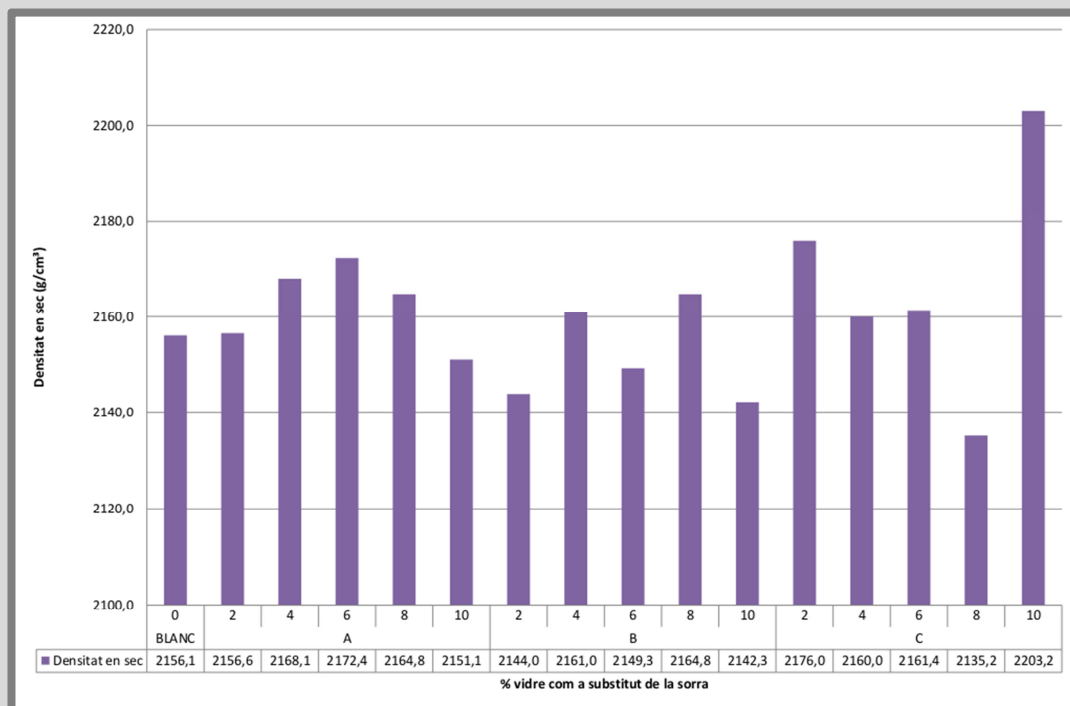


Gràfic 29: Gràfic d'absorció després d'immersió, absorció després d'immersió i ebullició i porositat accessible a l'aigua de les mostres de formigó de la sèrie B. Font: Pròpia

6. PROCÉS EXPERIMENTAL

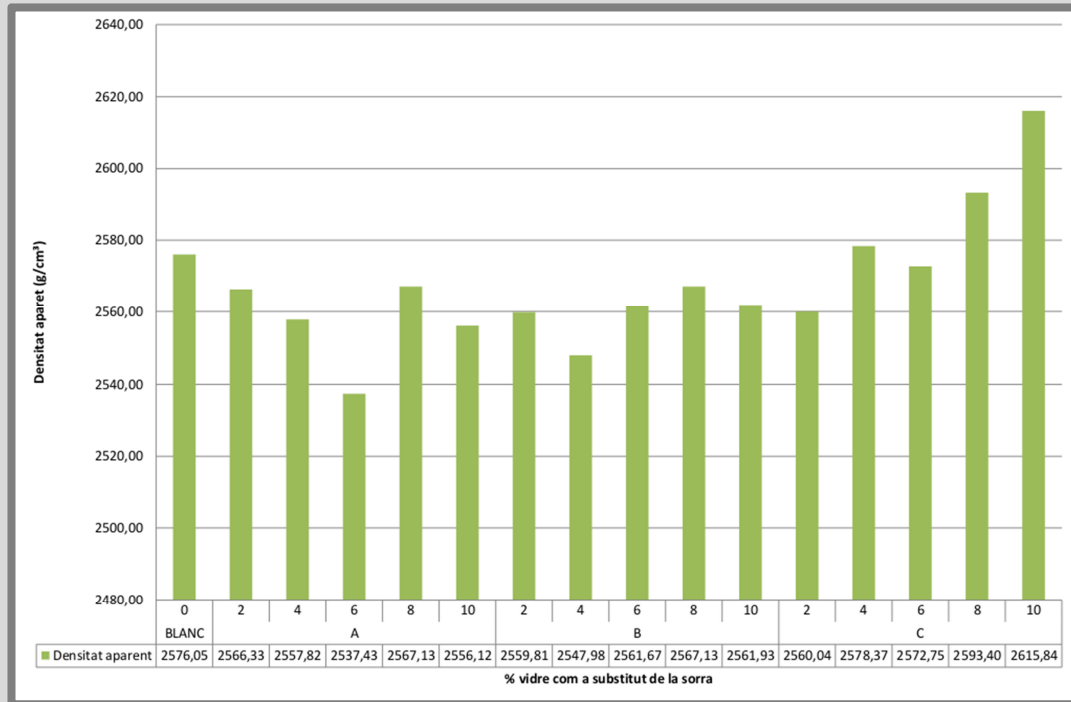


Gràfic 30: Gràfic d'absorció després d'immersió, absorció després d'immersió i ebullició i porositat accessible a l'aigua de les mostres de formigó de la sèrie C. Font: Pròpia



Gràfic 31: Densitat en sec de les mostres de formigó. Font: Pròpia

6. PROCÉS EXPERIMENTAL



Gràfic 32: Densitat aparent de les mostres de formigó. Font: Pròpia

CONCLUSIONS GENERALS

Dels resultats i gràfiques anteriors s'extreuen les següents conclusions:

- Que l'absorció després d'immersió, i l'absorció després d'immersió i ebullició, es manté en resultats similars en quan es comparen les mostres fabricades amb els tres tipus de vidre, situant-se en valors entre un 6 i un 9%.
- Que la porositat accessible a l'aigua es manté en resultats similars en quan es comparen les mostres fabricades amb els tres tipus de vidre, situant-se en valors pròxims a un 16%.
- Que la porositat accessible a l'aigua té una certa tendència d'augment en les provetes de formigó elaborades amb vidre molt de mida entre 4 i 8 mm.
- Que la tendència de la densitat en sec de les provetes elaborades amb vidre és tenir valors inferiors a la densitat en sec del formigó convencional, amb una tendència contrària pel que respecte a les mostres elaborades amb el vidre de major mida.
- Que la tendència de la densitat aparent de les provetes elaborades amb vidre és tenir valors inferiors a la densitat en sec del formigó convencional, amb una tendència contrària pel que respecte a les mostres elaborades amb el vidre de major mida.
- Que pel que fa a la densitat aparent i en sec, les mostres elaborades amb vidre en pols i formigó molt tenen un comportament similar, a excepció de les de vidre molt de mida entre 4 i 8 mm, on aquest valors augmenten.

6.4. ASSAIG DE DETERMINACIÓ DE L'ABSORCIÓ D'AIGUA PER CAPIL·LARITAT DEL FORMIGÓ ENDURIT

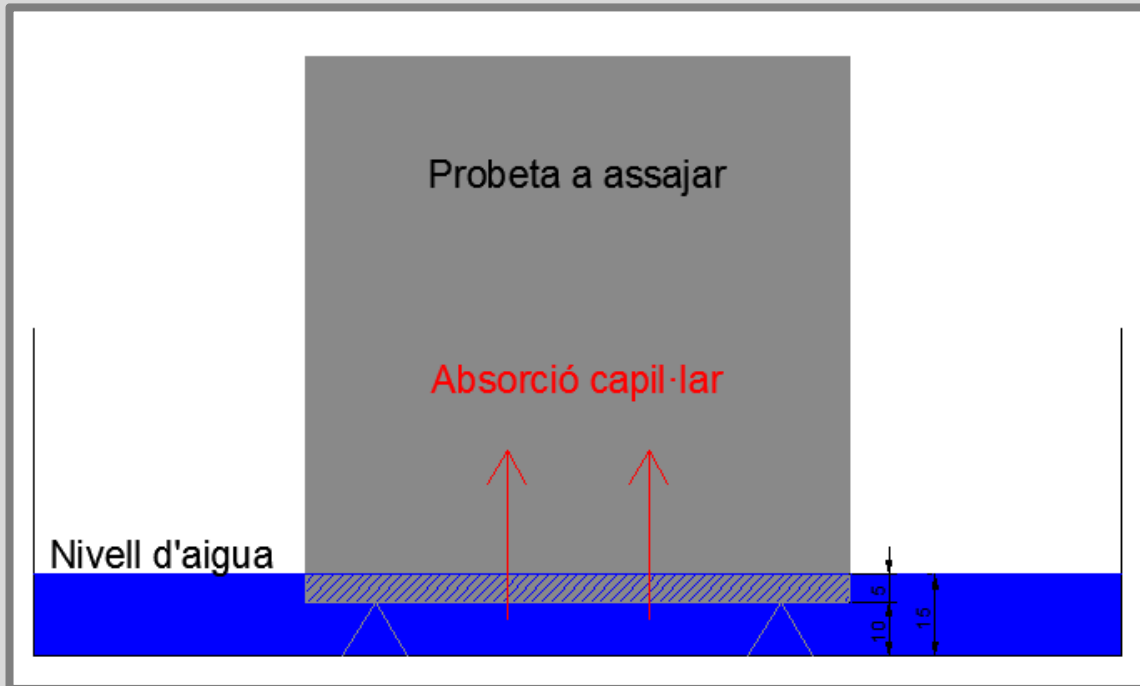
INTRODUCCIÓ

Objectiu de l'assaig:	Determinar l'absorció d'aigua per capil·laritat del formigó endurit.		
Tipologia:	Assaig no destructiu.		
Normativa de referència:	Norma UNE 83982:2008 "Durabilitat del formigó. Mètodes d'assaig. Determinació de l'absorció d'aigua per capil·laritat de formigó endurit. Mètode Fagerlund".		
Resum del procediment:	Les provetes es pesen en condicions d'assecat en estufa, per posteriorment situar-se en una safata amb una làmina d'aigua que cobreix una porció de la proveta, es deixen transcorre un cert temps i es va mesurant el pes fins que s'estabilitza l'increment d'aigua absorbida.		
Provetes a assajar:	2 Provetes cúbiques de cada dosificació.		
Màquina:	Balança		
Nombre de provetes assajades			
Fase	Núm. de sèries	Provetes per sèrie	Provetes totals
3	16	2	32
Total de provetes fabricades			32

Taula 34: Taula introductòria de l'assaig de determinació de l'absorció d'aigua per capil·laritat del formigó endurit.

Font: Pròpia

La succió capil·lar es defineix com la relació entre el volum d'aigua absorbit per unitat d'àrea entre l'arrel quadrada del temps.



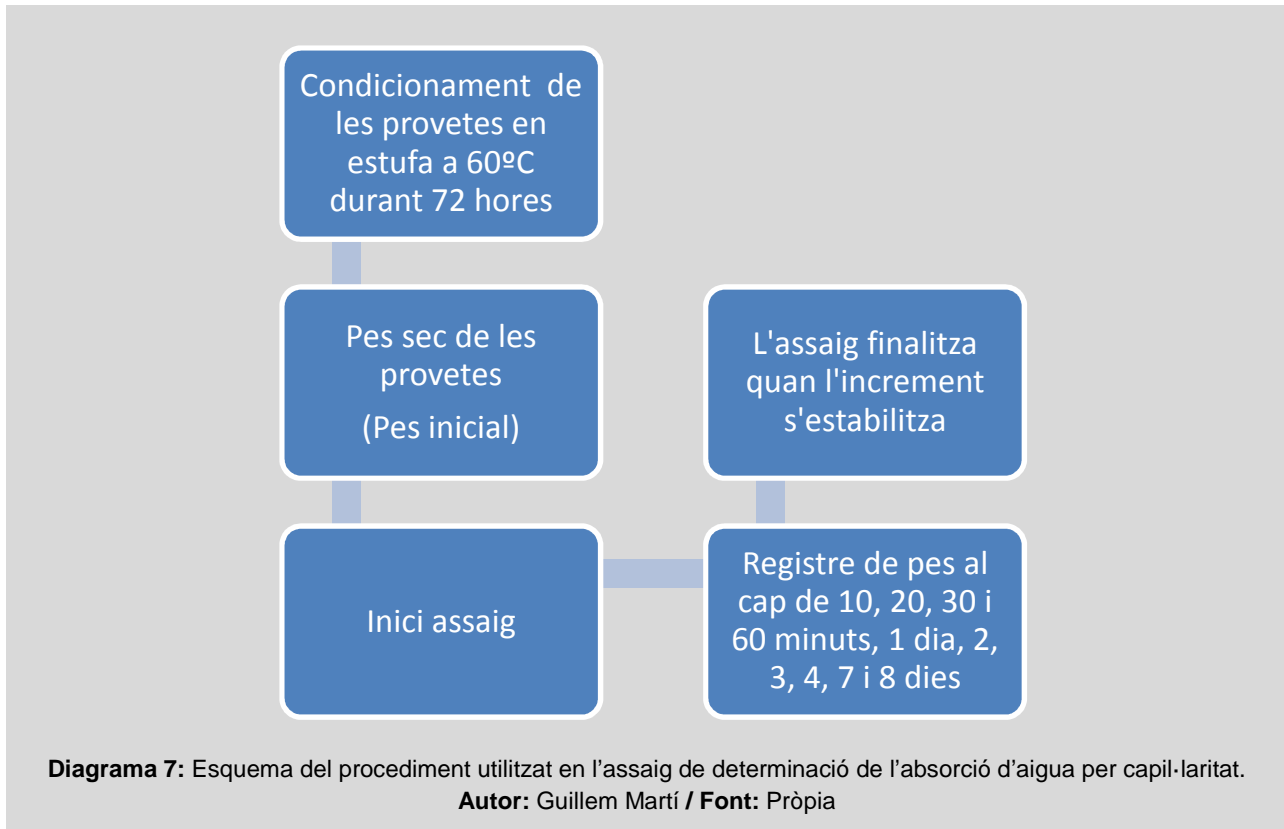
Imatge 40: Esquema de l'assaig de capil·laritat. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

EQUIP

- Estufa de dessecació: a $(60\pm 5)^{\circ}\text{C}$.
- Balança.
- Safates planes i estanques.
- Regle.
- Rellotge.
- Material complementari.

PROCEDIMENT

El procediment que s'ha utilitzat per realitzar l'assaig ha estat el següent:



Consideracions prèvies

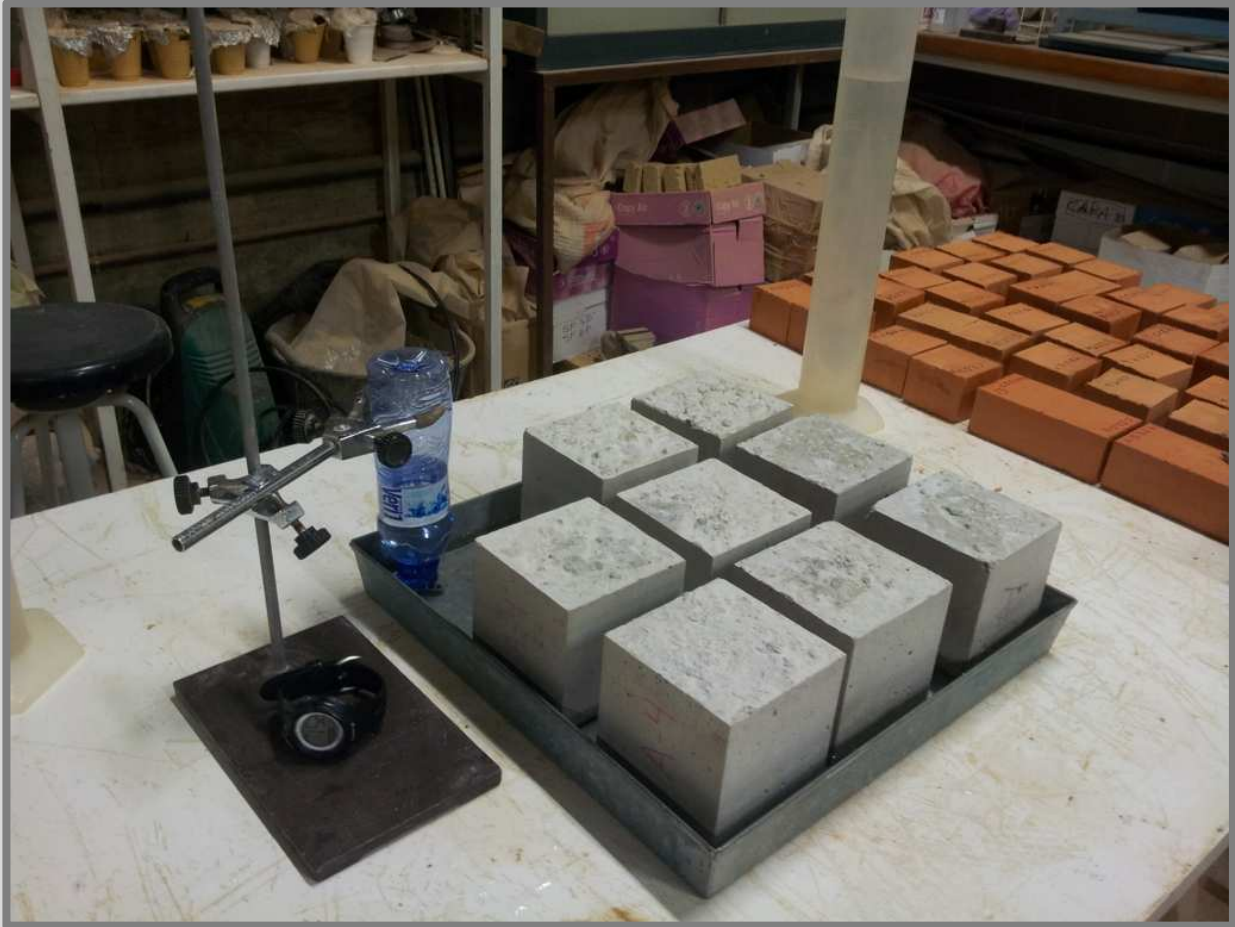
Les mostres han d'estar completament seques abans d'iniciar-se l'assaig, per això, després del període de curat a la cambra humida, s'introdueixen al forn en les de 60-65° fins a estabilitzar-se la pèrdua de pes per dessecació.



Imatge 41: Preparació de l'assaig de capil·laritat. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

Mètode d'assaig

Després de condicionar les provetes, es col·loquen sobre les bases de recolzament situades a l'interior del recipient, que prèviament es deixa amb un nivell d'aigua. S'introdueix aigua en el recipient citat anteriorment, amb cura de no mullar la superfície del formigó, fins aconseguir una làmina d'aigua amb una altura de 5 mm en la cara lateral de la proveta. S'ha de mantenir el nivell d'aigua al llarg de l'assaig, afegint aigua si fos necessari, degut a la mateixa absorció d'aigua que realitzaran les provetes.



Imatge 42: Assaig de capil·laritat. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

Preses de mesures

Un cop realitzada la preparació de l'assaig, i prèviament havent estat pesades les provetes en les condicions inicials (temps 0), es posa el temps en marxa i es realitzen pesades als 10, 20, 30 i 60 minuts, 1 dia, 2, 3, 4, 7 i 8 dies. S'han pesat les mostres en cadascun d'aquests instants, de manera que l'increment de pes de la mateixa, és directament el pes de l'aigua absorbida. Totes les operacions de pesat han estat precedides d'un lleuger assecat de l'aigua superficial present en la cara de la proveta en contacte amb l'aigua. L'assaig finalitza quan l'augment de pes s'estabilitza.

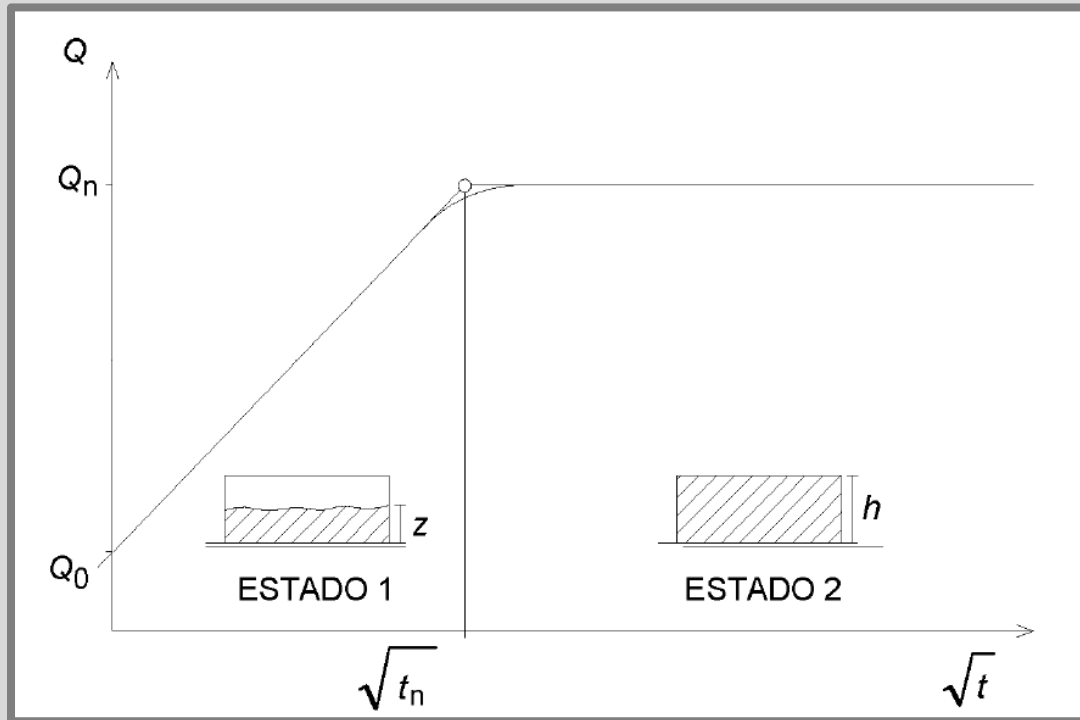
6. PROCÉS EXPERIMENTAL



Imatge 43: Sistema de manteniment del nivell d'aigua durant l'assaig de capil·laritat. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia



Imatge 44: Registre d'increment de pes de l'assaig de capil·laritat. És pot observar l'augment de l'absorció d'aigua en les cares de la proveta. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia



Imatge 45: Gràfic de resultats de l'assaig de capil·laritat. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia

Resum de l'assaig de determinació de l'absorció d'aigua per capil·laritat en el formigó endurit

A continuació es mostra una taula resum del procés utilitzat en l'assaig de determinació de l'absorció d'aigua per capil·laritat del formigó:

Tasca	Descripció	Duració*
Condicionament de les provetes en estufa	S'introdueixen les provetes en estufa a 60°C i es deixen assecat durant 3 dies.	72 hores
Pes sec (m1)	Es mesura el pes sec.	1 minut
Inici de l'assaig	S'inicia l'assaig	-
Pes de les provetes	Es mesura el pes al cap de 10, 20, 30 i 60 minuts i 1, 2, 3, 4, 7 i 8 dies.	192 hores
Temps d'assaigs		264 hores (≈11 dies)

Taula 35: Resum del procés d'assaig per a la determinació de l'absorció d'aigua per capil·laritat. Font: Pròpia

*La duració correspon al temps necessari d'assaig per a una sola proveta.

CÀLCULS I EXPRESSIÓ DE RESULTATS

Es determina l'absorció d'aigua per capil·laritat K , expressat en $\text{kg/m}^2\text{min}^{1/2}$, amb les següents equacions:

$$K = \frac{\delta_a \cdot \varepsilon_e}{10 \cdot \sqrt{m}}$$

$$\varepsilon_e = \frac{Q_n - Q_0}{A \cdot h \cdot \delta_a}$$

$$m = \frac{t_n}{h^2}$$

On:

δ_a és la densitat de l'aigua, (es considera el valor de 1 g/cm^3).

ε_e és la porositat efectiva del formigó, expressada en cm^3/cm^3 .

m és la resistència a la penetració de l'aigua per l'absorció capil·lar, expressat en min/cm^2 .

Q_n és el pes de la proveta quan arriba a la saturació, expressat en grams.

Q_0 és el pes de la proveta abans d'iniciar l'assaig, expressat en grams.

A és la secció de la proveta, expressada en cm^2 .

h és l'espessor de la proveta, expressada en cm .

t_n és el període de temps necessari per arribar a la saturació, expressat en minuts.

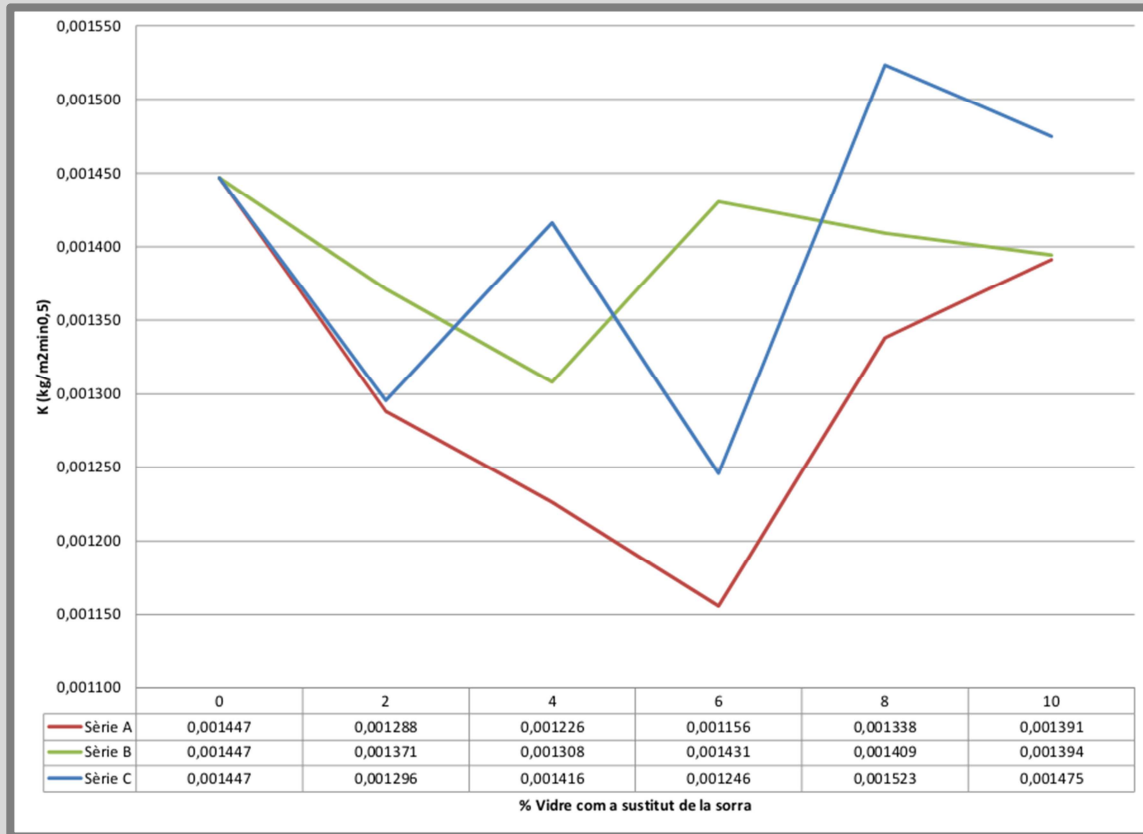
S'anoten tots els resultats individuals i es calculen els valors mitjans com la mitjana de resultats acceptables.

RESULTATS DE L'ASSAIG

A continuació es recullen tots els resultats d'aquest assaig.

Sèrie	Tipus vidre	% vidre com a substitut de la sorra	Núm. proveta	Kg/m ² min ^{0,5}			
				K	K mitjana		
Blanc	-	0	4	0,001417	0,001447		
			5	0,001477			
A	Pols	2	4	0,001259	0,001288		
			5	0,001317			
		4	4	0,001200	0,001226		
			5	0,001252			
		6	4	0,001156	0,001156		
			5	0,001155			
		8	4	0,001342	0,001338		
			5	0,001334			
		10	4	0,001388	0,001391		
			5	0,001394			
		B	m<4	2	4	0,001380	0,001371
					5	0,001362	
4	4			0,001298	0,001308		
	5			0,001318			
6	4			0,001454	0,001431		
	5			0,001407			
8	4			0,001410	0,001409		
	5			0,001409			
10	4			0,001399	0,001394		
	5			0,001389			
C	4<m<8	2	4	0,001269	0,001296		
			5	0,001322			
		4	4	0,001454	0,001416		
			5	0,001378			
		6	4	0,001321	0,001246		
			5	0,001170			
		8	4	0,001528	0,001523		
			5	0,001519			
		10	4	0,001490	0,001475		
			5	0,001460			

Taula 36: Resultats assaig capil·laritat de les mostres de la fase 3. **Font:** Pròpia



Gràfic 33: Gràfic d'absorció per capil·laritat del formigó endurit. Font: Pròpia

CONCLUSIONS GENERALS

Dels resultats i gràfiques anteriors s'extreuen les següents conclusions:

- Que l'absorció d'aigua per capil·laritat del formigó endurit té tendència a disminuir en les provetes elaborades amb formigó amb vidre respecte el formigó convencional.
- Que la sèrie de provetes de formigó realitzades amb vidre mòlt de mida entre 4 i 8 mm és l'única sèrie que té valors d'absorció capil·lar superiors al formigó convencional, i aquests es registren a partir de un 8% de vidre com a substitut de la sorra.
- Que la sèrie de provetes de formigó elaborades amb vidre en pols té el valor més baix pel que respecte a absorció capil·lar, i aquest correspon a un formigó amb un 6% de vidre com a substitut de la sorra.

6.5. ASSAIG DE DETERMINACIÓ DE LA VELOCITAT DE PENETRACIÓ DE LA CARBONATACIÓ EN EL FORMIGÓ ENDURIT

INTRODUCCIÓ

Objectiu de l'assaig:	Determinar la velocitat de penetració de la carbonatació en el formigó endurit		
Tipologia:	Assaig destructiu.		
Normativa de referència:	Norma UNE 83991-1:2013 "Durabilitat del formigó. Mètodes d'assaig. Determinació de la velocitat de penetració de la carbonatació en el formigó endurit. Part 1. Mètode natural".		
Resum del procediment:	Les provetes es conserven en un recinte d'assaig exposades a l'ambient natural durant 3 mesos. Transcorregut aquest període, es tallen per la meitat i se'ls aplica una dissolució de fenolftaleïna que en revela la carbonatació.		
Provetes a assajar:	1 Provena cúbica de cada dosificació.		
Màquina:	Taula talladora de formigó i dissolució de fenolftaleïna.		
Durada exposició:	3 mesos		
Nombre de provetes assajades			
Fase	Núm. de sèries	Provetes per sèrie	Provetes totals
3	16	1	16
Total de provetes fabricades			16

Taula 37: Taula introductòria de l'assaig de determinació de la velocitat de penetració de la carbonatació en el formigó endurit. **Font:** Pròpia

La carbonatació es defineix com la reacció dels components alcalins que són presents en la pasta del ciment, amb el diòxid de carboni atmosfèric, que resulta en la disminució del valor del pH del formigó. D'altra banda, la profunditat de carbonatació és la distància mitja, mesurada en mm, a partir de la superfície del formigó, en la que el diòxid de carboni (CO₂) ha reduït l'alcalinitat del ciment hidratat fins a tal punt que una dissolució indicadora de fenolftaleïna es manté incolora.

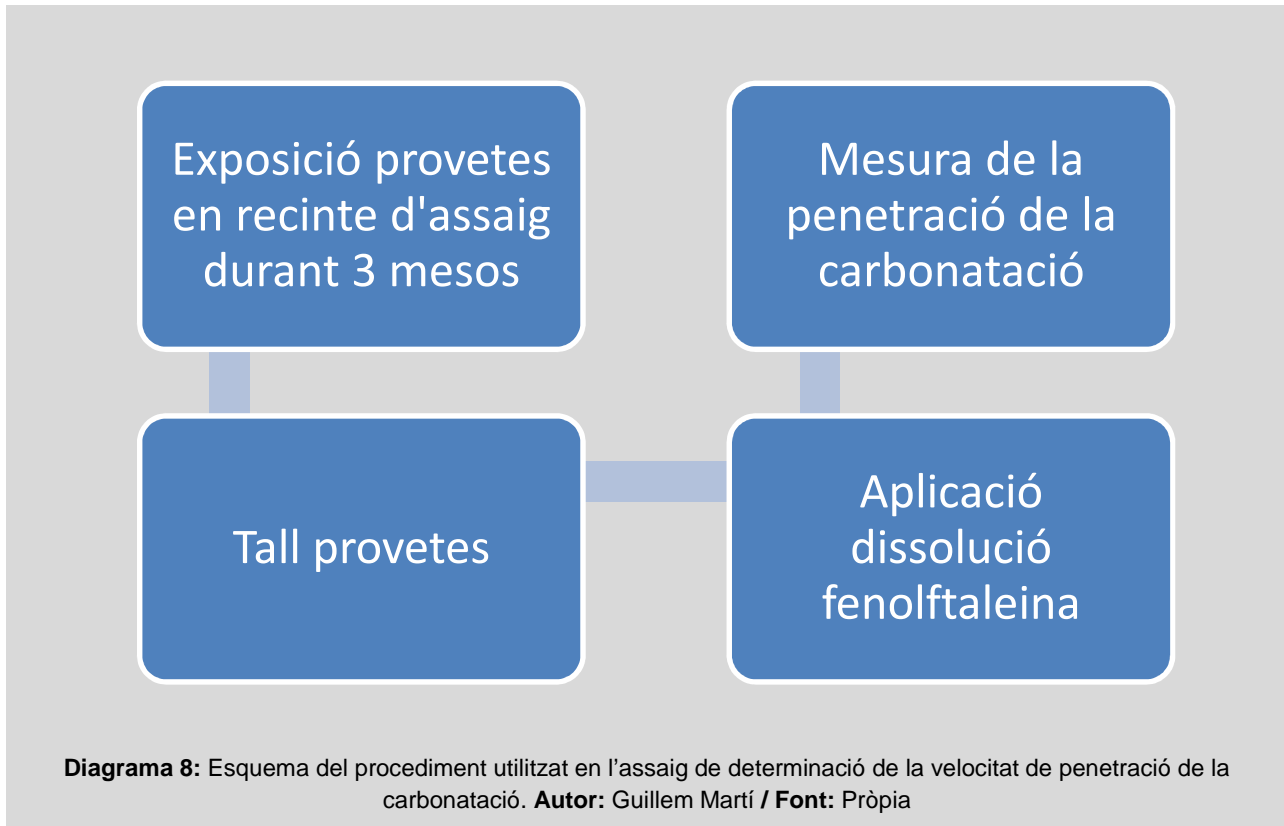
L'assaig consisteix en determinar la profunditat i la velocitat de carbonatació d'un formigó endurit suposant l'avanç difús del CO₂ per fronteres mòbils.

EQUIP

- Recinte d'assaig exposat a l'ambient natural.
- Dispositiu per controlar la temperatura i la humitat.
- Taula talladora de formigó.
- Dissolució de fenolftaleïna.
- Regle.

PROCEDIMENT

El procediment que s'ha utilitzat per realitzar l'assaig ha estat el següent:



Consideracions prèvies

Les mostres s'obtenen d'una proveta normalitzada segons la Norma UNE-EN 12390-2.

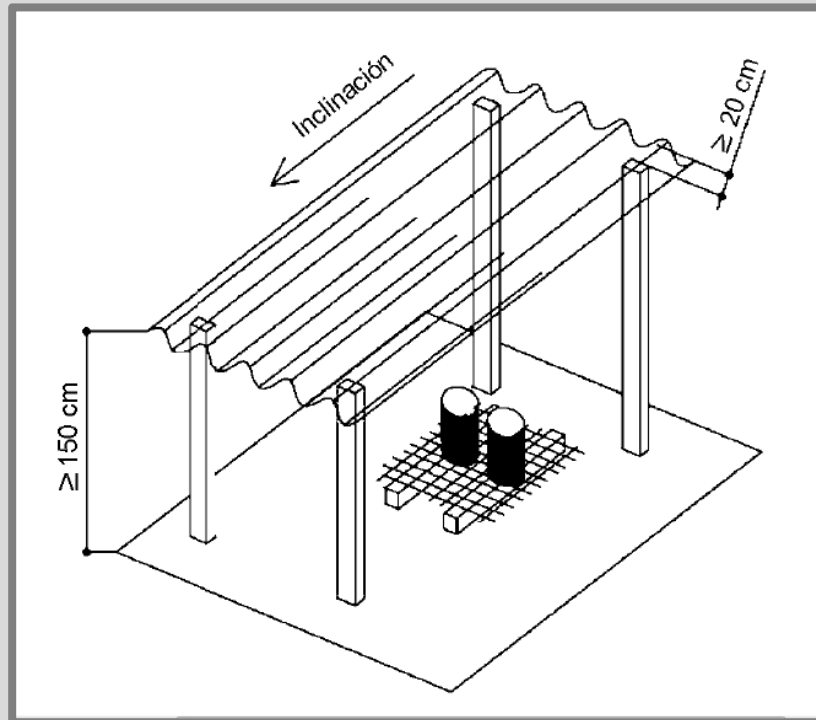
Mètode d'assaig

L'ambient B correspon a l'existent en un recinte exposat a l'ambient natural i protegit de l'acció directa de la pluja.

Recinte d'assaig

El recinte d'assaig ha de tenir una coberta per evitar l'acció directa de la pluja sobre les provetes i no disposar de parets laterals, per permetre lliurement l'accés de l'aire de l'atmosfera.

6. PROCÉS EXPERIMENTAL



Imatge 46: Esquema del recinte d'assaig de la velocitat de penetració de la carbonatació. **Font:** Norma UNE 83993-1: 2013



Imatge 47: Recinte d'assaig de la velocitat de penetració de la carbonatació. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

6. PROCÉS EXPERIMENTAL

L'exposició de les provetes s'ha realitzat en el recinte d'assaig de la fotografia anterior, ubicat al Carrer Puigmal nº21 de la població d'Hostalric.

En l'annex 12.4. es poden consultar les condicions ambientals presents durant l'exposició que es resumeixen en la següent taula:

	<i>Mitjana</i>	
	<i>Màxima</i>	<i>Mínima</i>
Temperatura (°C)	30,1	17,1
Humitat (%)	77,3	35,2
Concentració de CO ₂ *	Baixa	Baixa

*Al no disposar d'un aparell de mesura, es considera que la concentració de CO₂ és baixa, d'acord amb el dispositiu al apartat 1.1.6.1. Estat del medi atmosfèric de Informe de Sostenibilitat Ambiental de l'aprovació inicial del Pla d'Ordenació Urbanística Municipal d'Hostalric.



Imatge 48: Dispositiu de control de la temperatura i humitat en el recinte d'assaig. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

Després de tenir exposades durant 3 mesos les provetes en el recinte de la imatge anterior, es procedeix a tallar per la meitat les mostres en sec, en una màquina de tall equipada amb disc.



Imatge 49: Proveta després de ser tallada per la meitat. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

Un cop tallades per la meitat, és necessari netejar la superfície interior de les cares a assajar, per tal d'eliminar qualsevol rastre de pols, i esperar uns deu minuts abans d'aplicar-hi la dissolució de fenolftaleïna.



Imatge 50: Aplicació de la dissolució de fenolftaleïna. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

6. PROCÉS EXPERIMENTAL

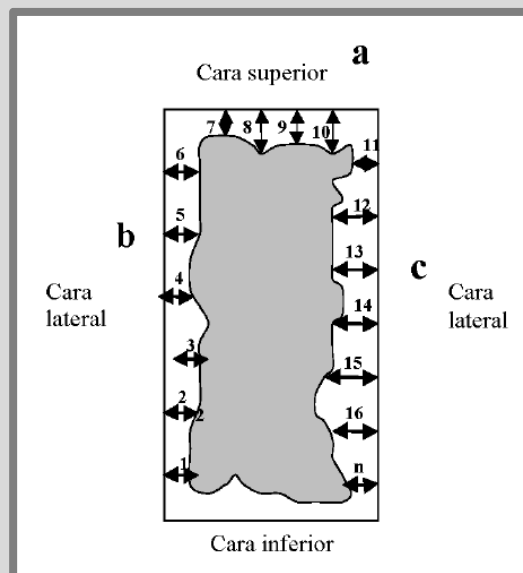
S'aplica el revelador sobre la cara interior de la proveta, de manera que la superfície no afectada per la carbonatació es tenyeix d'un color violetat. El perímetre exterior que es manté sense canvi de color és la profunditat on s'ha produït una penetració de la carbonatació.

Acte seguit, es pot procedir a mesurar la penetració de la carbonatació en la proveta.



Imatge 51: Mesura de la penetració de la carbonatació sobre una de les mostres on s'ha aplicat el reactiu.

Autor: Guillem Martí / **Font:** Pròpia



Imatge 52: Procediment de mesura de la profunditat de la carbonatació. **Font:** Norma UNE/EN 83993-1: 2013

Per tal de mesurar la profunditat de carbonatació de les mostres de formigó, s'ha de realitzar d'acord amb un procés similar al de la imatge anterior.

Resum de l'assaig de determinació de la velocitat de penetració de la carbonatació en el formigó endurit

A continuació es mostra una taula resum del procés utilitzat en l'assaig de determinació de la velocitat de penetració de la carbonatació:

Tasca	Descripció	Duració*
Exposició provetes en recinte d'assaig	Les provetes s'exposen a condicions ambientals naturals en un recinte d'assaig, protegides de l'acció de l'aigua.	3 mesos
Tall provetes	Es tallen les provetes en sec per la meitat, es netegen ambdues cares i es deixen reposar durant 10 minuts	10 minuts
Aplicació de la dissolució de fenolftaleïna	Transcorregut el temps, s'aplica la dissolució que revelarà la carbonatació produïda a les provetes.	1 minut
Mesura	Es mesura la carbonatació	2 minuts
Temps d'assaigs		3 mesos

Taula 38: Resum del procés d'assaig per a la determinació de la velocitat de la penetració de la carbonatació en el formigó endurit. **Font:** Pròpia

*La duració correspon al temps necessari d'assaig per a una sola proveta.

CÀLCULS I EXPRESSIÓ DE RESULTATS

Es determina la velocitat d'avanç de la carbonatació en l'interior del formigó V_{CO_2} , expressat en $\text{mm/any}^{1/2}$, amb l'equació:

$$V_{CO_2} = \frac{x}{\sqrt{t}}$$

On:

x és la profunditat mitjà de carbonatació, expressada en mm.

t és el temps d'assaig, expressat en anys.

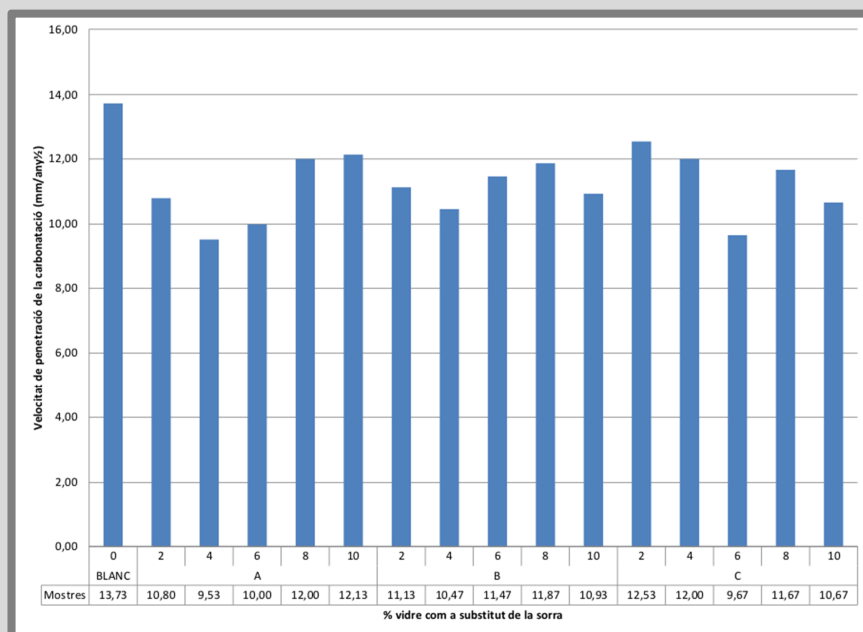
S'anoten tots els resultats individuals i es calculen com els valors acceptables.

RESULTATS DE L'ASSAIG

A continuació es recullen tots els resultats d'aquest assaig.

Sèrie	% vidre	Velocitat de penetració de la carbonatació
		mm/any ^{1/2}
Blanc	0	13,73
A	2	10,80
	4	9,53
	6	10,00
	8	12,00
	10	12,13
	B	2
4		10,47
6		11,47
8		11,87
10		10,93
C	2	12,53
	4	12,00
	6	9,67
	8	11,67
	10	10,67

Taula 39: Resultats assaig de determinació de la velocitat de penetració de la carbonatació. **Font:** Pròpia



Gràfic 34: Gràfic de velocitat de penetració de la carbonatació. **Font:** Pròpia

CONCLUSIONS GENERALS

Dels resultats i gràfiques anteriors s'extreuen les següents conclusions:

- Que la velocitat de penetració de la carbonatació per a formigons convencionals té un valor pròxim als 14 mm/any^{0.5}.
- Que el formigó convencional és el que presenta una velocitat de penetració de la carbonatació major respecte els formigons elaborats amb vidre com a substitut de la sorra.
- Que el formigó elaborat amb vidre té una millor resistència a la penetració de la carbonatació.

6.6. ASSAIG DE RESISTÈNCIA A LA HUMECTACIÓ-GEL-ASSECATGE DEL FORMIGÓ ENDURIT

INTRODUCCIÓ

Objectiu de l'assaig:	Determinar la durabilitat a la humectació-gel-assecatge del formigó endurit.		
Tipologia:	Assaig destructiu.		
Normativa de referència:	Extret de la tesis doctoral del Dr. Gabriel Barbeta Solà basat en les normes americanes ASTM D-559Y-82 i NLT-303-72 i en les normes UNE 7033 de gel-desgel i UNE EX:1997. Maons ceràmics de argila cuïta. Assaig de gel-desgel.		
Resum del procediment:	Les provetes s'han sotmès a sis cicles d'humectació-gel-assecatge. Entre cada cicle es raspallen les provetes i s'enregistra la seva massa.		
Provetes a assajar:	1 mostra extreta d'una proveta cúbica de cada dosificació.		
Màquina:	Taula talladora de formigó, estufa i congelador.		
Durada exposició:	6 cicles		
Nombre de provetes assajades			
Fase	Núm. de sèries	Provetes per sèrie	Provetes totals
3	16	1	16
Total de provetes fabricades			16

Taula 40: Taula introductòria de l'assaig de resistència a la humectació-gel-assecatge del formigó endurit.

Font: Pròpia

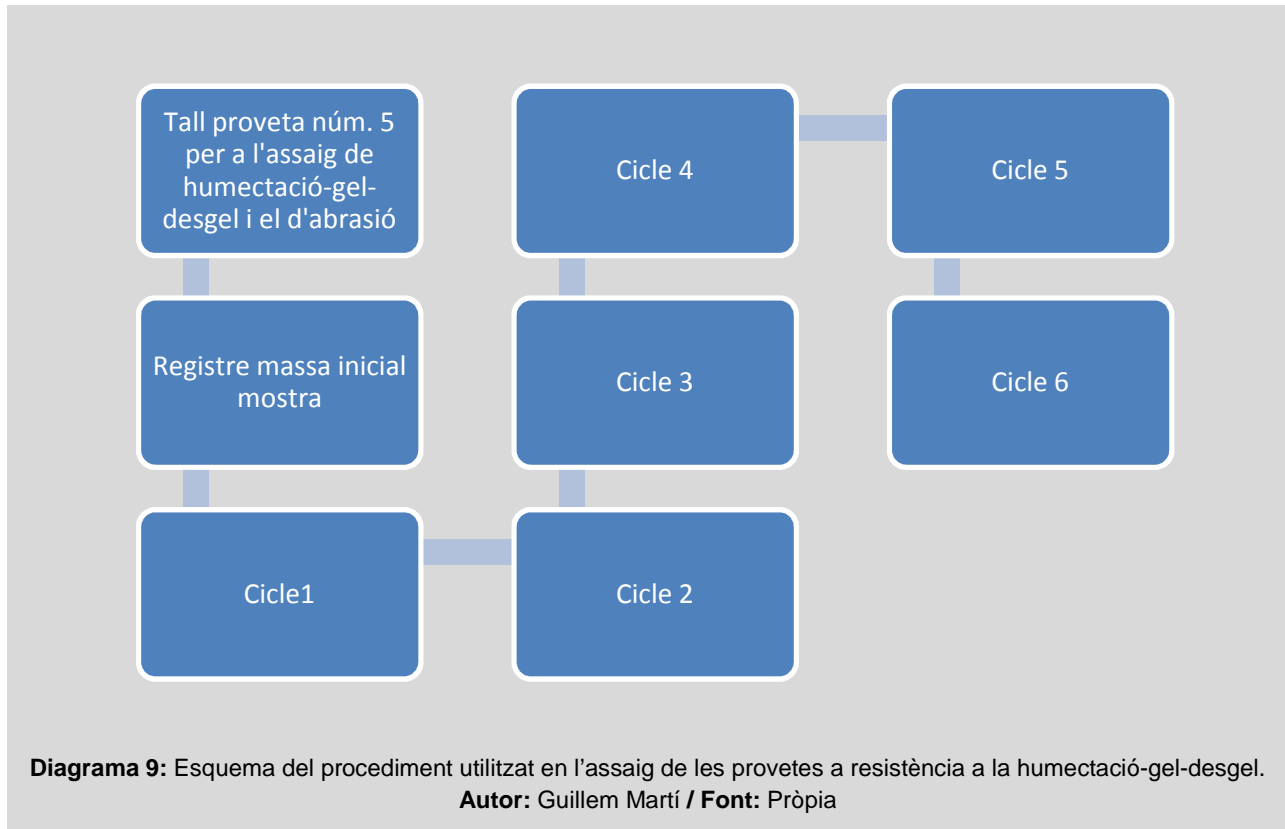
Aquest assaig pretén avaluar la durabilitat de les mostres quan estan exposades a condicions climàtiques extremes. Per tal de reproduir aquestes condicions, és necessari sotmetre les provetes a canvis bruscos d'humitat i temperatura. Aquestes condicions es realitzen mitjançant cicles de humectació, gel i assecatge.

EQUIP

- Taula talladora de formigó.
- Recipient amb aigua a $(20\pm 5)^{\circ}\text{C}$.
- Congelador a $(-15\pm 5)^{\circ}\text{C}$.
- Estufa de dessecació a $(60\pm 5)^{\circ}\text{C}$.
- Raspall.
- Balança.

PROCEDIMENT

El procediment que s'ha utilitzat per realitzar l'assaig ha estat el següent:



Per tal de realitzar l'assaig de durabilitat i abradió, ha estat necessari tallar la proveta numero 5 en dues meitats.

D'aquesta manera s'han obtingut dues mostres d'una mateixa proveta, la proveta 5A i 5B que han estat utilitzades en l'assaig d'abradió i durabilitat respectivament.

6. PROCÉS EXPERIMENTAL



Imatge 53: Marcat de les provetes previ al tall. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

Abans de procedir al tall de les provetes, és necessari marcar-les correctament.



Imatge 54: Col·locació de la proveta núm. 5 per a l'assaig d'abradió i durabilitat a la màquina de tall.
Autor: Guillem Martí / **Font:** Pròpia



Imatge 55: Tallant la proveta núm. 5 per a l'assaig d'abradió i durabilitat. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

Se situa la proveta correctament sobre la taula de tall, s'aproxima al disc de tall refrigerat per aigua i s'empeny fins que la proveta queda separada en dues meitats.



Imatge 56: Provetes un cop tallades. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

Un cop tallades, es pot procedir a l'assaig.

L'assaig consisteix en sotmetre les provetes a sis cicles. Entre cada cicle és necessari raspallar les provetes per extreure les porcions que, com a resultat del cicle, s'han després de la mostra. En acabar, es registra la massa de les provetes.

Els cicles corresponen a la següent taula:

Cicle 0	Es determina la massa inicial després d'assecatge de les mostres en estufa durant 48 hores		
	Humectació	Gel	Assecatge
Cicle 1	8 hores submergides en aigua	8 hores a -15°C	72 hores a 60°C
Cicle 2	8 hores submergides en aigua	8 hores a -15°C	72 hores a 60°C
Cicle 3	8 hores submergides en aigua	8 hores a -15°C	72 hores a 60°C
Cicle 4	8 hores submergides en aigua	8 hores a -15°C	72 hores a 60°C
Cicle 5	8 hores submergides en aigua	8 hores a -15°C	72 hores a 60°C
Cicle 6	8 hores submergides en aigua	8 hores a -15°C	72 hores a 60°C

El cicle correspon en posar les provetes al congelador a una temperatura de -15°C durant 8 hores. Passades les 8 hores, les introduïm directament a l'estufa a 60°C. Un cop aquestes s'han assecat completament, aproximadament al cap de 72 hores, les raspallem i pesem les mostres, abans de tornar a iniciar un altre cicle.

6. PROCÉS EXPERIMENTAL



Imatge 57: Provetes submergides en aigua durant la humectació. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia



Imatge 58: Congelador utilitzat en l'assaig de durabilitat. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia



Imatge 59: Provetes dins el congelador. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

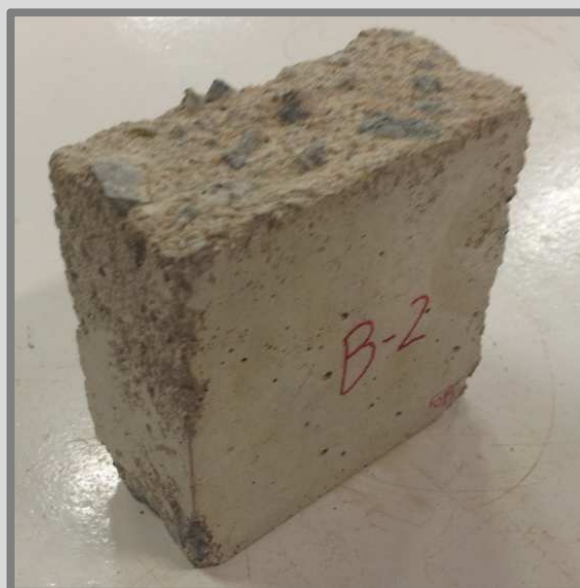


Imatge 60: Assecatge de les mostres en estufa a 60°C **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

6. PROCÉS EXPERIMENTAL



Imatge 61: Raspallat de les mostres per extreure'n el material després. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia



Imatge 62: Estat de la mostra de la Sèrie B, 2% de vidre després de finalitzar l'assaig. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

Resum de l'assaig de resistència a la humectació-gel-desgel del formigó endurit

A continuació es mostra una taula resum del procés utilitzat en l'assaig de resistència a la humectació-gel-desgel.

Tasca	Descripció	Duració*
Tall provetes	Es tallen les provetes per tal de poder realitzar dos assaigs amb la mateixa mostra.	10 minuts
Cicle 0	Es col·loquen les provetes a l'estufa i es deixen assecar. Es registra la massa inicial.	2 dies
Cicle 1	Submergit en aigua 8 hores, congelador a -15°C durant 8 hores, assecatge a estufa durant 3 dies, raspallat i registre del pes.	1 setmana
Cicle 2		1 setmana
Cicle 3		1 setmana
Cicle 4		1 setmana
Cicle 5		1 setmana
Cicle 6		1 setmana
Temps d'assaigs		1 mes i mig

Taula 41: Resum del procés d'assaig per a la determinació de la resistència a la humectació-gel-desgel del formigó endurit. **Font:** Pròpia

*La duració correspon al temps necessari d'assaig per a una sola proveta.

CÀLCULS I EXPRESSIÓ DE RESULTATS

Es determina resistència a la humectació-gel-assecatge del formigó endurit R_{hga} , com la pèrdua de massa absoluta expressada en %, amb l'equació:

$$R_{hga}, \% = \left[\frac{m_i - m_f}{m_i} \right] \cdot 100$$

On:

m_i és la massa inicial de la mostra abans de l'inici de l'assaig, expressada en grams.

m_f és la massa final de la mostra després de n cicles, expressada en grams.

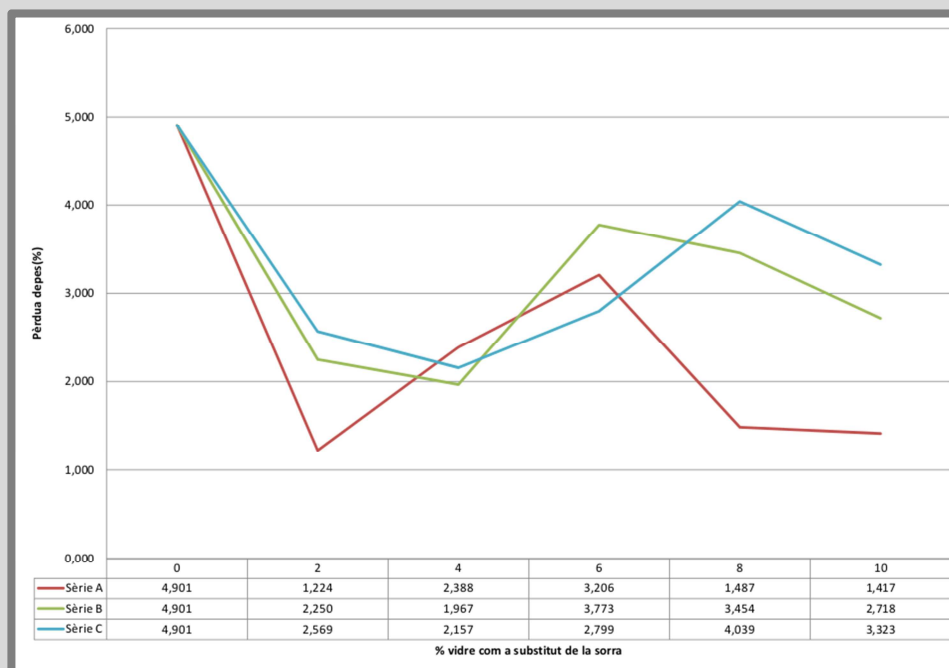
S'anoten tots els resultats individuals i es calculen com els valors acceptables.

RESULTATS DE L'ASSAIG

A continuació es recullen tots els resultats d'aquest assaig.

Sèrie	% vidre	PES A CADA CICLE (Grams)							% Pèrdua de pes
		inici	1	2	3	4	5	6	
Blanc	0	1065,1	1062,0	1060,8	1058,2	1050,4	1036,1	1012,9	4,901
A	2	1037,8	1035,0	1033,9	1033,5	1031,8	1028,7	1025,1	1,224
	4	1017,4	1015,8	1010,6	1009,9	1005,3	1005,1	993,1	2,388
	6	1035,4	1028,9	1027,2	1026,8	1020,5	1016,3	1002,2	3,206
	8	1055,8	1052,3	1046,8	1044,3	1043,7	1040,4	1040,1	1,487
	10	1023,4	1023,0	1022,1	1021,8	1021,6	1017,3	1008,9	1,417
B	2	1039,8	1035,4	1035,2	1034,8	1027,6	1025,1	1016,4	2,250
	4	1036,9	1036,8	1036,5	1032,9	1032,1	1031,5	1016,5	1,967
	6	1023,0	1020,0	1014,1	1011,6	1006,6	1004,4	984,4	3,773
	8	1036,5	1034,8	1031,4	1030,5	1025,2	1019,1	1000,7	3,454
	10	1026,6	1023,4	1022,1	1021,8	1017,4	1014,3	998,7	2,718
C	2	1043,2	1042,6	1039,5	1036,9	1035,5	1027,0	1016,4	2,569
	4	1047,9	1043,6	1040,5	1037,3	1032,2	1030,4	1025,3	2,157
	6	1032,6	1028,1	1024,6	1023,9	1022,4	1020,2	1003,7	2,799
	8	1007,7	1006,2	1003,1	1002,7	993,2	983,2	967,0	4,039
	10	1032,2	1027,2	1023,8	1018,5	1012,0	1009,5	997,9	3,323

Taula 42: Resultats assaig humectació-gel-desgel. Font: Pròpia



Gràfic 35: Gràfic de pèrdua de les provetes de l'assaig de humectació-gel-desgel. Font: Pròpia

CONCLUSIONS GENERALS

Dels resultats i gràfiques anteriors s'extreuen les següents conclusions:

- Que la pèrdua de massa per humectació-gel-assecatge per a formigons convencionals té un valor pròxim al 5%.
- Que el formigó convencional té una pèrdua de massa després de l'assaig de durabilitat major que el formigó que inclou vidre.
- Que el formigó elaborat amb vidre té una millor resistència a l'assaig de humectació-gel-assecatge, al ser major el formigó convencional en l'interval assajat.
- Que el formigó elaborat amb vidre té uns valors mitjans aproximats d'un 3% de pèrdua de massa després de l'assaig de durabilitat.

6.7. ASSAIG DE DETERMINACIÓ DE LA RESISTÈNCIA A L'ABRASIÓ PROFUNDA DEL FORMIGÓ ENDURIT

INTRODUCCIÓ

Objectiu de l'assaig:	Determinar la resistència a l'abració profunda del formigó endurit		
Tipologia:	Assaig destructiu.		
Normativa de referència:	Basada i adaptada de la norma UNE-ISO 10545-6:2012. "Rajoles ceràmiques. Part 6. Determinació de la resistència a l'abració profunda de les rajoles no esmaltades.		
Resum del procediment:	Les provetes s'introdueixen en l'aparell d'assaig, que efectua una empremta sobre la superfície de la mostra mitjançant un disc d'acer girant a 75 revolucions per minut, amb un total de 150 revolucions.		
Provetes a assajar:	1 mostra extreta d'una proveta cúbica de cada dosificació.		
Màquina:	Màquina homologada per a l'assaig d'abració		
Durada:	2 minuts (150 revolucions)		
Nombre de provetes assajades			
Fase	Núm. de sèries	Provetes per sèrie	Provetes totals
3	16	1	16
Total de provetes fabricades			16

Taula 43: Taula introductòria de l'assaig de resistència a l'abració profunda del formigó endurit.

Font: Pròpia

Com a material abraciu s'utilitza el corindó amb una mida concreta i es determina la resistència a l'abració profunda amb volum, en mm², de material erosionat.

EQUIP

- Equip homologat per a l'abració profunda.
- Instrument de mesura.
- Material abraciu.
- Regle.

PROCEDIMENT

El procediment que s'ha utilitzat per realitzar l'assaig ha estat el següent:



Prèviament a la realització de l'assaig, es pinten amb un sola capa de color blanc les superfícies de les mostres a assajar, per tal de visualitzar sobre la proveta de millor manera l'empremta realitzada per l'aparell d'assaig.

Després de pintar les provetes, es deixen assecar durant 24 hores, abans de procedir al perceptiu assaig.

6. PROCÉS EXPERIMENTAL



Imatge 63: Aplicació de pintura a les mostres de l'assaig a abrasió. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

Posteriorment, es col·loquen les mostres a l'aparell, en contacte amb el disc giratori, i es manté un cabal d'alimentació del material abrasiu uniforme de (100 ± 10) grams/100 revolucions.



Imatge 64: Aparell d'abrasió. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

6. PROCÉS EXPERIMENTAL



Imatge 65: Col·locació prèvia de la mostra abans de l'assaig. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia



Imatge 66: Mostra col·locada a l'aparell mentre es realitza l'assaig. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

6. PROCÉS EXPERIMENTAL

Es posa en marxa l'aparell i es deixa girar durant 150 revolucions.



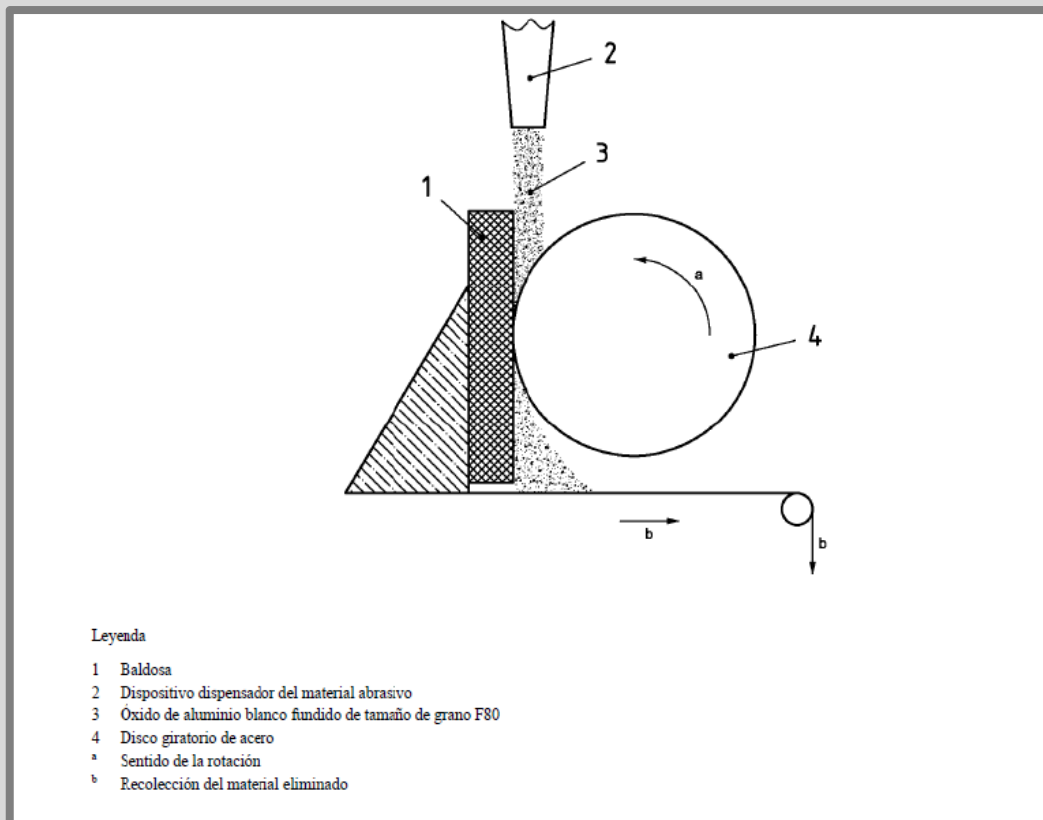
Imatge 67: Tauler de control de la màquina d'assaig. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia



Imatge 68: Material abrasiu. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

6. PROCÉS EXPERIMENTAL

Es retira la mostra en finalitzar les 150 revolucions i es procedeix al següent assaig:



Imatge 69: Esquema de l'equip per a l'abradió profunda. Font: UNE-ISO 10545-6:2012

Resum de l'assaig de resistència a l'abradió profunda

A continuació es mostra una taula resum del procés utilitzat en l'assaig de resistència a l'abradió profunda.

Tasca	Descripció	Duració*
Pintat de les provetes	Es realitza una capa de pintura blanca sobre la superfície de les mostres a assajar i es deixa assecar durant 24 hores.	24 hores
Assaig abradió	Es configura l'aparell a 150 revolucions a raó de 75 revolucions per minut i una caiguda de material abradió de 100 grams/100 revolucions. En acabar, s'assagen les provetes	3 minuts
Mesura empremta assaig	Per finalitzar, es retira la proveta de la màquina d'assaig i es mesura la empremta realitzada pel disc d'acer.	1 minut
Temps d'assaigs		24 hores

Taula 44: Resum del procés d'assaig per a la determinació de la resistència a l'abradió profunda del formigó endurit.

Font: Pròpia

*La duració correspon al temps necessari d'assaig per a una sola proveta.

CÀLCULS I EXPRESSIÓ DE RESULTATS

La resistència a l'abració profunda s'expressa com el volum, V , en mm^3 , de material eliminat, i es calcula a partir de la longitud de la corda L de l'empremta mitjançant l'equació:

$$V = \left(\frac{\pi\alpha}{180} - \sin\alpha \right) \times \left(\frac{hd^2}{8} \right)$$

$$\sin(0,5\alpha) = \frac{L}{d}$$

On:

α és l'angle, en graus, determinat per la corda respecte el centre del disc giratori.

h és el gruix del disc, expressat en mm.

d és el diàmetre del disc giratori, expressat en mm.

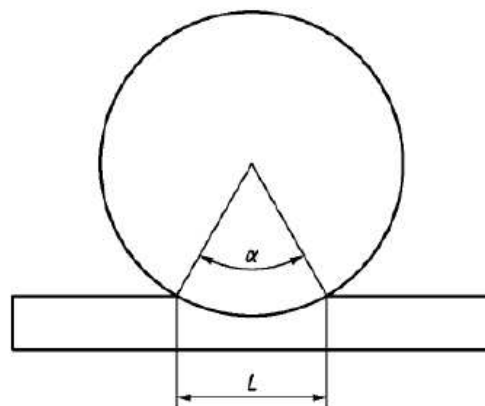
L és la longitud de la corda expressada en mm.

RESULTATS DE L'ASSAIG

Abans de mostrar els resultats de l'assaig, es mostren les provetes de l'assaig i algunes característiques necessàries per a la realització de càlculs.



Imatge 70: Provetes de formigó abans de l'assaig, ja pintades. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia



Leyenda

- α Àngulo, en graus, determinado por la cuerda respecto al centro del disco giratorio
- L Longitud de la cuerda, en milímetros

Imatge 71: Esquema de determinació de l'angle i la longitud de la corda. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

6. PROCÉS EXPERIMENTAL



Imatge 72: Mesurament de l'amplada de l'empremta. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia

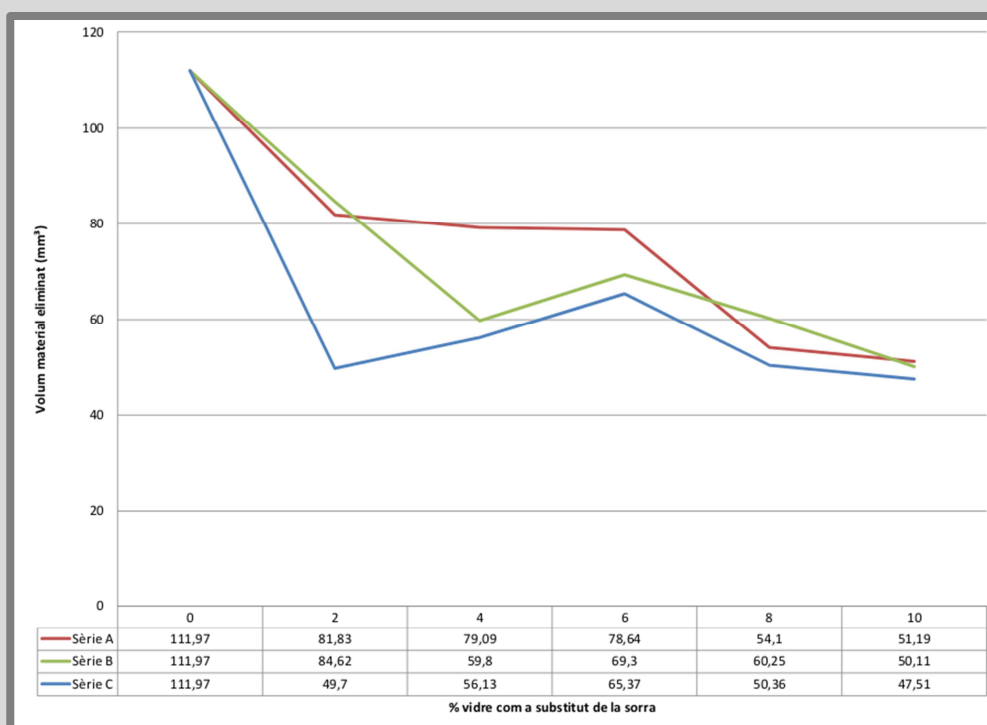


Imatge 73: Provetes un cop finalitzat l'assaig d'abradió. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia

A continuació es recullen tots els resultats d'aquest assaig:

Sèrie	% vidre	Longitud de la corda (L)	Angle	Gruix disc giratori	Diàmetre disc giratori	Volum de material eliminat
		mm	graus	mm	mm	mm ³
Blanc	0	23,74	13,634	10	200	111,97
A	2	21,39	12,279	10	200	81,83
	4	21,15	12,140	10	200	79,09
	6	21,11	12,117	10	200	78,64
	8	18,64	10,695	10	200	54,10
	10	18,30	10,499	10	200	51,19
B	2	21,63	12,417	10	200	84,62
	4	19,27	11,058	10	200	59,80
	6	20,24	11,616	10	200	69,30
	8	19,32	11,086	10	200	60,25
	10	18,17	10,425	10	200	50,11
C	2	18,12	10,396	10	200	49,70
	4	18,87	10,827	10	200	56,13
	6	19,85	11,392	10	200	65,37
	8	18,20	10,442	10	200	50,36
	10	17,85	10,241	10	200	47,51

Taula 45: Resultats assaig de resistència a l'abradió. Font: Pròpia

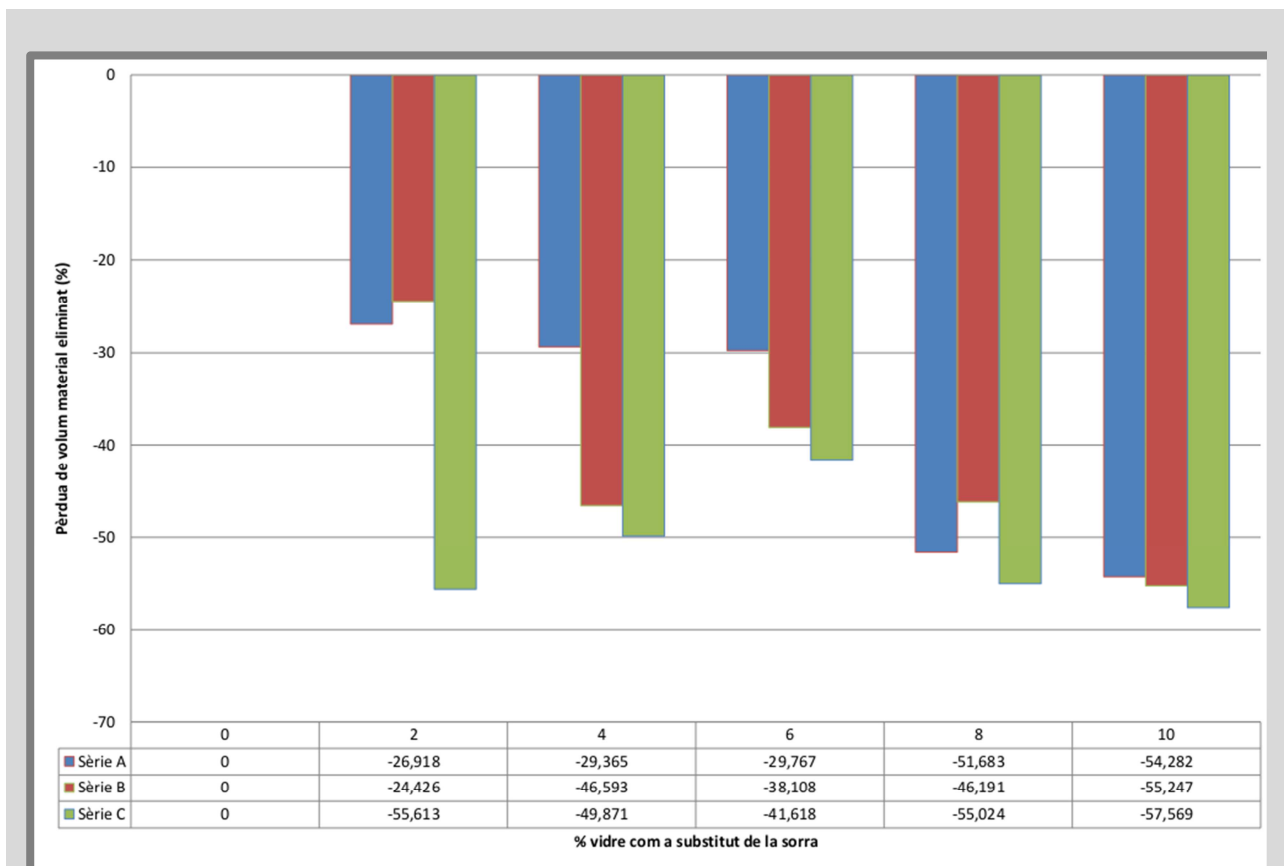


Gràfic 36: Gràfic de volum de material eliminat en l'assaig de resistència a l'abradió. Font: Pròpia

CONCLUSIONS GENERALS

Dels resultats i gràfiques anteriors s'extreuen les següents conclusions:

- Que la resistència a l'abradió del formigó convencional correspon a una pèrdua de volum de material de 111,97 mm².
- Que el formigó convencional té el valor més gran pel que fa a l'interval assajat i, per tant, és el que menor resistència a l'abradió profunda disposa.
- Que les mostres de formigó elaborades en aquest interval amb vidre com a substitut de la sorra tenen una major capacitat de suportar els esforços d'abradió, situant-se aquests en alguns casos en valors superiors al 50% del formigó convencional.
- Que el formigó elaborat amb vidre té una capacitat de suportar la resistència a l'abradió superficial d'acord al gràfic següent:



Gràfic 37: Gràfic del percentatge de pèrdua de volum del material eliminat en l'assaig de resistència a l'abradió en comparació amb el formigó convencional. **Font:** Pròpia

6.8. ASSAIG D'ASSENTAMENT DEL FORMIGÓ FRESC

INTRODUCCIÓ

Objectiu de l'assaig:	Determinar la consistència del formigó fresc.		
Tipologia:	Assaig en el formigó fresc.		
Normativa de referència:	UNE-EN 12350-2 "Assaigs del formigó fresc. Part 2. Assaig d'assentament".		
Resum del procediment:	Un cop s'han determinat les millors dosificacions que suporten un major esforç de resistència a compressió, es realitza l'assaig d'assentament d'aquestes per mitjà de dues determinacions pastades en formigonera i assajades en el con d'Abrams. L'assaig consisteix en emplenar un con en 3 tongades, comprimint cadascuna de les capes i en acabat retirar el motlle per mesurar l'assentament que s'ha produït respecte l'alçada inicial.		
Provetes a assajar:	2 determinacions per cada dosificació.		
Màquina:	Formigonera i con d'Abrams		
Durada:	30 minuts per dosificació		
Nombre de provetes assajades			
Fase	Núm. de sèries	Determinacions per sèrie	Determinacions totals
3	4	2	8
Total de provetes fabricades			8

Taula 46: Taula introductòria de l'assaig de determinació de la consistència en formigó en estat fresc. **Font:** Pròpia

El formigó fresc es compacta en un motlle en forma troncocònica. En acabar, es retira el motlle produint-se un descens del con de formigó que serà la mesura de la consistència.

La consistència es relaciona amb la treballabilitat que ofereix el formigó en estat fresc i es classifica en:

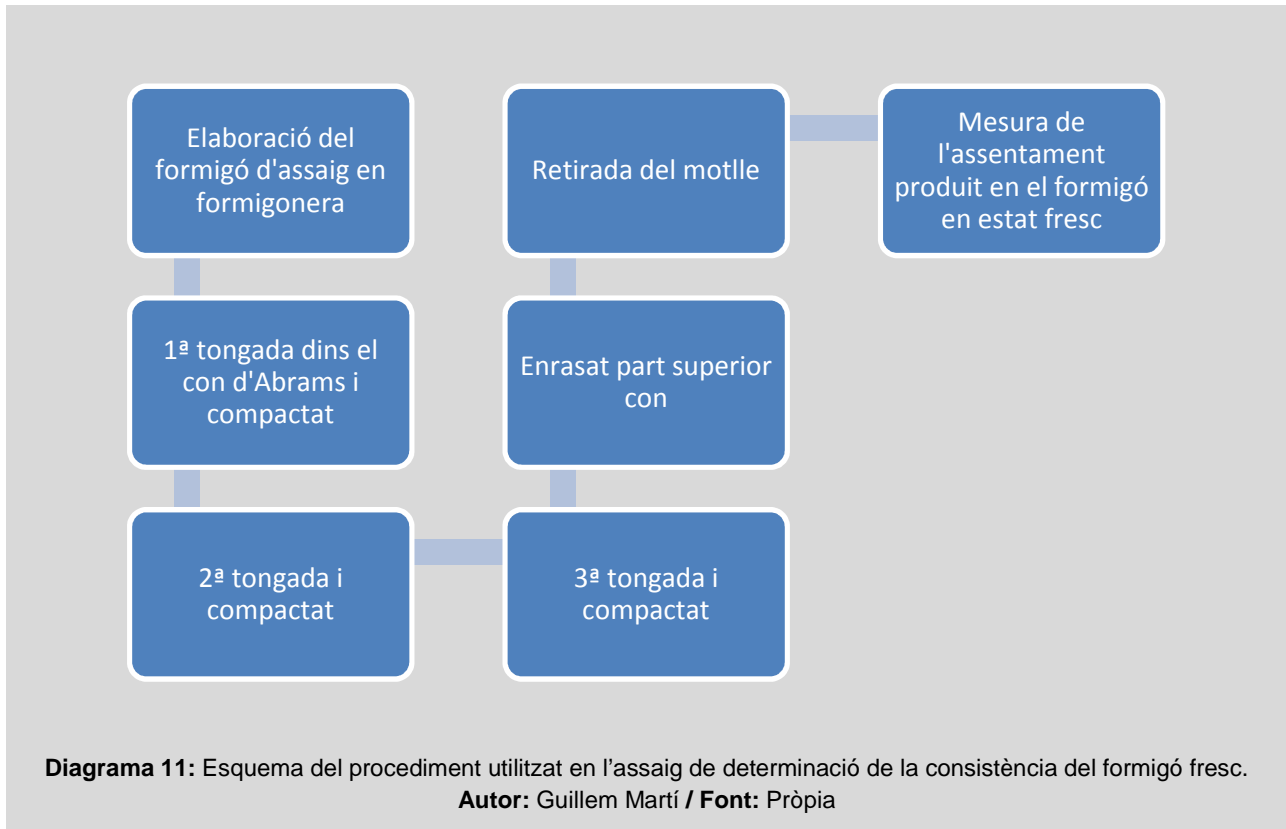
Seca, plàstica, tova, fluida i líquida.

EQUIP

- Formigonera.
- Carretó.
- Barra compactadora.
- Con d'Abrams.
- Regle.

PROCEDIMENT

El procediment que s'ha utilitzat per realitzar l'assaig ha estat el següent:



Per tal d'estalviar material i no produir un excés de residus, s'ha optat per realitzar l'assaig d'assentament en l'última fase del projecte, sobre les dosificacions que mostressin una major capacitat de suportar els esforços de compressió.

Per tant, les dosificacions sobre les que s'ha dut a terme l'assaig de consistència són:

Sèrie	Tipus vidre	% de vidre com a substitut de la sorra	Resistència a compressió (N/mm ²)
BLANC	-	0	22,597
A	Vidre en pols	6	23,578
B	Mòlt de mida inferior a 4 mm	4	23,137
C	Mòlt de mida entre 4 i 8 mm	6	22,920

6. PROCÉS EXPERIMENTAL

Un cop decidides sobre quines dosificacions realitzarem l'assaig, es pesen els components de cada dosificació i es realitza el pastat mitjançant formigonera.

S'ha de tenir en compte que per realitzar dues determinacions de cada dosificació s'ha de realitzar un volum elevat de formigó. Per aquest motiu, es va optar per realitzar l'assaig sobre les dosificacions amb millors prestacions, a fi d'evitar un consum excessiu de materials i el consegüent residu, ja que tan sols una petita part s'hagués pogut reutilitzar per realitzar les provetes.



Imatge 74: Pastat de formigó mitjançant formigonera. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

6. PROCÉS EXPERIMENTAL



Imatge 75: Formigó elaborat amb formigonera previ a l'assaig de consistència. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia



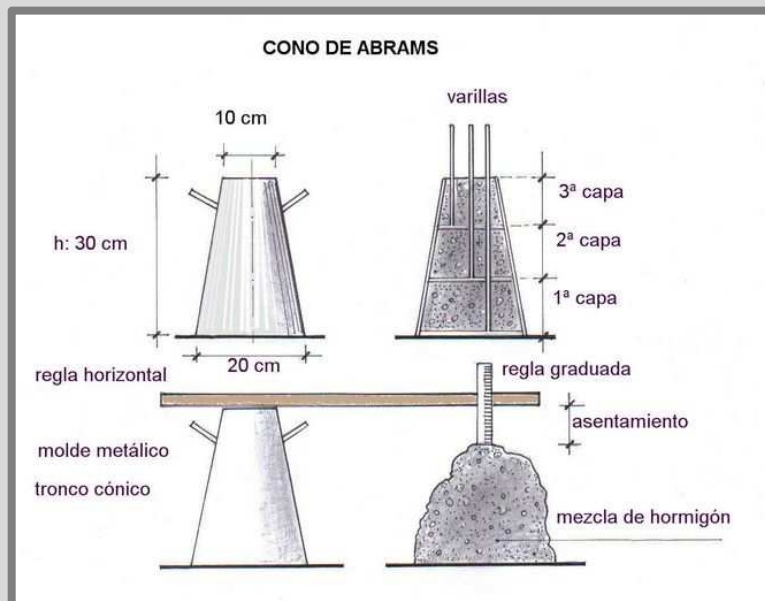
Imatge 76: Emplenat del con d'Abrams. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

6. PROCÉS EXPERIMENTAL

Un cop elaborat el formigó, s'introdueix en el con d'assaig en 3 fases o capes i, posteriorment a la introducció de cada capa, es compacta el formigó mitjançant 25 cops amb una barra de dimensions preestablertes.



Imatge 77: Compactat del formigó mitjançant barra compactadora. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia



Imatge 78: Esquema de l'assaig de consistència mitjançant mètode del con d'Abrams. **Font:** www.construmatica.com

En acabar, s'enrasa la part superior del con.



Imatge 79: Enrasat de la part superior del con d'assaig. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia



Imatge 80: Assentament produït en el formigó al retirar el con d'assaig. **Autor:** Guillem Martí / **Font:** Pròpia

Per finalitzar, es retira el con d'Abrams en un temps d'entre 2 i 5 segons i es mesura el descens de formigó produït, respecte l'alçada original.

Resum de l'assaig de determinació de la consistència

A continuació es mostra una taula resum del procés utilitzat en l'assaig de determinació de la consistència del formigó en estat fresc:

Tasca	Descripció	Duració*
Elaboració del formigó	S'elabora el formigó mitjançant formigonera d'acord amb les dosificacions acordades.	15 minuts
Preparació con d'Abrams	Es col·loca el con sobre una superfície plana i horitzontal. Es col·loca el con amb la base major mirant cap amunt i s'humiteja el con per la part interior.	3 minuts
Emplenat	S'emplena el con amb formigó mitjançant tres tongades, precedides cadascuna d'elles d'un compactat de 25 cops amb una barra. Per acabar, s'enrasa la part superior.	5 minut
Extracció motlle	S'extreu el motlle amb cura, aixecant-lo verticalment en un moviment continu.	5 segons
Mesura de l'assentament	Es col·loca el con d'Abrams al costat del con de formigó i es mesura la diferència de cota entre els dos.	10 segons
Temps d'assaigs		24 minuts

Taula 47: Resum del procés d'assaig de determinació de la consistència. **Font:** Pròpia

*La duració correspon al temps necessari d'assaig per a una sola dosificació i determinació.

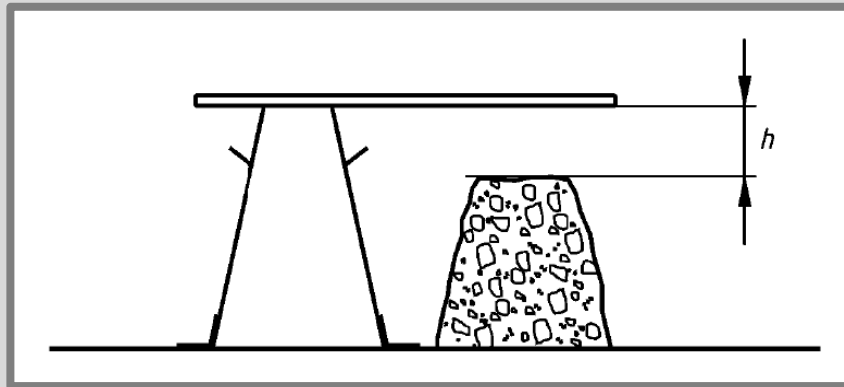
CÀLCULS I EXPRESSIÓ DE RESULTATS

La consistència es determina segons el resultat mig de dues proves segons la taula següent:

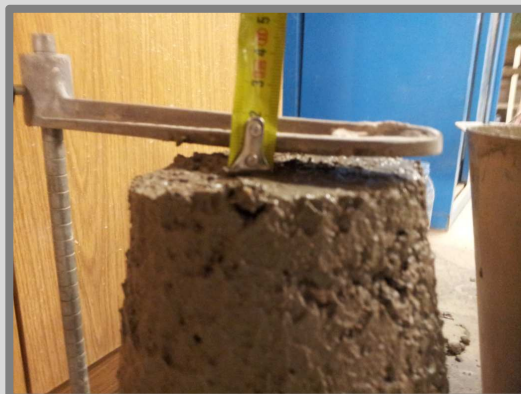
<i>Tipus de consistència</i>	<i>Assentament en cm</i>
Seca (S)	0-2
Plàstica (P)	3-5
Tova (B)	6-9
Fluïda (F)	10-15
Líquida (L)	16-20

Taula 48: Taula de consistències. Font: EHE-08

Per tant, l'assentament de l'assaig es determinarà d'acord amb les dues imatges següents:



Imatge 81: Procediment de mesura de la consistència del formigó. Font: Norma UNE EN 12350-2:2009



Imatge 82: Mesura de l'assentament del formigó. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia

RESULTATS DE L'ASSAIG

A continuació es recullen tots els resultats d'aquest assaig.

Sèrie	% vidre	Con 1	Con 2	Mitjana	Tipus de consistència
Blanc	0	0,5 cm	0,5 cm	0,50	Seca
A	6	0,5 cm	0,5 cm	0,50	Seca
B	4	0,5 cm	0,5 cm	0,50	Seca
C	6	0,5 cm	1,0 cm	0,75	Seca

Taula 49: Resultats assaig de consistència. **Font:** Pròpia

CONCLUSIONS GENERALS

Dels resultats i gràfiques anteriors s'extreuen les següents conclusions:

- Que la consistència del formigó en estat fresc és seca.
- Que no s'observa cap diferència pel que respecte a la consistència entre el formigó realitzat de forma convencional i el que inclou vidre, pel que fa a les dosificacions assajades.
- Que aquest resultat és coherent amb les condicions de treball pel que respecte a l'elaboració de les mostres en les diferents fases.

7. CONCLUSIONS GENERALS

L'objectiu general d'aquest treball final de grau és l'aprofitament d'un residu com és el vidre per a la seva utilització com a substitut de la sorra en l'elaboració de formigons.

L'objectiu principal, doncs, era estudiar la viabilitat tècnica d'un formigó elaborat amb aquestes característiques i determinar les diferents propietats que produïa l'addició de vidre de diferents granulometries en aquest.

Aquest objectiu s'ha complert, ja que no tan sols s'ha demostrat que és possible fabricar un formigó utilitzant vidre per a substituir la sorra que el conforma, sinó que també, mitjançant els diferents assaigs, s'ha demostrat que és capaç de millorar-ne algunes de les seves propietats si el comparem amb un formigó elaborat de forma convencional.

A continuació s'exposen les conclusions obtingudes dels assaigs realitzats:

Pel que respecte a la resistència a compressió del formigó, podem afirmar que depenen del tipus de vidre que s'ha utilitzat i, consegüentment de la seva granulometria, té una afectació diferent en quan a la capacitat que confereix a un formigó de resistir els esforços d'aixafament.

S'ha observat de forma general que el formigó que inclou fins a un 6% de vidre com a substitut de l'àrid fi, tendeix a augmentar-ne lleugerament la resistència a compressió. D'altra banda, també s'ha observat que a partir d'aquest valor, i a mesura que augmenta el percentatge de vidre, la tendència és a produir-se l'efecte contrari, el formigó perd aquesta capacitat, de forma més reiterada. Per tant, de manera més o menys proporcionada, a partir d'un 6%, quan major és la quantitat de vidre dins la dosificació, menys resistència a compressió suporta.

Un altre efecte important és que aquest augment de la capacitat de resistir esforços de compressió varia segons el vidre utilitzat. Així és que si comparem els tres tipus de vidre addicionats en el formigó, el percentatge de millora que esdevé aquesta addició, resulta diferent d'un a l'altre, poden concloure's que el que proporciona un millor augment d'aquesta capacitat és el de granulometria més petita, és a dir, el vidre en pols.

Pel que respecte a la densitat del formigó endurit, s'observa que els valors obtinguts en les mostres que contenen vidre com a substitut de la sorra en la seva elaboració, són lleugerament fluctuants, però sempre molt similars a la densitat obtinguda en el formigó elaborat de forma convencional.

Aquest fet té la seva lògica, ja que la densitat del vidre en pols i molt és similar al de la sorra. Per tant, al efectuar la substitució, no té repercussió en la seva densitat.

Pel que fa a l'assaig d'absorció d'aigua, densitat i porositat accessible a l'aigua del formigó, s'obtenen resultats semblants pel que respecte a l'absorció d'aigua i la porositat. No s'aprecia una variació substantiva d'aquesta determinació entre el formigó elaborat amb i sense vidre. Tot i això, en les provetes elaborades amb vidre mòlt de major mida, s'observa una lleugera tendència a augmentar la seva porositat.

En quan a la densitat en sec i aparent, generalment s'obtenen valors inferiors quan es comparen els formigons estudiats respecte al convencional, ara bé, en els formigons amb vidre mòlt de major mida es produeix la tendència contrària.

Pel que fa a l'assaig d'absorció d'aigua per capil·laritat del formigó endurit, es conclou que el formigó elaborat amb vidre respecte el formigó convencional, mostra una menor capacitat d'absorció d'aigua per capil·laritat. Aquesta conclusió ve raonada pel fet que el vidre és un material que no absorbeix aigua. Per tant, podem afirmar que es produeix una millora en la capacitat d'absorció d'aigua per capil·laritat i, consegüentment, aquests formigons estaran menys exposats a patologies i altres afectacions derivades de l'absorció d'aigua per capil·laritat, com per exemple les humitats o eflorescències, en comparació a formigons convencionals.

Pel que fa a l'assaig de determinació de la velocitat de penetració de la carbonatació, es constata que el formigó convencional presenta una penetració major respecte als formigons elaborats amb vidre com a substitut de la sorra. Aquest fet es podria deure a la reacció alcalí-silici que es produeix entre els àrids i el ciment. En aquest cas, el vidre és un alcalí potencial, i es creu que la seva addició en el formigó pot provocar una reacció que disminueixi l'avanç de carbonatació en el formigó. Desafortunadament, no s'ha pogut realitzar l'assaig de determinació de la reactivitat alcalí-silici i no s'ha pogut comprovar aquesta teoria.

Tot i això, tal com s'ha mencionat anteriorment, es pot afirmar que el formigó elaborat amb vidre té una millor resistència a la penetració de la carbonatació.

Pel que fa a la resistència a la humectació-gel-assecatge, es determina que el formigó elaborat amb vidre com a substitut de la sorra mostra una major durabilitat respecte el formigó convencional. Entre les propietats del vidre destaca la seva duresa per sobre de la sorra. Per tant, no és sorprenent que, quan s'apliqui en el formigó, augmenti la seva durabilitat.

Aquest fet és el mateix que es produeix en l'assaig d'abrasió, on el vidre protagonitza un paper fonamental, ja que concedeix a la mostra una major resistència al desgast.

Per últim, pel que respecte a l'assaig de consistència del formigó en estat fresc, no s'observa en les mostres assajades cap afectació. D'altra banda, com s'ha mencionat anteriorment, el vidre és

un material que no absorbeix aigua, per tant, en les mostres que en continguessin percentatges majors, tendrien, amb gran seguretat, a una consistència menys seca i, en relació amb això, es podria utilitzar una relació aigua/ciment més baixa.

CONCLUSIONS FINALS

Com a conclusió final que s'ha extret d'aquest projecte, es pot afirmar que és tècnicament viable la utilització de vidre reciclat com a substitut de la sorra en l'elaboració de formigons.

A més, també es conclou que la inclusió de vidre en la dosificació del formigó provoca una variació de les seves característiques, que té l'afectació següent:

Assaig	Tendència de les mostres estudiades respecte al formigó elaborat de forma convencional	Efecte
<i>Resistència a compressió</i>	Augment de la resistència fins a un 6% de vidre. A partir d'aquest valor, la resistència disminueix proporcionalment	Millora
<i>Densitat del formigó endurit</i>	Lleugera fluctuació, sense obtenir resultats diferenciats	No variació
<i>Absorció d'aigua, densitat i porositat</i>	Lleugera fluctuació, sense obtenir resultats diferenciats	No variació
<i>Absorció d'aigua per capil·laritat</i>	Disminució de l'absorció d'aigua per capil·laritat.	Millora
<i>Velocitat de penetració de la carbonatació</i>	Disminució de la penetració de la carbonatació	Millora
<i>Resistència a la humectació-gel-assecatge</i>	Major resistència a l'avaluació de la durabilitat en cicles de humectació-gel-assecatge	Millora
<i>Resistència a l'abrasió</i>	Major resistència al desgast de les mostres que inclouen vidre en la dosificació	Millora
<i>Consistència</i>	No s'observa una variació de la consistència	No variació

HORITZONS PRÒXIMS

Per finalitzar, m'agradaria mencionar una problemàtica que he observat durant la realització del present treball final de grau, i que podria resultar una temàtica interessant a analitzar en un futur treball de laboratori.

La proposta consistiria en buscar un mètode d'aprofitament de la gran quantitat de residus que es generen en els diferents treballs de laboratori. Aquests residus estan formats, bàsicament, per mostres de ceràmica, formigó, morters, blocs de terra compactada i fustes, entre d'altres, que un cop assajades, tenen com a destí l'abocador.

Aquesta proposta té dues vessants: d'una banda, l'aprofitament d'un residu generat en el mateix laboratori i, de l'altre, la disminució dels costos associats que representa per a la universitat la eliminació d'aquests.

8. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

TESIS I PROJECTES

- BARBETA SOLA, Gabriel. *Mejora de la tierra estabilizada en el desarrollo de una arquitectura sostenible hacia el siglo XXI [Informe]*: Tesis doctoral / Arquitectura; ETSAB – Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona. Barcelona, 2002. Tutor: Sr. Ferran Gomà i Ginesta.
- FLORES VILLANUEVA, Merary Rubén. *Hormigón con vidrio*. Tesis / Ingeniero Constructor. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias de la Ingeniería – Escuela de Construcción Cívil. Valdivia (Chile), 2005. Tutor: Sr. José Arrey Díaz.
- JAMAICA CASTRO, Mariana. *Estudio de morteros con árido reciclado de hormigón. Treball Final de Master / Ingeniería estructural i de la construcció*. UPC – Universitat Politècnica de Catalunya. Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona. Barcelona, 2011. Tutora: Sra. Marilda Barra Biznotto i Sussana Valls.
- CATALAN ARTEAGA, Carlos Javier. *Estudio de la influencia del vidrio molido en hormigones grado H15, H20, Y H30*. Tesis / Ingeniero Civil en Obras Civiles. Universidad Austral de Chile - Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Valdivia (Chile), 2013. Tutor: Sr. Claudio Aguilar Ramírez.
- MARTIL SORIA, Jordi / MESTRE REUS, Arnau. *Reaprofitament dels fangs sobrants d'una central d'àrids, per a la fabricació de rajols i rajoles*. Treball Final de Grau / Grau en Arquitectura Tècnica. UDG (EPS) – Universitat de Girona. Escola Politècnica Superior. Girona, 2014. Tutora: Sr. Maria Mercè Pareta Marjanedas.

ARTICLES

- JANI, Yahya / HOGLAND, William. *Vidre de rebuig en la producció de ciment i formigó*. ScienceDirect. 2014. Recuperat de:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343714000645>
- Z. ISMAIL, Zainab / AL-HASHMI, Enas A.. *Reciclatge de residus de vidre en una renovació parcial d'agregat fi en formigó*. Science directe. 2008. Recuperat de
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X0800281X>

DOCUMENTALS

- 30 minuts. *La guerra de la sorra*. Documental. TV3 – Televisió de Catalunya, Octubre 2013.

9. NORMATIVA

- AENOR. *ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DE LOS ÁRIDOS, PARTE 1: Determinación de la granulometría de las partículas. Método del tamizado.* UNE-EN 933-1. Madrid: AENOR, julio 2012.
- AENOR. *ENSAYOS DE HORMIGÓN FRESCO, PARTE 1: Toma de muestras.* UNE-EN 12350-1 Madrid: AENOR, noviembre 2009.
- AENOR. *ENSAYOS DE HORMIGÓN FRESCO, PARTE 2: Ensayo de asentamiento.* UNE-EN 12350-2. Madrid; AENOR, noviembre 2009.
- AENOR. *ENSAYOS DE HORMIGÓN ENDURECIDO, PARTE 1: Forma, dimensiones y otras características de las probetas y moldes.* UNE-EN 12390-1. Madrid: AENOR, abril 2014.
- AENOR. *ENSAYOS DE HORMIGÓN ENDURECIDO, PARTE 2: Fabricación y curado de probetas para ensayos de resistencia.* UNE-EN 12390-2. Madrid: AENOR, noviembre 2009.
- AENOR. *ENSAYOS DE HORMIGÓN ENDURECIDO, PARTE 3: Determinación de la resistencia a compresión de probetas.* UNE-EN 12390-3:2009/AC. Madrid: AENOR, diciembre 2011.
- AENOR. *ENSAYOS DE HORMIGÓN ENDURECIDO, PARTE 4: Resistencia a compresión. Características de las máquinas de ensayo.* UNE-EN 12390-4:2001. Madrid: AENOR, enero 2011.
- AENOR. *ENSAYOS DE HORMIGÓN ENDURECIDO, PARTE 7: Densidad del hormigón endurecido.* UNE-EN 12390-7. Madrid: AENOR, octubre 2009.
- AENOR. *ENSAYOS DE HORMIGÓN ENDURECIDO, PARTE 9: Resistencia al hielo-deshielo. Pérdida de masa superficial.* UNE-CEN/TS 12390-9 EX. Madrid: AENOR, mayo 2008.
- AENOR. *DURABILIDAD DEL HORMIGÓN. Métodos de ensayo. Acondicionamiento de probetas de hormigón para los ensayos de permeabilidad a gases y capilaridad.* UNE 83966. Madrid: AENOR, julio 2008.
- AENOR. *DURABILIDAD DEL HORMIGÓN. Métodos de ensayo. Determinación de la absorción de agua, la densidad y la porosidad accesible al agua del hormigón.* UNE 83980. Madrid: AENOR, diciembre 2014.
- AENOR. *DURABILIDAD DEL HORMIGÓN. Métodos de ensayo. Determinación de la absorción de agua por capilaridad del hormigón endurecido. Método Fagerlund.* UNE 83982. Madrid: AENOR, julio 2008.

- AENOR. *DURABILIDAD DEL HORMIGÓN. Métodos de ensayo. Determinación de la velocidad de penetración de la carbonatación en el hormigón endurecido. Parte 1: Método natural.* UNE 83993-1. Madrid: AENOR, mayo 2013.
- MINISTERIO DE FOMENTO. *Instrucción del Hormigón Estructural, con comentarios de los miembros de la Comisión Permanente del Hormigón.* EHE 08. Madrid: Ministerio de Fomento. Gobierno de España. 2011.

10. AGRAÏMENTS

D'entrada, vull estendre el meu agraïment més sincer a tothom qui, d'una manera o altra, a contribuït en aquest treball aportant el seu gra de sorra. A tots ells, gràcies pel vostres consells, han estat de gran ajuda.

Tanmateix, agrair a la Dra. Maria Mercè Pareta Marjanedas, la seva dedicació i entrega com a tutora del projecte. La teva orientació, entusiasme i suport han estat una peça clau per arribar a bon port. Gràcies.

En segon lloc, un agraïment molt especial al Sr. Pere Bellvehi Casadella. La seva experiència i coneixements, conjuntament amb la dedicació, han estat fonamentals per superar les adversitats i dur a terme un treball de laboratori d'aquestes característiques. Gràcies per el temps que hem compartit, pels teus consells, per la teva vocació, pel teu suport i motivació. Amb tu, la feina de laboratori ha resultat d'allò més gratificant.

També una menció especial als companys amb els que he coincidit al laboratori: Gerard, Naqui, Fran, Cristina, Alba, Marc, Albert, Josep i Dani. Pels instants que hem compartit, que han fet més amenes les hores al laboratori. A tots ells una forta abraçada.

No em vull deixar de donar les gràcies als amics. Gràcies per les nostres estones d'esbarjo i per ajudar-me a tenir sempre les piles carregades.

A la família, per ser sempre al meu costat, per convertir-me en la persona que sóc i per ajudar-me a afrontar cada dia amb optimisme. Gràcies per ser com sou. Us estimo.

En darrer lloc, a tu Sara. Per ser la companya de viatge en el meu camí. Per ser en ocasions com l'oasi en mig del desert. Pel teu suport. Gràcies per compartir cada dia amb mi.

Moltes gràcies a tots.

11. LLISTATS

11.1. LLISTAT 1: ÍNDEX DE TAULES

Taula 1: Composició general dels RCD, (Valor indicatiu). Font: Pla Nacional dels residus de Construcció i Demolició.....	14
Taula 2: Propietats físic-químiques del ciment utilitzat per a la fabricació del formigó. Font: Lafarge	33
Taula 3: Àrids de l'estudi (% que passa, en pes, per cada tamís) . Font: Pròpia	34
Taula 4: Percentatge de càlcul utilitzat en la fabricació de formigons. Font: Pròpia	36
Taula 5: Dosificació dels formigons fabricats en la primera fase. Font: Pròpia	36
Taula 6: Dosificació dels formigons fabricats en la segona fase. Font: Pròpia	37
Taula 7: Dosificació dels formigons fabricats en la tercera fase. Font: Pròpia	38
Taula 8: Condicions de fabricació de cadascuna de les dosificacions utilitzades en el projecte. Font: Pròpia	39
Taula 9: Característiques del procés de fabricació de cadascuna de les dosificacions utilitzades en el projecte. Font: Pròpia.....	40
Taula 10: Característiques del procés de fabricació de cadascuna de les dosificacions utilitzades en el projecte. Font: Pròpia.....	43
Taula 11: Resum del procés de fabricació de cadascuna de les dosificacions utilitzades en el projecte. Font: Pròpia.....	47
Taula 12: Taula introductòria de l'assaig de resistència a compressió. Font: Pròpia	52
Taula 13: Resum del procés de fabricació de cadascuna de les dosificacions utilitzades en el projecte. Font: Pròpia.....	58
Taula 14: Coeficients de conversió per edat del formigó en el moment de la ruptura. Font: EHE-1998.....	59
Taula 15: Valors de resistència a compressió (N/mm ²) de les mostres de la primera fase. Font: Pròpia	59
Taula 16: Valors mitjans de resistència a compressió (N/mm ²) de les mostres de la primera fase. Font: Pròpia.....	60
Taula 17: Valors de resistència a compressió (N/mm ²) de les mostres segona fase. Font: Pròpia	62
Taula 18: Valors mitjans de resistència a compressió (N/mm ²) de les mostres de la segona fase. Font: Pròpia	63
Taula 19: Valors de resistència a compressió (N/mm ²) de les mostres de la tercera fase. Font: Pròpia	69
Taula 20: Valors mitjans de resistència a compressió (N/mm ²) de les mostres de la tercera fase. Font: Pròpia	69
Taula 21: Taula introductòria de l'assaig de determinació de la densitat del formigó endurit. Font: Pròpia	79
Taula 22: Resum del procés de fabricació de cadascuna de les dosificacions utilitzades en el projecte. Font: Pròpia.....	82
Taula 24: Densitat (kg/m ³) en condicions de recepció de les mostres de la fase 2. Font: Pròpia	84
Taula 25: Valors mitjans de densitat (kg/m ³) en condicions de recepció de les mostres de la fase 2. Font: Pròpia.....	84

Taula 26: Densitat (kg/m^3) en condicions de recepció de les mostres de la fase 3. Font: Pròpia	90
Taula 27: Valors mitjans de densitat (kg/m^3) en condicions de recepció de les mostres de la fase 3. Font: Pròpia.....	90
Taula 28: Taula introductòria de l'assaig de determinació de l'absorció d'aigua, la densitat i la porositat accessible a l'aigua del formigó. Font: Pròpia.....	96
Taula 29: Resum del procés d'assaig per a la determinació de l'absorció d'aigua, la densitat i la porositat accessible a l'aigua del formigó. Font: Pròpia.....	103
Taula 30: Pes de les mostres de la fase 3. Font: Pròpia.....	105
Taula 31: Pes mitjà de les mostres de la fase 3. Font: Pròpia.....	106
Taula 32: Resultats de les mostres de la fase 3. Font: Pròpia.....	107
Taula 33: Resultats de les mostres de la fase 3. Font: Pròpia.....	108
Taula 34: Taula introductòria de l'assaig de determinació de l'absorció d'aigua per capil·laritat del formigó endurit. Font: Pròpia	113
Taula 35: Resum del procés d'assaig per a la determinació de l'absorció d'aigua per capil·laritat. Font: Pròpia.....	119
Taula 36: Resultats assaig capil·laritat de les mostres de la fase 3. Font: Pròpia.....	121
Taula 37: Taula introductòria de l'assaig de determinació de la velocitat de penetració de la carbonatació en el formigó endurit. Font: Pròpia.....	123
Taula 38: Resum del procés d'assaig per a la determinació de la velocitat de la penetració de la carbonatació en el formigó endurit. Font: Pròpia.....	129
Taula 39: Resultats assaig de determinació de la velocitat de penetració de la carbonatació. Font: Pròpia.....	131
Taula 40: Taula introductòria de l'assaig de resistència a la humectació-gel-assecatge del formigó endurit.	133
Taula 41: Resum del procés d'assaig per a la determinació de la resistència a la humectació-gel-desgel del formigó endurit. Font: Pròpia.....	141
Taula 42: Resultats assaig humectació-gel-desgel. Font: Pròpia	142
Taula 43: Taula introductòria de l'assaig de resistència a l'abració profunda del formigó endurit.....	144
Taula 44: Resum del procés d'assaig per a la determinació de la resistència a l'abració profunda del formigó endurit. Font: Pròpia	150
Taula 45: Resultats assaig de resistència a l'abració. Font: Pròpia.....	154
Taula 46: Taula introductòria de l'assaig de determinació de la consistència en formigó en estat fresc. Font: Pròpia.....	156
Taula 47: Resum del procés d'assaig de determinació de la consistència. Font: Pròpia	162
Taula 48: Taula de consistències. Font: EHE-08.....	163
Taula 49: Resultats assaig de consistència. Font: Pròpia.....	164

11.2. LLISTAT 2: ÍNDEX DE DIAGRAMES

Diagrama 1: Procés de trituració del vidre. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia	26
Diagrama 2: Diagrama del procediment utilitzat per a la fabricació del formigó de l'estudi. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia.....	39
Diagrama 3: Planificació d'assajos i provetes utilitzades en la tercera fase. Font: Pròpia	51
Diagrama 4: Esquema del procediment utilitzat en l'assaig de resistència a compressió. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia.....	55
Diagrama 5: Esquema del procediment utilitzat en l'assaig de determinació de la densitat del formigó endurit. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia	81
Diagrama 6: Esquema del procediment utilitzat en l'assaig de determinació de l'absorció d'aigua, la densitat i la porositat accessible al formigó. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia	98
Diagrama 7: Esquema del procediment utilitzat en l'assaig de determinació de l'absorció d'aigua per capilaritat. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia	115
Diagrama 8: Esquema del procediment utilitzat en l'assaig de determinació de la velocitat de penetració de la carbonatació. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia.....	124
Diagrama 9: Esquema del procediment utilitzat en l'assaig de les provetes a resistència a la humectació-gel-desgel. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia	134
Diagrama 10: Esquema del procediment utilitzat en l'assaig de resistència a l'abradió profunda de les provetes. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia	145
Diagrama 11: Esquema del procediment utilitzat en l'assaig de determinació de la consistència del formigó fresc. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia	157

11.3. LLISTAT 3: ÍNDEX DE GRÀFICS

Gràfic 1: Corba granulomètrica dels àrids utilitzats en l'estudi. Font: Pròpia	35
Gràfic 2: Gràfic de l'assaig de compressió. Font: Software PCD2K	57
Gràfic 3: Gràfic de valors mitjans de resistència a compressió de les mostres de formigó aplicant el coeficient de conversió per a edat de 28 dies, fase 1. Font: Pròpia	60
Gràfic 4: Gràfic de resistència a compressió de les mostres de formigó de la sèrie $A_{(0,75 a/c)}$, fase 2. Font: Pròpia.....	63
Gràfic 5: Gràfic de resistència a compressió de les mostres de formigó de la sèrie A, fase 2. Font: Pròpia ..	64
Gràfic 6: Gràfic de resistència a compressió de les mostres de formigó de la sèrie B, fase 2. Font: Pròpia ..	65
Gràfic 7: Gràfic de resistència a compressió de les mostres de formigó de la sèrie C, fase 2. Font: Pròpia ..	66
Gràfic 8: Gràfic comparatiu de resistència a compressió de les mostres de formigó de la segona fase . Font: Pròpia.....	67
Gràfic 9: Gràfic de resistència a compressió de les mostres de formigó de la sèrie A, fase 3. Font: Pròpia ..	70
Gràfic 10: Gràfic de resistència a compressió de les mostres de formigó de la sèrie B, fase 3. Font: Pròpia	71
Gràfic 11: Gràfic de resistència a compressió de les mostres de formigó de la sèrie C, fase 3. Font: Pròpia	72
Gràfic 12: Gràfic comparatiu de resistència a compressió de les mostres de formigó de la fase 3. Font: Pròpia.....	73
Gràfic 13: Variació de la resistència a compressió de les mostres de formigó amb vidre en pols. Font: Pròpia	75
Gràfic 14: Gràfic comparatiu de valors experimentals de resistència a compressió de les mostres de formigó amb vidre en pols. Font: Pròpia	76
Gràfic 15: Variació de la resistència a compressió de les mostres de formigó amb vidre mòlt de mida inferior a 4 mm. Font: Pròpia	76
Gràfic 16: Gràfic comparatiu de valors experimentals de resistència a compressió de les mostres de formigó amb vidre mòlt de mida inferior a 4mm. Font: Pròpia	77
Gràfic 17: Variació de la resistència a compressió de les mostres de formigó amb vidre mòlt de mida entre 4 i 8 mm. Font: Pròpia	77
Gràfic 18: Gràfic comparatiu de valors experimentals de resistència a compressió de les mostres de formigó amb vidre mòlt de mida inferior a 4mm. Font: Pròpia	78
Gràfic 19: Gràfic de densitat de les mostres de formigó de la sèrie $A_{(0,75 a/c)}$, fase 2. Font: Pròpia.....	85
Gràfic 20: Gràfic de densitat de les mostres de formigó de la sèrie A, fase 2. Font: Pròpia	86
Gràfic 21: Gràfic de densitat de les mostres de formigó de la sèrie B, fase 2. Font: Pròpia	87
Gràfic 22: Gràfic de densitat de les mostres de formigó de la sèrie C, fase 2. Font: Pròpia	88
Gràfic 23: Gràfic comparatiu de densitats de les mostres de formigó de la fase 2. Font: Pròpia	89
Gràfic 24: Gràfic de densitat de les mostres de formigó de la sèrie A, fase 3. Font: Pròpia	91

Gràfic 25: Gràfic de densitat de les mostres de formigó de la sèrie B, fase 3. Font: Pròpia	92
Gràfic 26: Gràfic de densitat de les mostres de formigó de la sèrie C, fase 3. Font: Pròpia	93
Gràfic 27: Gràfic comparatiu de densitats de les mostres de formigó de la fase 3. Font: Pròpia	94
Gràfic 28: Gràfic d'absorció després d'immersió, absorció després d'immersió i ebullició i porositat accessible a l'aigua de les mostres de formigó de la sèrie A. Font: Pròpia.....	109
Gràfic 29: Gràfic d'absorció després d'immersió, absorció després d'immersió i ebullició i porositat accessible a l'aigua de les mostres de formigó de la sèrie B. Font: Pròpia.....	109
Gràfic 30: Gràfic d'absorció després d'immersió, absorció després d'immersió i ebullició i porositat accessible a l'aigua de les mostres de formigó de la sèrie C. Font: Pròpia	110
Gràfic 31: Densitat en sec de les mostres de formigó. Font: Pròpia.....	110
Gràfic 32: Densitat aparent de les mostres de formigó. Font: Pròpia	111
Gràfic 33: Gràfic d'absorció per capil·laritat del formigó endurit. Font: Pròpia	122
Gràfic 34: Gràfic de velocitat de penetració de la carbonatació. Font: Pròpia.....	131
Gràfic 35: Gràfic de pèrdua de les provetes de l'assaig de humectació-gel-desgel. Font: Pròpia.....	142
Gràfic 36: Gràfic de volum de material eliminat en l'assaig de resistència a l'abradió. Font: Pròpia.....	154
Gràfic 37: Gràfic del percentatge de pèrdua de volum del material eliminat en l'assaig de resistència a l'abradió en comparació amb el formigó convencional. Font: Pròpia.....	155

11.4. LLISTAT 4: ÍNDEX D'IMATGES

Imatge 1: Casa construïda a Novoshakhtinsk (Rússia) amb 5.000 ampolles de vidre. Font: www.veoverde.com	18
Imatge 2: Glass Beach a Fort Bragg (Califòrnia). Font: www.internationalseaglassmuseum.com.....	19
Imatge 3: Gamma terratzo ecològic Dexterra amb vidre reciclat. Font: www.dexindustries.com	21
Imatge 4: Gamma terratzo ecològic Dexterra amb vidre reciclat. Font: www.dexindustries.com	21
Imatge 5: Pigment reflexiu en forma de pols de vidre de l'empresa Productos Químicos FM 2005, S.L. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia.....	25
Imatge 6: Envasos provinents del rebuig domèstic. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia	27
Imatge 7: Envasos de vidre després del seu condicionament. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia	27
Imatge 8: Trencant els envasos de vidre amb un martell. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia.....	28
Imatge 9: Peces metàl·liques per a trinxar el vidre. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia.....	28
Imatge 10: Procés de trituració del vidre. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia.....	29
Imatge 11: Reducció de la mida del vidre. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia	29
Imatge 12: Procés de tamisat del vidre. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia.....	30
Imatge 13: Vidre de mida inferior a 4 mm (esquerra). Vidre de mida entre 4 i 8 mm (dreta). Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia.....	30
Imatge 14: Pesada dels diferents components del formigó. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia	40
Imatge 15: Addició de vidre en pols en la fabricació de formigó. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia	41
Imatge 16: Procés de barreja de l'amassada del formigó mitjançant màquina per a morters. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia.....	41
Imatge 17: Aplicació del producte desemmotllant a les cares interiors del motlle. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia	42
Imatge 18: Colpejat del motlle amb maça i enrasat de la cara superior. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia	42
Imatge 19: Formigó després de la fase d'emmotllat, correctament identificat. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia.....	42
Imatge 20: Conservació del formigó 0-48 hores. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia.....	43
Imatge 21: Equip d'aire a pressió i pistola de desemmotllat. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia.....	44
Imatge 22: Acoblament pistola al motlle i extracció de la proveta del motlle. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia.....	44
Imatge 23: Marcat amb retolador permanent de les provetes de formigó després del desemmotllat. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia	45
Imatge 24: Conservació provetes submergides en aigua entre 48-120 hores. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia.....	45

Imatge 25: Conservació de les provetes de formigó dins cambra humida. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia.....	46
Imatge 26: Premsa universal de 60T. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia.....	53
Imatge 27: Ruptures satisfactòries en provetes cúbiques. Font: UNE-EN 12390-3:2009	54
Imatge 28: Ruptures no satisfactòries en provetes cúbiques. Font: UNE-EN 12390-3:2009 (AC 2011).....	54
Imatge 29: Col·locació de la proveta en la màquina d'assaig i mostra trencada després de l'assaig. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia	56
Imatge 30: Anàlisi del tipus de ruptura. Ruptura satisfactòria. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia	56
Imatge 31: Interfície de control del programa PCD2K. Font: Software PCD2K.....	57
Imatge 32: Provetes en condicions de recepció després de conservació en cambra humida. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia.....	80
Imatge 33: Determinació de la massa de les provetes en condicions de recepció mitjançant balança. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia.....	82
Imatge 34: Condicionament de les provetes a l'estufa de laboratori per tal de determinar el pes sec, m1. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia.....	99
Imatge 35: Termòstat de l'estufa de laboratori configurat a temperatura entre 60 i 65°C. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia.....	99
Imatge 36: Saturació de les provetes submergides en aigua. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia	100
Imatge 37: Ebullició de les mostres de formigó mitjançant placa tèrmica. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia.....	101
Imatge 38: Balança hidrostàtica equipada amb cistella. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia	102
Imatge 39: Determinació pes m_4 mitjançant balança hidrostàtica. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia....	102
Imatge 40: Esquema de l'assaig de capil·laritat. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia	114
Imatge 41: Preparació de l'assaig de capil·laritat. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia	116
Imatge 42: Assaig de capil·laritat. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia	117
Imatge 43: Sistema de manteniment del nivell d'aigua durant l'assaig de capil·laritat. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia	118
Imatge 44: Registre d'increment de pes de l'assaig de capil·laritat. És pot observar l'augment de l'absorció d'aigua en les cares de la proveta. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia	118
Imatge 45: Gràfic de resultats de l'assaig de capil·laritat. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia	119
Imatge 46: Esquema del recinte d'assaig de la velocitat de penetració de la carbonatació. Font: Norma UNE 83993-1: 2013.....	125
Imatge 47: Recinte d'assaig de la velocitat de penetració de la carbonatació. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia.....	125
Imatge 48: Dispositiu de control de la temperatura i humitat en el recinte d'assaig. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia	126

Imatge 49: Proveta després de ser tallada per la meitat. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia.....	127
Imatge 50: Aplicació de la dissolució de fenolftaleïna. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia.....	127
Imatge 51: Mesura de la penetració de la carbonatació sobre una de les mostres on s'ha aplicat el reactiu. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia.....	128
Imatge 52: Procediment de mesura de la profunditat de la carbonatació. Font: Norma UNE/EN 83993-1: 2013.....	128
Imatge 53: Marcat de les provetes previ al tall. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia	135
Imatge 54: Col·locació de la proveta núm. 5 per a l'assaig d'abradió i durabilitat a la màquina de tall. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia.....	135
Imatge 55: Tallant la proveta núm. 5 per a l'assaig d'abradió i durabilitat. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia.....	136
Imatge 56: Provetes un cop tallades. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia.....	136
Imatge 57: Provetes submergides en aigua durant la humectació. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia ...	138
Imatge 58: Congelador utilitzat en l'assaig de durabilitat. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia	138
Imatge 59: Provetes dins el congelador. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia.....	139
Imatge 60: Assecatge de les mostres en estufa a 60°C Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia	139
Imatge 61: Raspallat de les mostres per extreure'n el material després. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia	140
Imatge 62: Estat de la mostra de la Sèrie B, 2% de vidre després de finalitzar l'assaig. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia	140
Imatge 63: Aplicació de pintura a les mostres de l'assaig a abradió. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia..	146
Imatge 64: Aparell d'abradió. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia.....	146
Imatge 65: Col·locació prèvia de la mostra abans de l'assaig. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia.....	147
Imatge 66: Mostra col·locada a l'aparell mentre es realitza l'assaig. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia.	147
Imatge 67: Tauler de control de la màquina d'assaig. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia.....	148
Imatge 68: Material abradiu. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia.....	148
Imatge 69: Esquema de l'equip per a l'abradió profunda. Font: UNE-ISO 10545-6:2012	149
Imatge 70: Provetes de formigó abans de l'assaig, ja pintades. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia.....	152
Imatge 71: Esquema de determinació de l'angle i la longitud de la corda. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia.....	152
Imatge 72: Mesurament de l'amplada de l'empremta. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia.....	153
Imatge 73: Provetes un cop finalitzat l'assaig d'abradió. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia.....	153
Imatge 74: Pastat de formigó mitjançant formigonera. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia	158
Imatge 75: Formigó elaborat amb formigonera previ a l'assaig de consistència. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia.....	159

Imatge 76: Emplenat del con d'Abrams. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia.....	159
Imatge 77: Compactat del formigó mitjançant barra compactadora. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia	160
Imatge 78: Esquema de l'assaig de consistència mitjançant mètode del con d'Abrams. Font: www.construmatica.com	160
Imatge 79: Enrasat de la part superior del con d'assaig. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia.....	161
Imatge 80: Assentament produït en el formigó al retirar el con d'assaig. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia	161
Imatge 81: Procediment de mesura de la consistència del formigó. Font: Norma UNE EN 12350-2:2009 .	163
Imatge 82: Mesura de l'assentament del formigó. Autor: Guillem Martí / Font: Pròpia.....	163

Treball final de grau

Estudi: Grau en Arquitectura Tècnica

Títol: Utilització de vidre reciclat com a substitut de la sorra en l'elaboració de formigons.

Document: Volum II: Annexos

Alumne: Guillem Martí Pérez

Tutor: Maria Mercè Pareta Marjanedas

Departament: Arquitectura i Enginyeria de la Construcció

Àrea: Construccions Arquitectòniques

Convocatòria (mes/any): Setembre 2015

ÍNDEX

12. ANNEXOS	187
12.1. ANNEX 1: DETERMINACIÓ DE LA GRANULOMETRIA DE LES PARTÍCULES.....	188
12.2. ANNEX 2: RESISTÈNCIA A COMPRESSIÓ	203
12.3. ANNEX 3: ABSORCIÓ D'AIGUA PER CAPIL·LARITAT	224
12.4. ANNEX 4: DETERMINACIÓ DE LA VELOCITAT DE PENETRACIÓ DE LA CARBONATACIÓ	242
12.5. ANNEX 5: DETERMINACIÓ DE LA RESISTÈNCIA A L'ABRASIÓ PROFUNDA.....	252
12.6. ANNEX 6: MÀQUINARIA UTILITZADA	268

12. ANNEXOS

12.1. ANNEX 1: DETERMINACIÓ DE LA GRANULOMETRIA DE LES PARTÍCULES

INTRODUCCIÓ

Objectiu de l'assaig:	Determinar la granulometria dels àrids que conformen el formigó
Tipologia:	Assaig no destructiu.
Normativa de referència:	UNE-EN 933-1. "Assaigs per determinar les propietats geomètriques dels àrids. Part 1: Determinació de la granulometria de les partícules. Mètode del tamisat".
Resum del procediment:	S'introdueix el material dins la columna de tamisat. Aquesta està formada per certa quantitat de tamisos encaixats i disposats, de dalt a baix, en ordre decreixent de mida d'obertura amb fons i tapa. En acabar, s'agita la columna de tamisat i es deixa reposar una estona, després, es pesen cadascuna de les fraccions que ha quedat retinguda en cada tamís.
Màquina:	Columna de tamisat i balança

Taula introductòria de l'assaig de determinació de la granulometria de les partícules.

Font: Pròpia

EQUIP

- Columna de tamisat
- Balança

PROCEDIMENT

S'introdueix el material a assajar dins la columna de tamisat, que consta de diferents tamisos amb obertures de diferent diàmetre.

S'agita la columna per tal de que el material es reparteixi segons la seva mida, fins quedar retingut per un tamís pel qual la seva obertura sigui incapaç de superar.

Es deixa reposar la columna durant un temps prudencial, per afavorir que la pols es precipiti.

Per finalitzar, es retiren els tamisos i es pesa la fracció retinguda a cadascun d'ells.



Columna de tamisat utilitzada en l'assaig.
Autor: Guillem Martí / **Font:** Pròpia



Separació de tamisos per determinar la fracció retinguda a cadascun d'ells.
Autor: Guillem Martí / **Font:** Pròpia



Composició de la granulometria de l'àrid.

Autor: Guillem Martí / **Font:** Pròpia

RESULTATS

A continuació es mostren els resultats associats a aquest assaig.

**UTILITZACIÓ DE VIDRE RECICLAT COM A SUBSTITUT DE LA SORRA
EN L'ELABORACIÓ DE FORMIGONS**

12. ANNEXOS

Àrid 1. (X) SORRA															
Tamis (mm)	Retingut Parcial (gr)										Retingut Parcial (gr) Mostra Mitjana 10 mostres	Retingut Acumulat (gr)	Retingut acumulat (%)	Passa (%)	
	Mostra 1	Mostra 2	Mostra 3	Mostra 4	Mostra 5	Mostra 6	Mostra 7	Mostra 8	Mostra 9	Mostra 10					
63	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,00	
31,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,00	
16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,00	
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,00	
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,00	
2	31,0	27,1	21,7	18,7	19,4	15,7	19,1	25,2	31,7	26,8		23,6	23,6	4,74	95,26
1	205,9	174,6	181,5	160,2	164,1	142,7	162,5	191,2	202,5	177,1		176,2	199,9	40,05	59,95
0,5	165,7	175,6	181,4	179,4	170,3	167,3	167,8	164,5	162,7	170,6		170,5	370,4	74,23	25,77
0,25	68,2	95,9	79,1	96,6	93,6	105,2	93,0	76,5	69,1	87,0		86,4	456,8	91,54	8,46
0,125	18,9	22,4	23,9	30,4	35,6	44,9	37,1	27,9	22,3	28,8		29,2	486,0	97,40	2,60
FONS	8,9	3,5	11,4	13,6	16,2	23,2	19,2	14,0	10,7	9,1		13,0	499,0	100,00	0,00
														308,0	
Percentatge de fins (%)	3,84	1,58	4,76	5,66	6,64	9,48	7,94	5,74	4,48	3,76		5,39			
M1 (Kg)	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000		0,5000		Mòdul granulomètric 3,08	
M2 (Kg)	0,4897	0,4956	0,4876	0,4853	0,4830	0,4758	0,4795	0,4853	0,4883	0,4903		0,4860			
P (Kg)	0,0089	0,0035	0,0114	0,0136	0,0162	0,0232	0,0192	0,0140	0,0107	0,0091		0,0130			

Àrid 2. (Y) GRAVA															
Tamis (mm)	Retingut Parcial (gr)										Retingut Parcial (gr) Mostra Mitjana 10 mostres	Retingut Acumulat (gr)	Retingut acumulat (%)	Passa (%)	
	Mostra 1	Mostra 2	Mostra 3	Mostra 4	Mostra 5	Mostra 6	Mostra 7	Mostra 8	Mostra 9	Mostra 10					
63	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,00	
31,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,00	
16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,00	
8	458,9	426,2	431,5	352,8	457,5	464,4	457,7	389,3	380,9	483,8		430,3	430,3	86,23	13,77
4	137,5	164,4	164,3	240,3	138,0	132,6	137,5	203,6	208,3	112,1		163,9	594,2	99,50	0,50
2	0,3	3,8	0,1	3,0	0,4	0,0	0,3	3,0	6,1	0,8		1,8	595,9	99,80	0,20
1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,2	0,0	0,2	0,0	0,1		0,1	596,0	99,81	0,19
0,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1		0,1	596,1	99,82	0,18
0,25	0,2	0,0	0,1	0,1	0,3	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3		0,2	596,3	99,86	0,14
0,125	0,2	0,2	0,3	0,1	0,2	0,2	0,5	0,5	0,6	0,2		0,3	596,6	99,91	0,09
FONS	0,5	0,4	0,4	0,6	0,8	0,5	0,6	0,7	0,5	0,6		0,6	597,2	100,00	0,00
														684,9	
Percentatge de fins (%)	0,55	0,95	0,68	0,72	0,72	0,47	0,70	0,60	0,68	0,53		99,69			
M1 (Kg)	0,6000	0,6000	0,6000	0,6000	0,6000	0,6000	0,6000	0,6000	0,6000	0,6000		0,6000		Mòdul granulomètric 6,85	
M2 (Kg)	0,5972	0,5947	0,5963	0,5963	0,5965	0,5977	0,5964	0,5971	0,5964	0,5974		0,0024			
P (Kg)	0,0005	0,0004	0,0004	0,0006	0,0008	0,0005	0,0006	0,0007	0,0005	0,0006		0,0006			

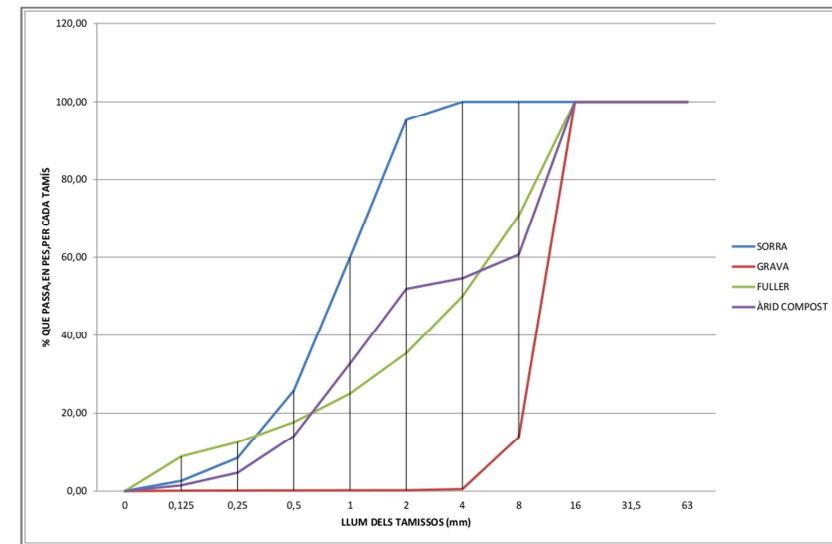
IDEAL BLANC

Tamis (mm)	SORRA	GRAVA	COMPOSTA	LINIA DE FULLER	ÀRID COMPOST	
	Retingut Acumulat(%)		Passa (%)		Acumulat (%)	Passa (%)
63	0,00	0,00	100,00	0	0,00	100,00
31,5	0,00	0,00	100,00	0	0,00	100,00
16	0,00	0,00	100,00	0	0,00	100,00
8	0,00	86,23	70,71	29,29	39,34	60,66
4	0,00	99,50	50,00	50,00	45,39	54,61
2	4,74	99,80	35,36	64,64	48,10	51,90
1	40,05	99,81	25,00	75,00	67,31	32,69
0,5	74,23	99,82	17,68	82,32	85,90	14,10
0,25	91,54	99,86	12,50	87,50	95,34	4,66
0,125	97,40	99,91	8,84	91,16	98,54	1,46
	3,08	6,85		4,80	4,80	

Àrid Compost
 $X+Y=1$
 $MGSX+MGY$
 $=4,80$

X	Y
0,5438	0,4562

Tamis (mm)	Passa (%)			
	SORRA	GRAVA	FULLER	ÀRID COMPOST
63	100,00	100,00	100,00	100,00
31,5	100,00	100,00	100,00	100,00
16	100,00	100,00	100,00	100,00
8	100,00	13,77	70,71	60,66
4	100,00	0,50	50,00	54,61
2	95,26	0,20	35,36	51,90
1	59,95	0,19	25,00	32,69
0,5	25,77	0,18	17,68	14,10
0,25	8,46	0,14	12,50	4,66
0,125	2,60	0,09	8,84	1,46
0	0,00	0,00	0,00	0,00



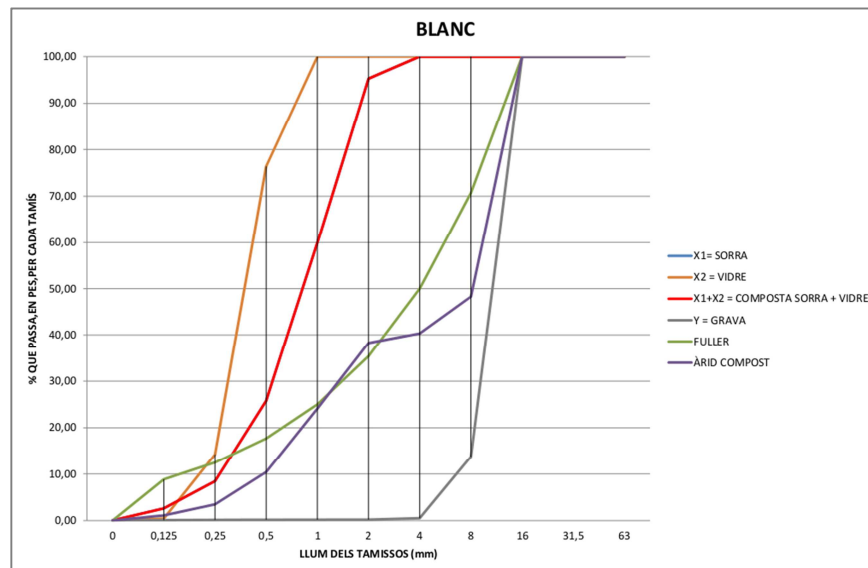
**UTILITZACIÓ DE VIDRE RECICLAT COM A SUBSTITUT DE LA SORRA
EN L'ELABORACIÓ DE FORMIGONS**

12. ANNEXOS

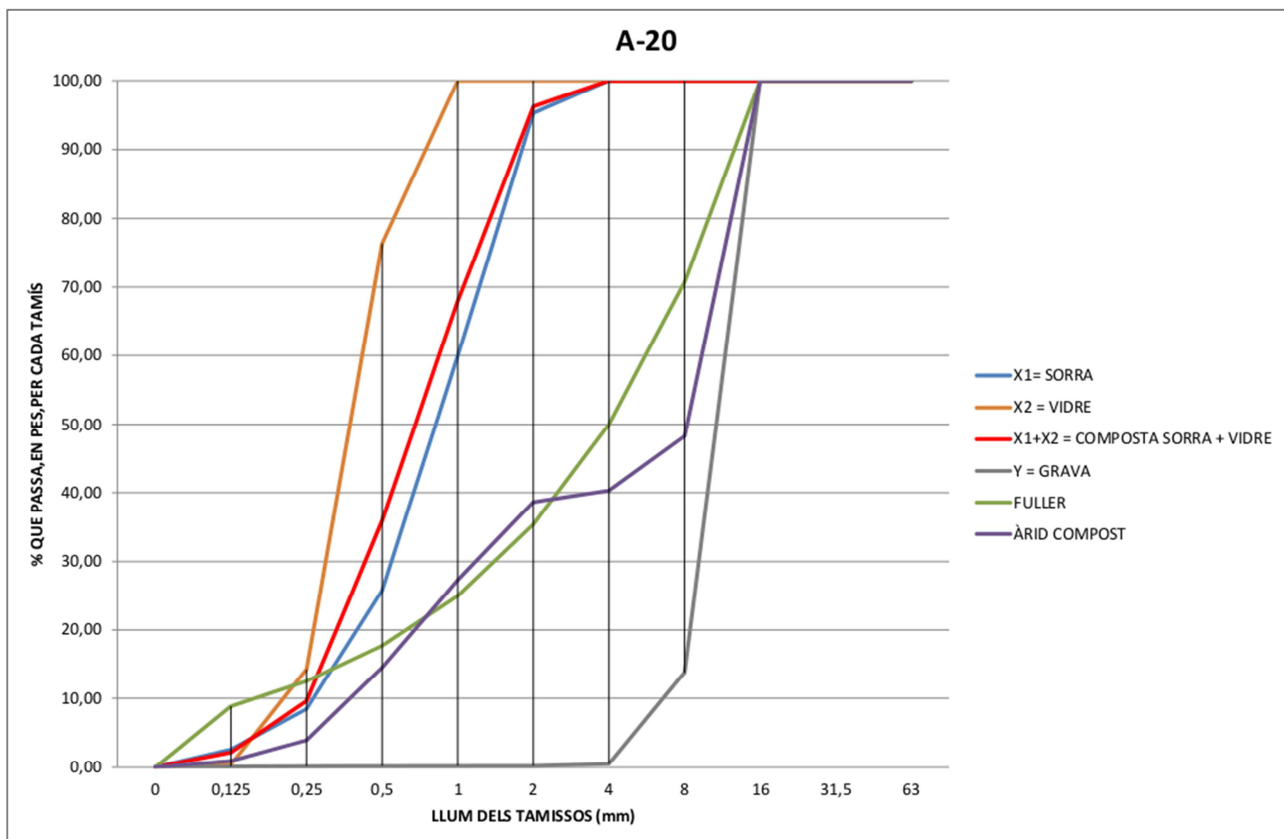
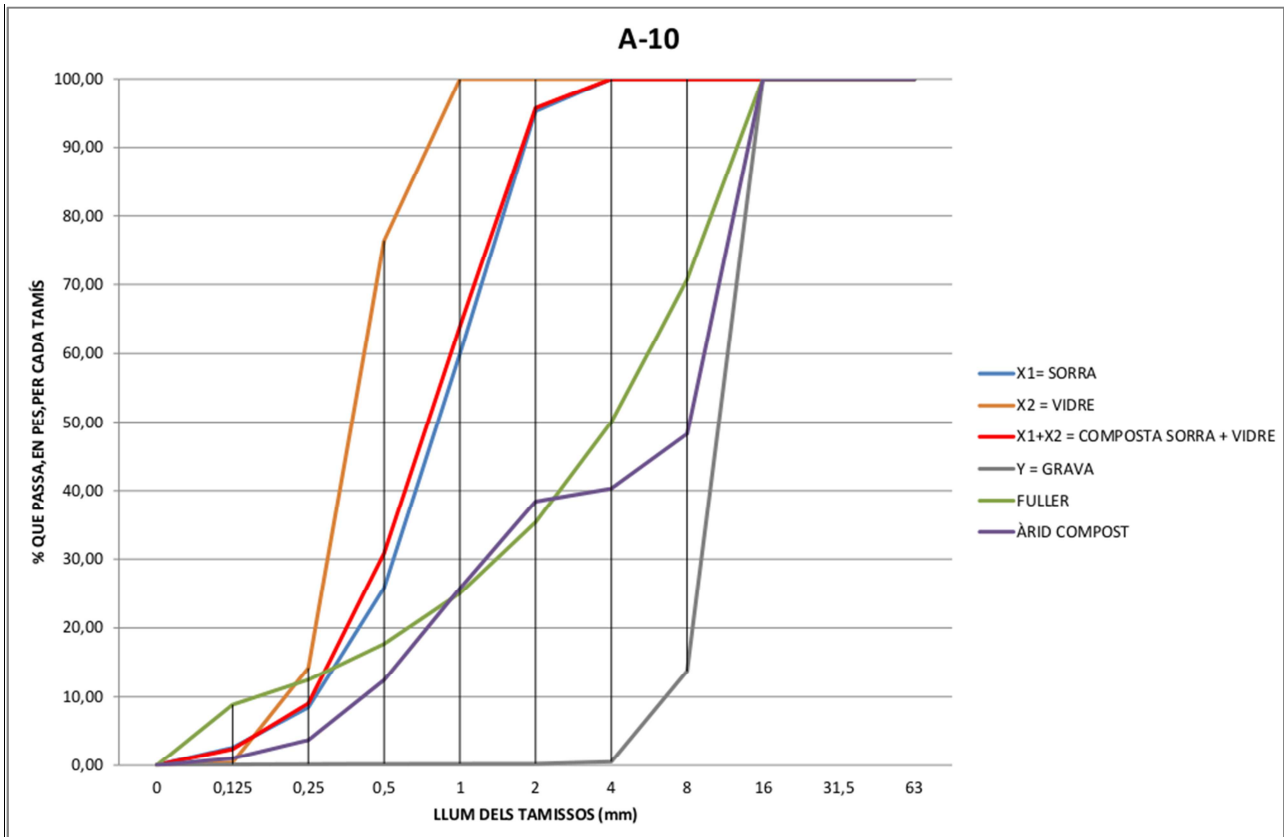
Àrid 2. (X2) ESFERES DE VIDRE				
Tamis (mm)	Retingut Parcial (gr)	Retingut Acumulat (gr)	Retingut acumuat (%)	Passa (%)
	Mostra	(gr)		
63	0,0	0,0	0,0	100,0
31,5	0,0	0,0	0,0	100,0
16	0,0	0,0	0,0	100,0
8	0,0	0,0	0,0	100,0
4	0,0	0,0	0,0	100,0
2	0,0	0,0	0,0	100,0
1	0,0	0,0	0,0	100,0
0,5	118,0	118,0	23,6	76,4
0,25	310,5	428,5	85,8	14,2
0,125	69,2	497,7	99,6	0,4
FONS	2,0	499,7	100,0	0,0
			209,0	
Percentatge de fins (%)	0,86			
on M1 (Kg)	0,5000	Mòdul granulometric		2,09
M2 (Kg)	0,4977			
P (Kg)	0,0020			

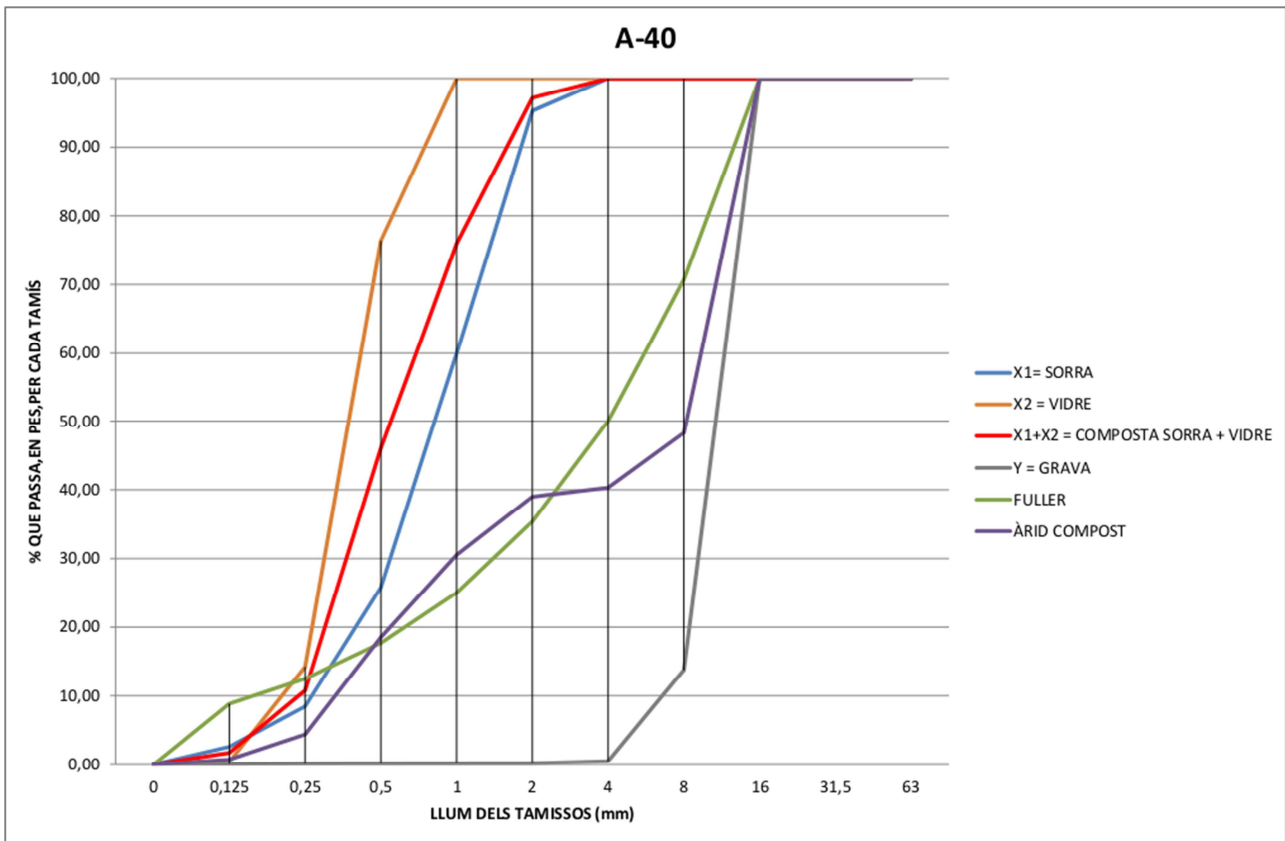
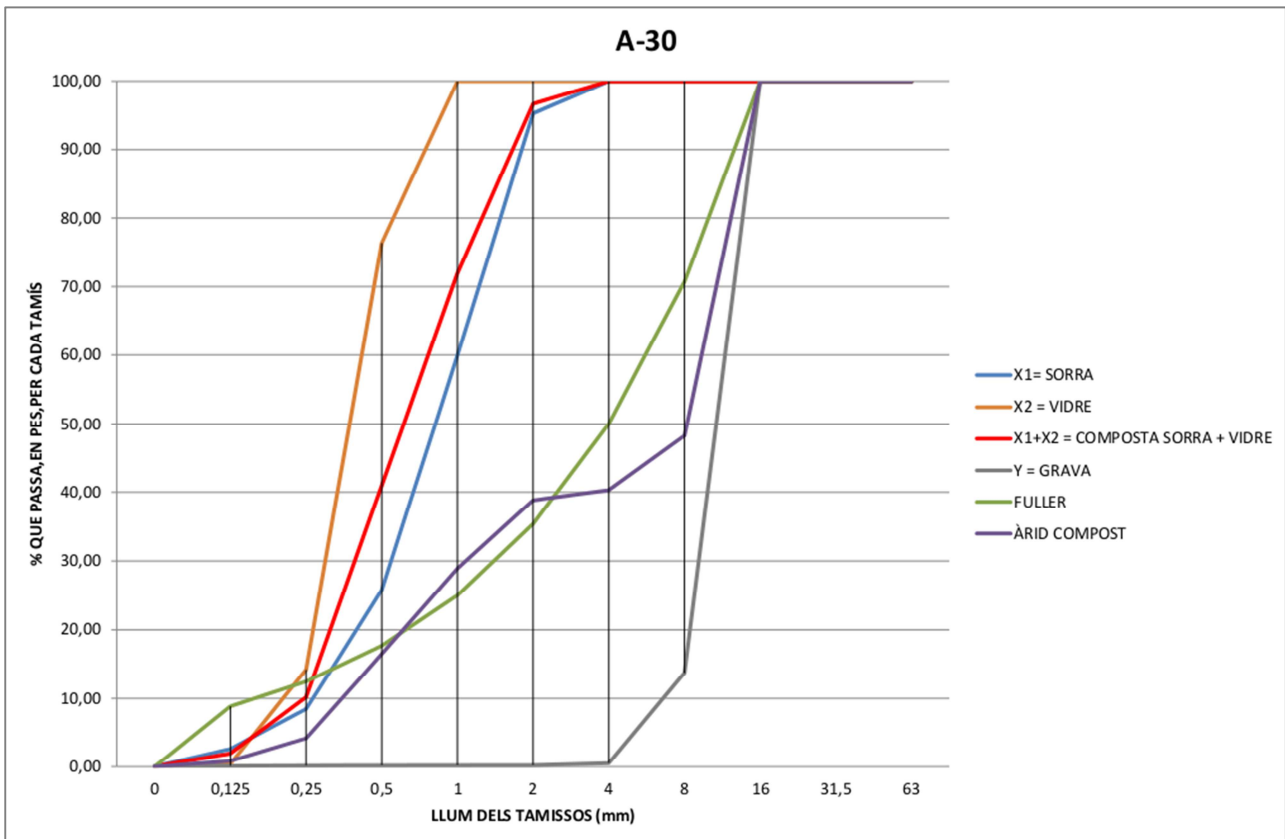
Àrid 2. (X2) VIDRE 4mm				
Tamis (mm)	Retingut Parcial (gr)	Retingut Acumulat (gr)	Retingut acumuat (%)	Passa (%)
	Mostra	(gr)		
63	0,0	0,0	0,0	100,0
31,5	0,0	0,0	0,0	100,0
16	0,0	0,0	0,0	100,0
8	0,0	0,0	0,0	100,0
4	1,7	1,7	0,3	99,7
2	195,1	196,8	39,4	60,6
1	142,7	339,5	68,0	32,0
0,5	75,0	414,5	83,1	16,9
0,25	42,0	456,5	91,5	8,5
0,125	21,1	477,6	95,7	4,3
FONS	21,3	498,9	100,0	0,0
			378,2	
Percentatge de fins (%)	8,74			
on M1 (Kg)	0,5000	Mòdul granulometric		3,78
M2 (Kg)	0,4776			
P (Kg)	0,0213			

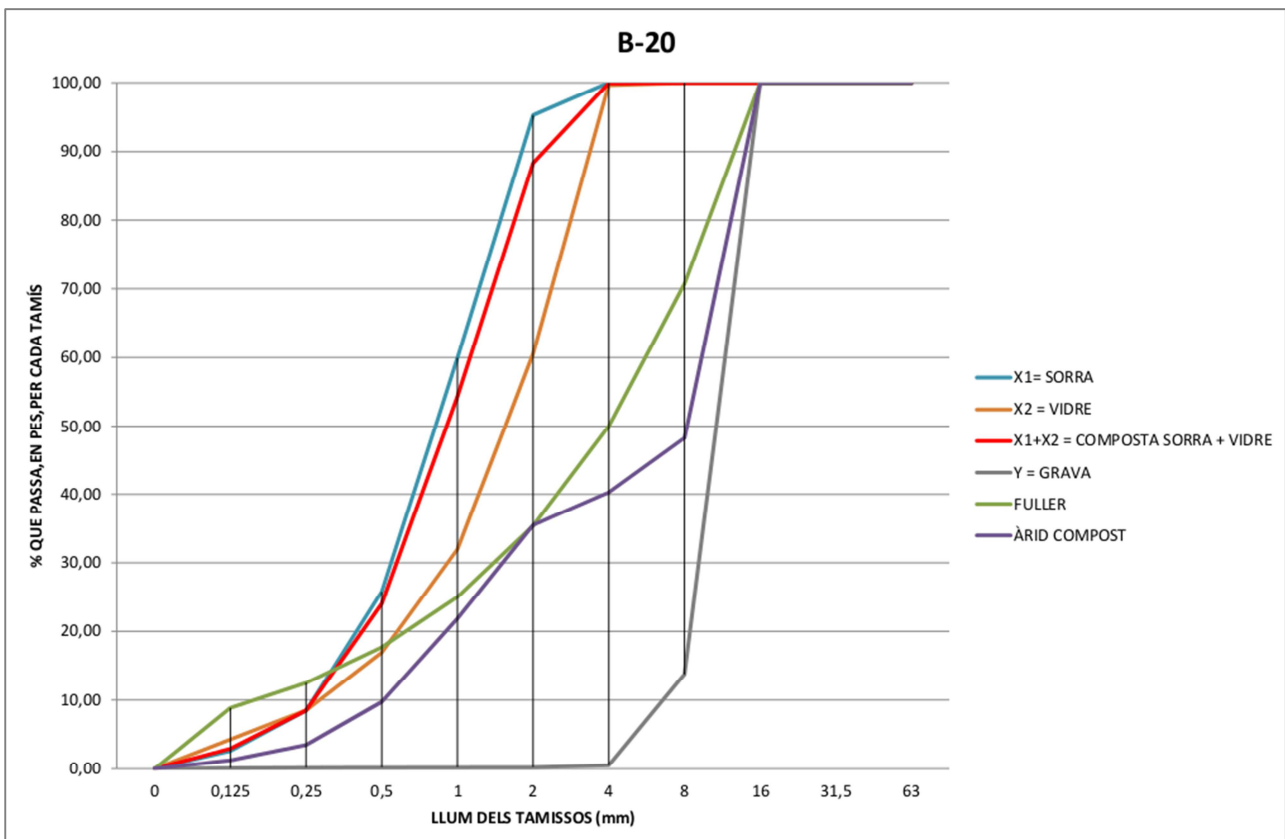
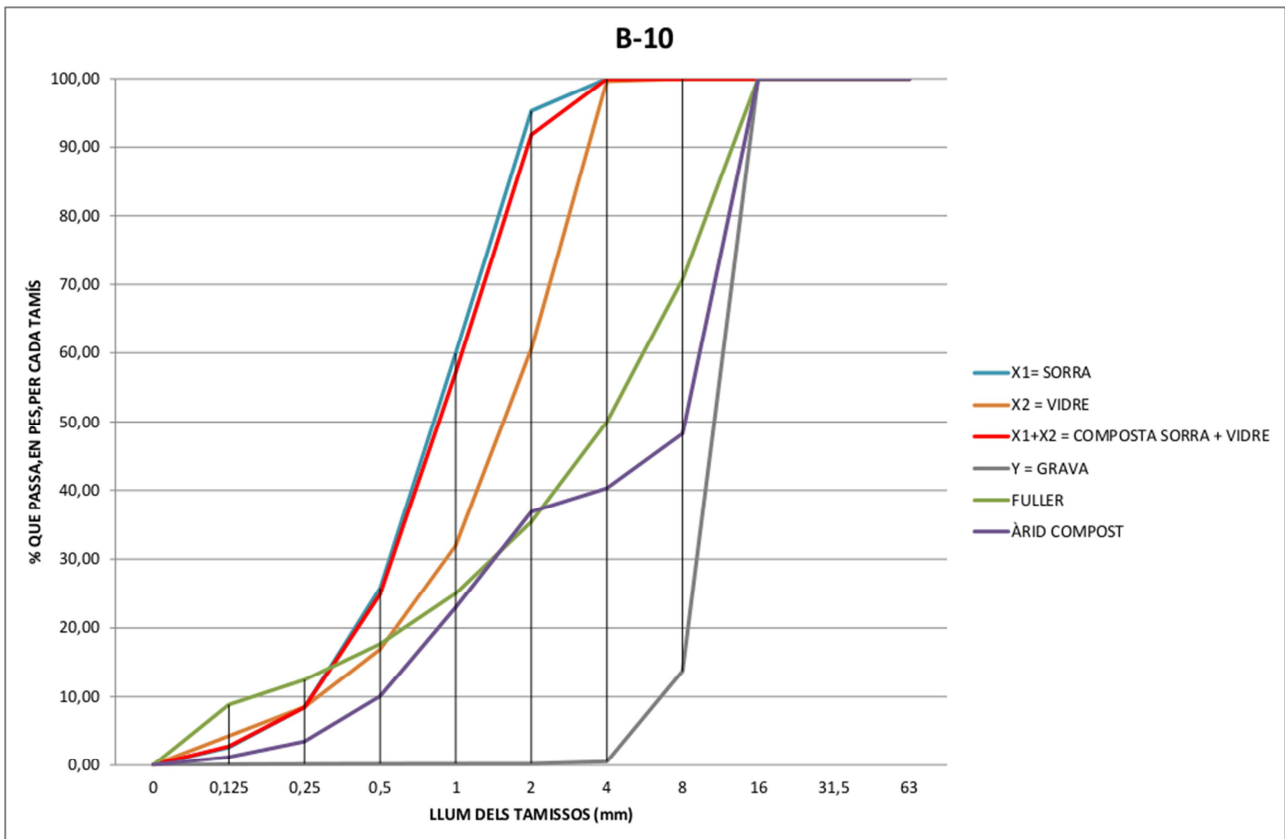
Àrid 2. (X2) VIDRE 8 mm				
Tamis (mm)	Retingut Parcial (gr)	Retingut Acumulat (gr)	Retingut acumuat (%)	Passa (%)
	Mostra	(gr)		
63	0,0	0,0	0,0	100,0
31,5	0,0	0,0	0,0	100,0
16	0,0	0,0	0,0	100,0
8	500,0	500,0	0,0	100,0
4	0,0	500,0	100,0	0,0
2	0,0	500,0	100,0	0,0
1	0,0	500,0	100,0	0,0
0,5	0,0	500,0	100,0	0,0
0,25	0,0	500,0	100,0	0,0
0,125	0,0	500,0	100,0	0,0
FONS	0,0	500,0	100,0	0,0
			600,0	
Percentatge de fins (%)	0,00			
on M1 (Kg)	0,5000	Mòdul granulometric		6,00
M2 (Kg)	0,5000			
P (Kg)	0,0000			

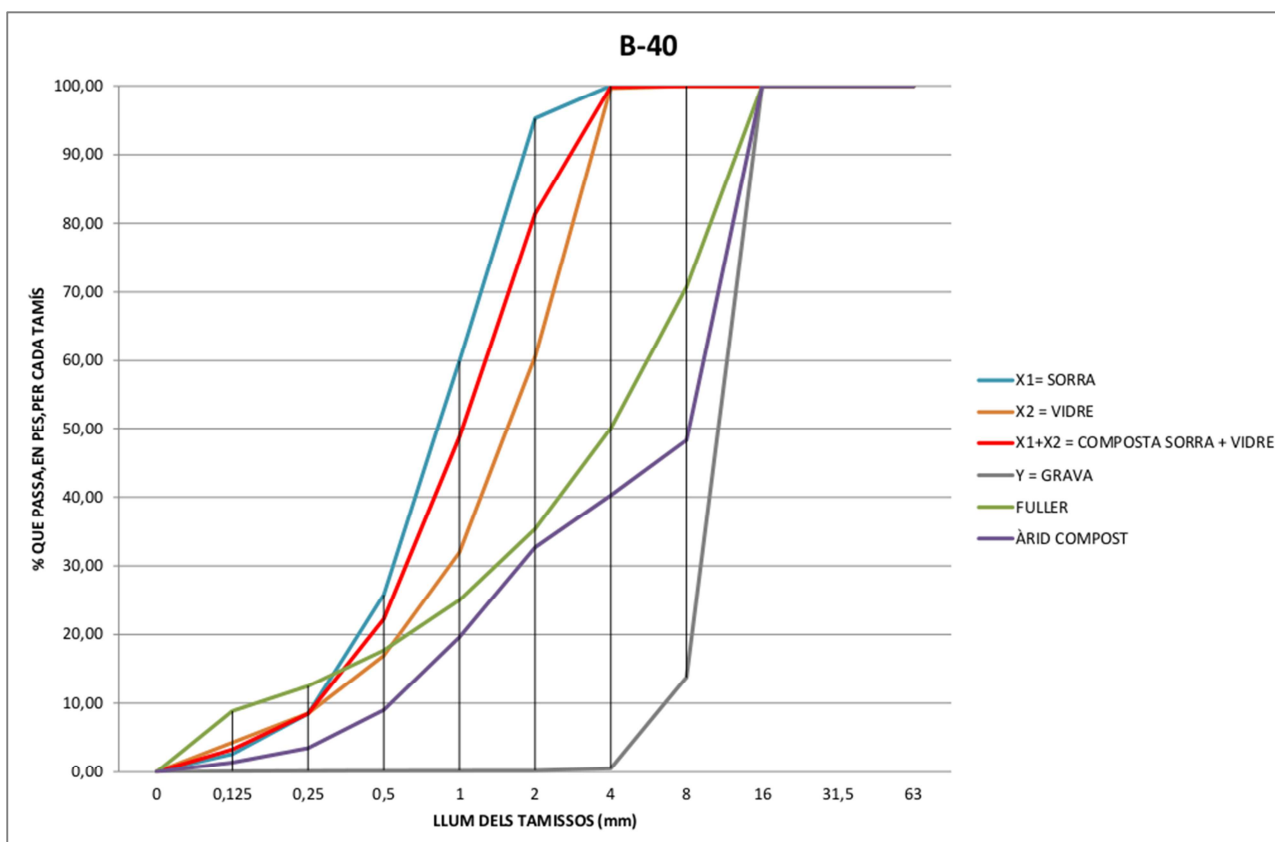
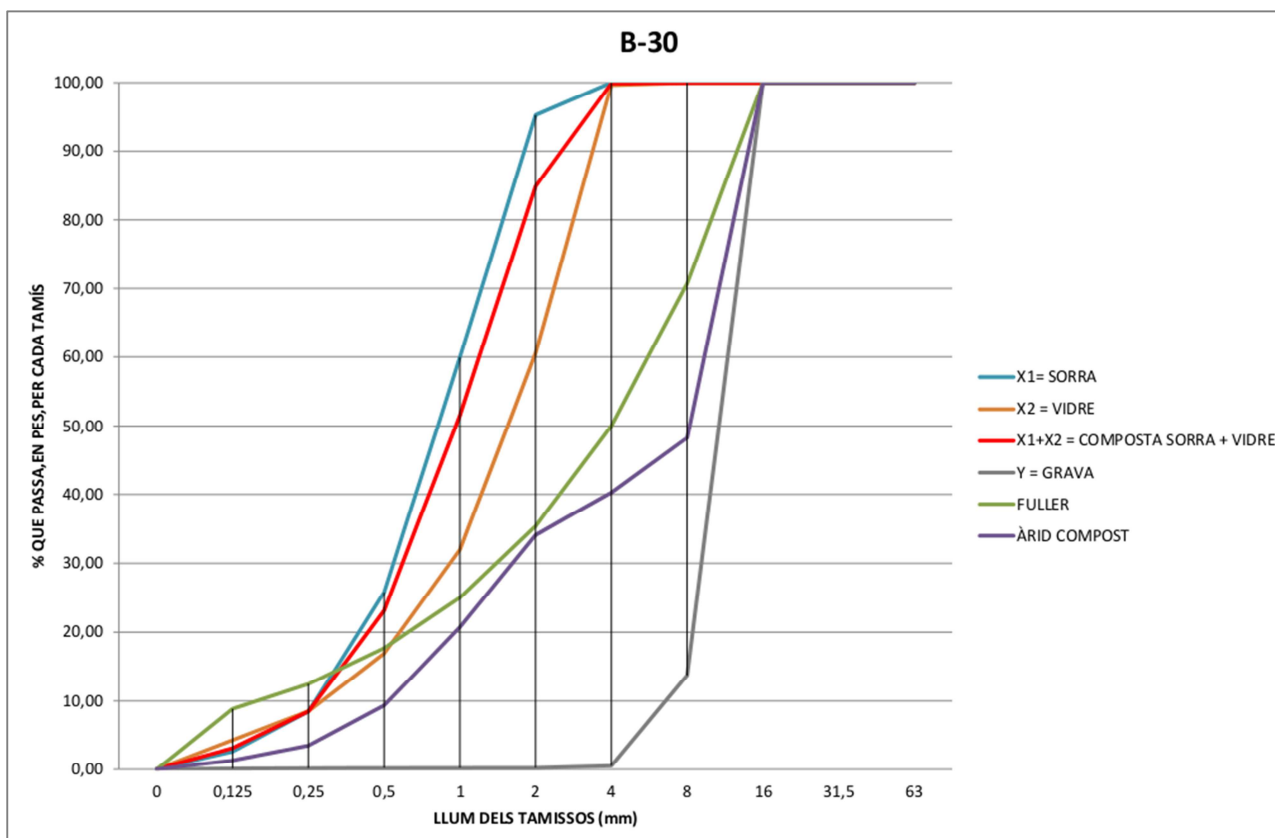


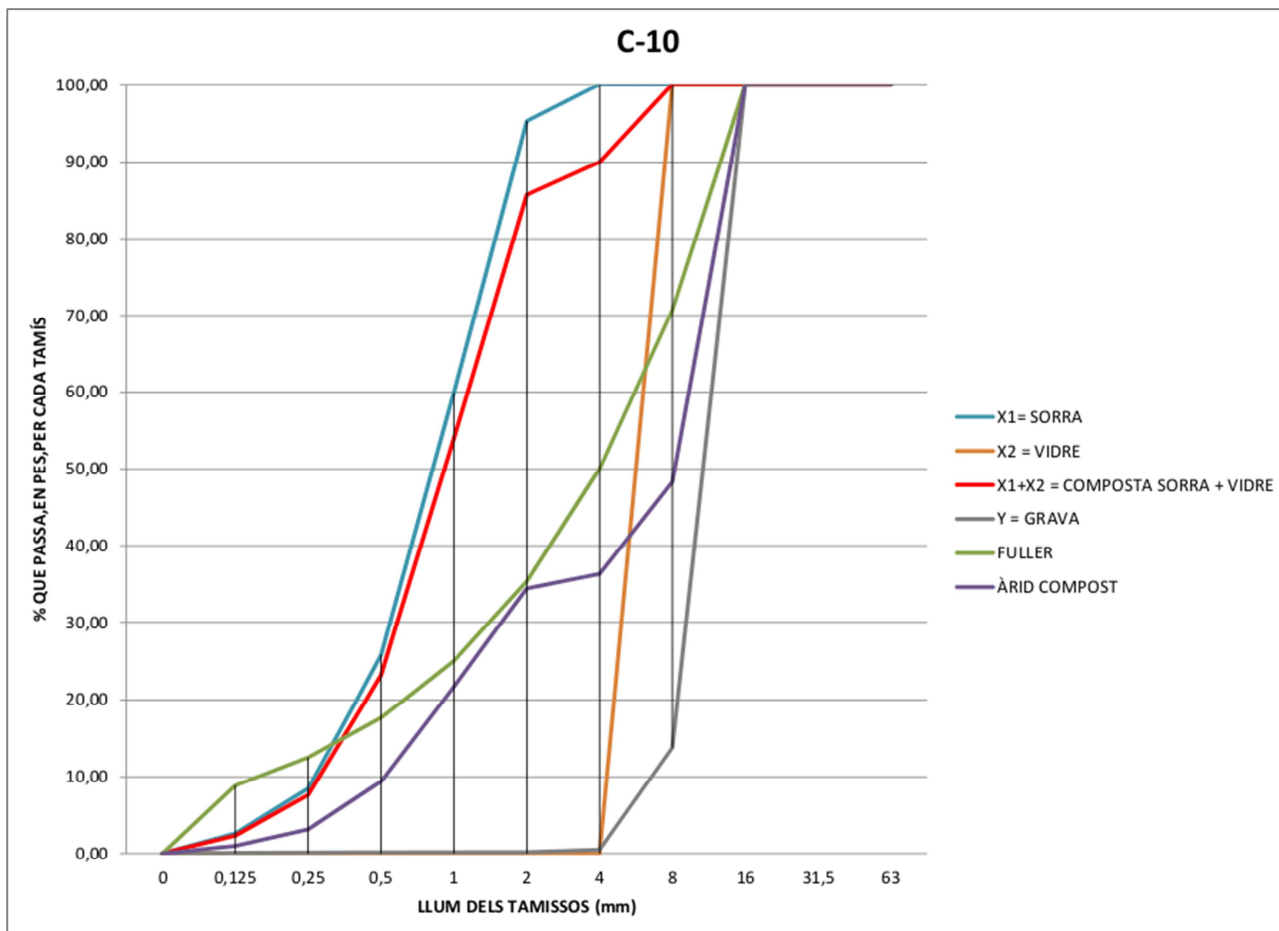
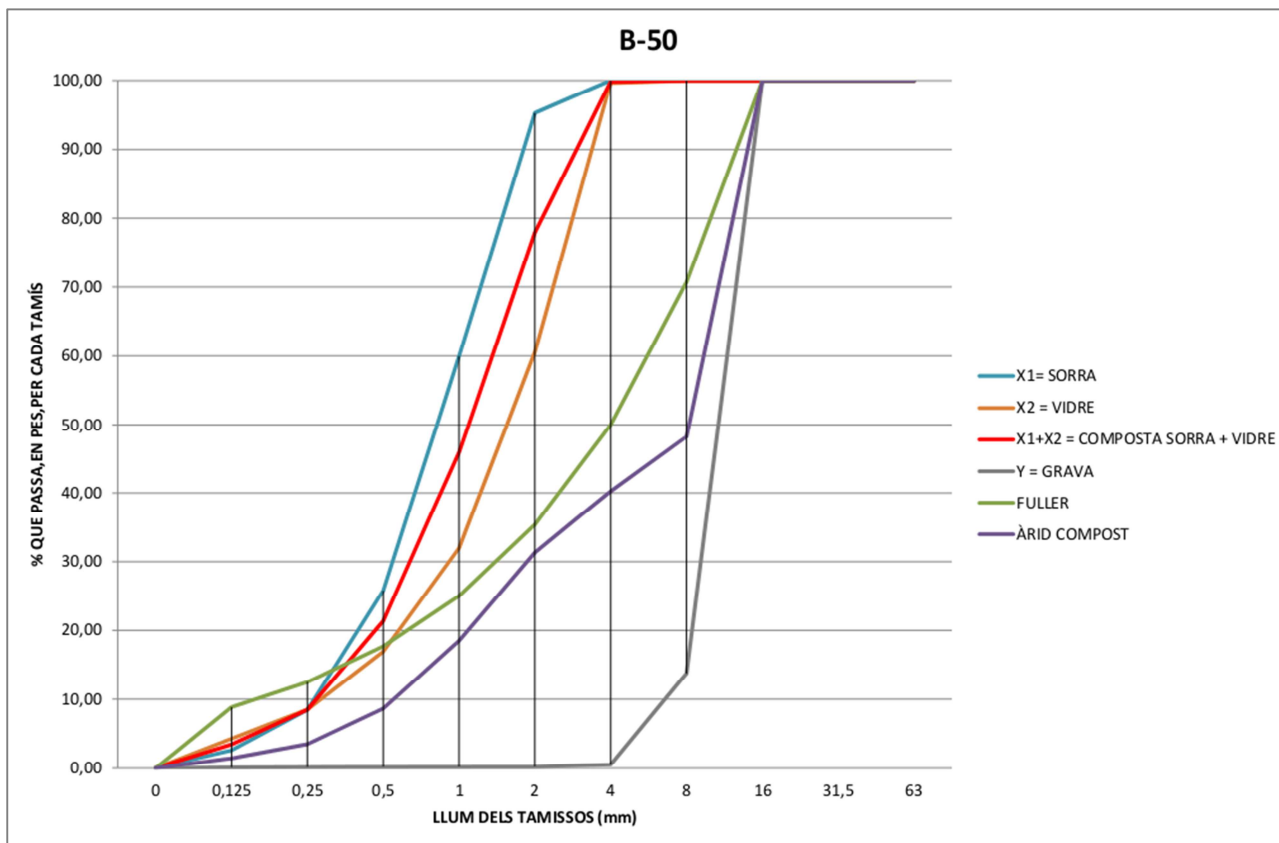
FASE 2:

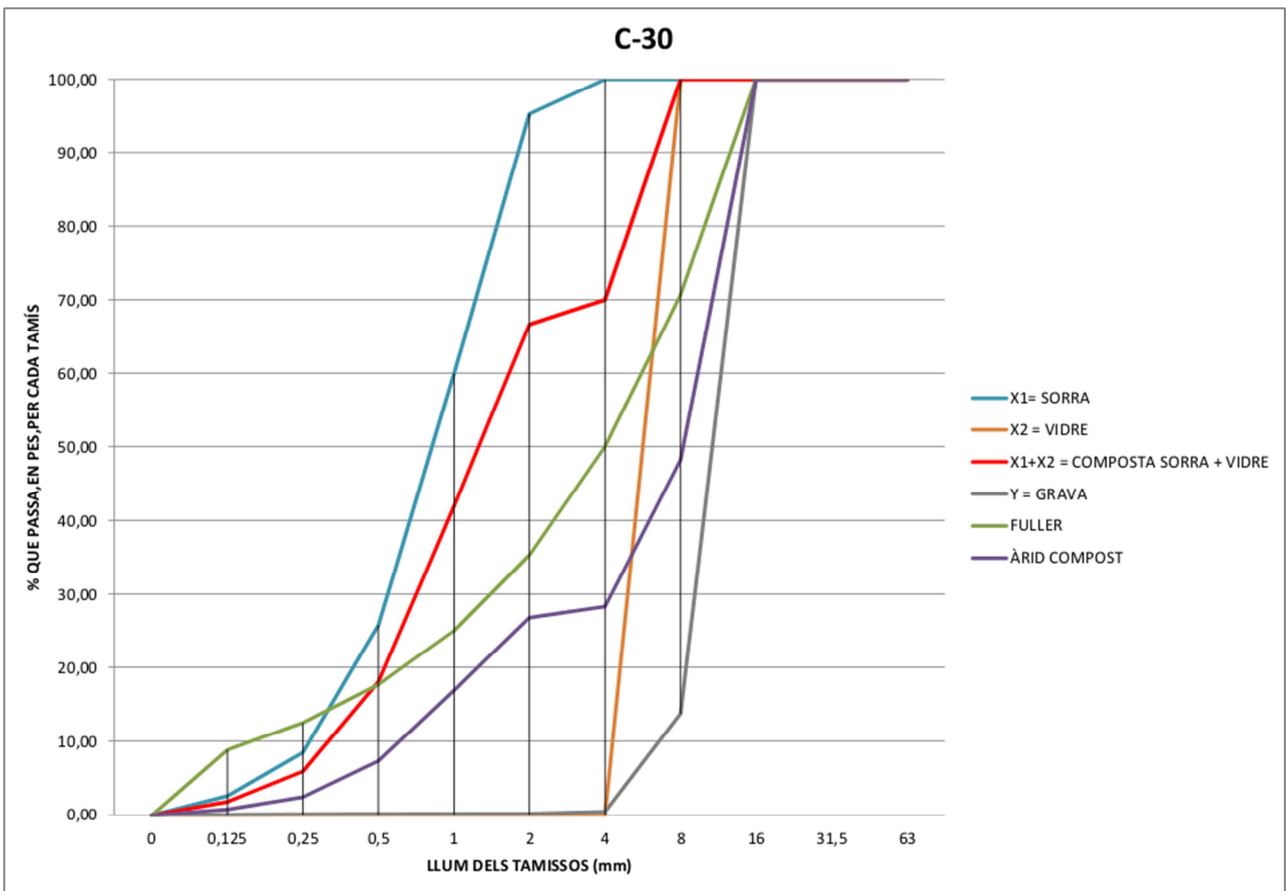
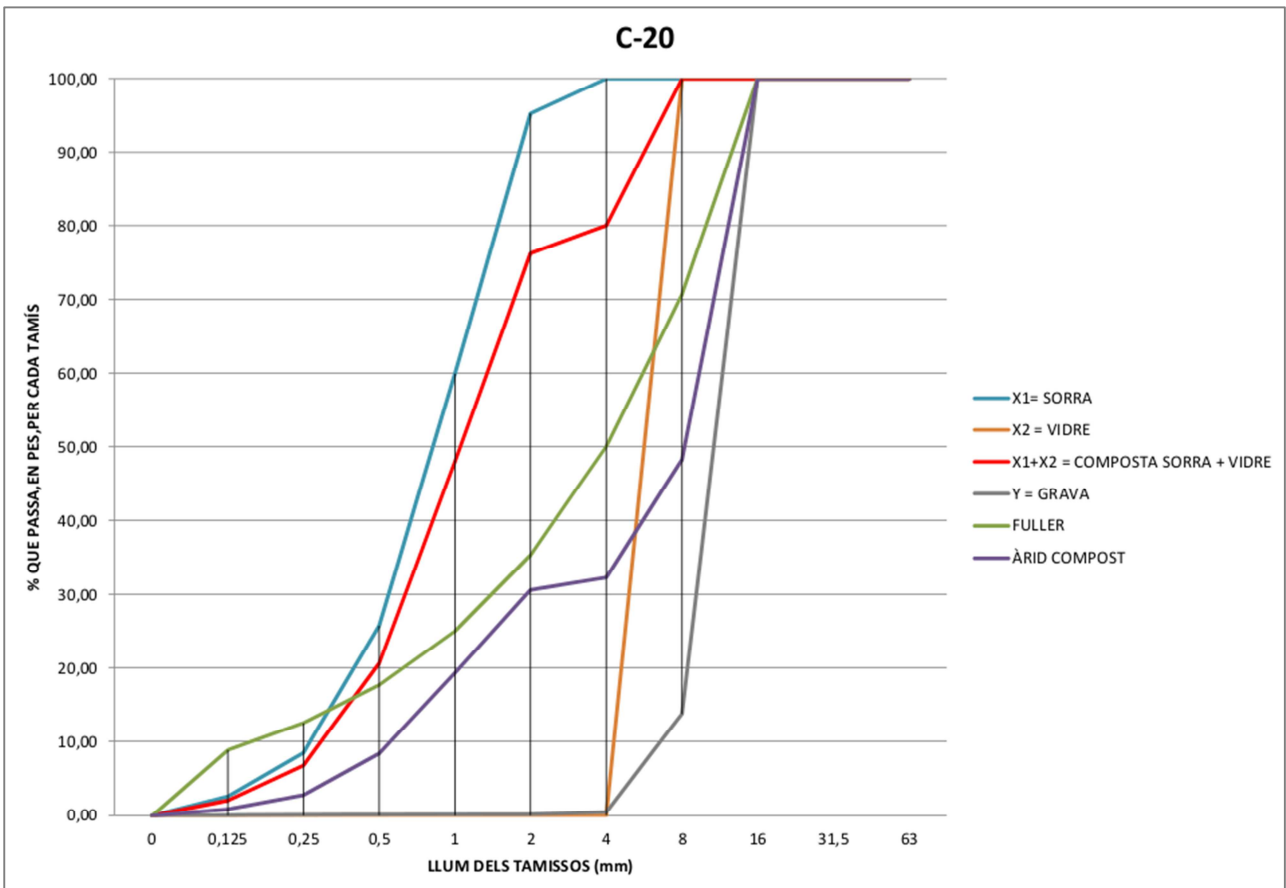


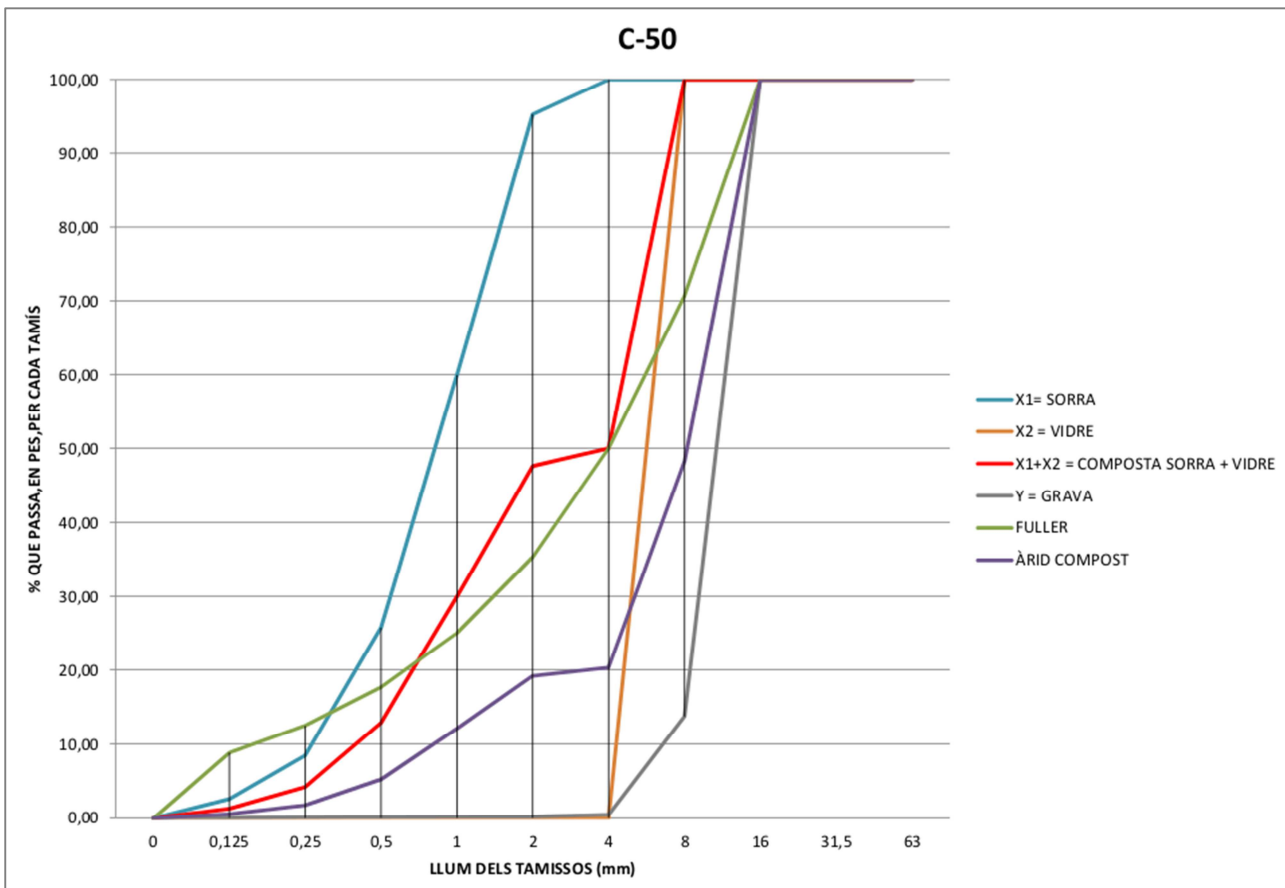
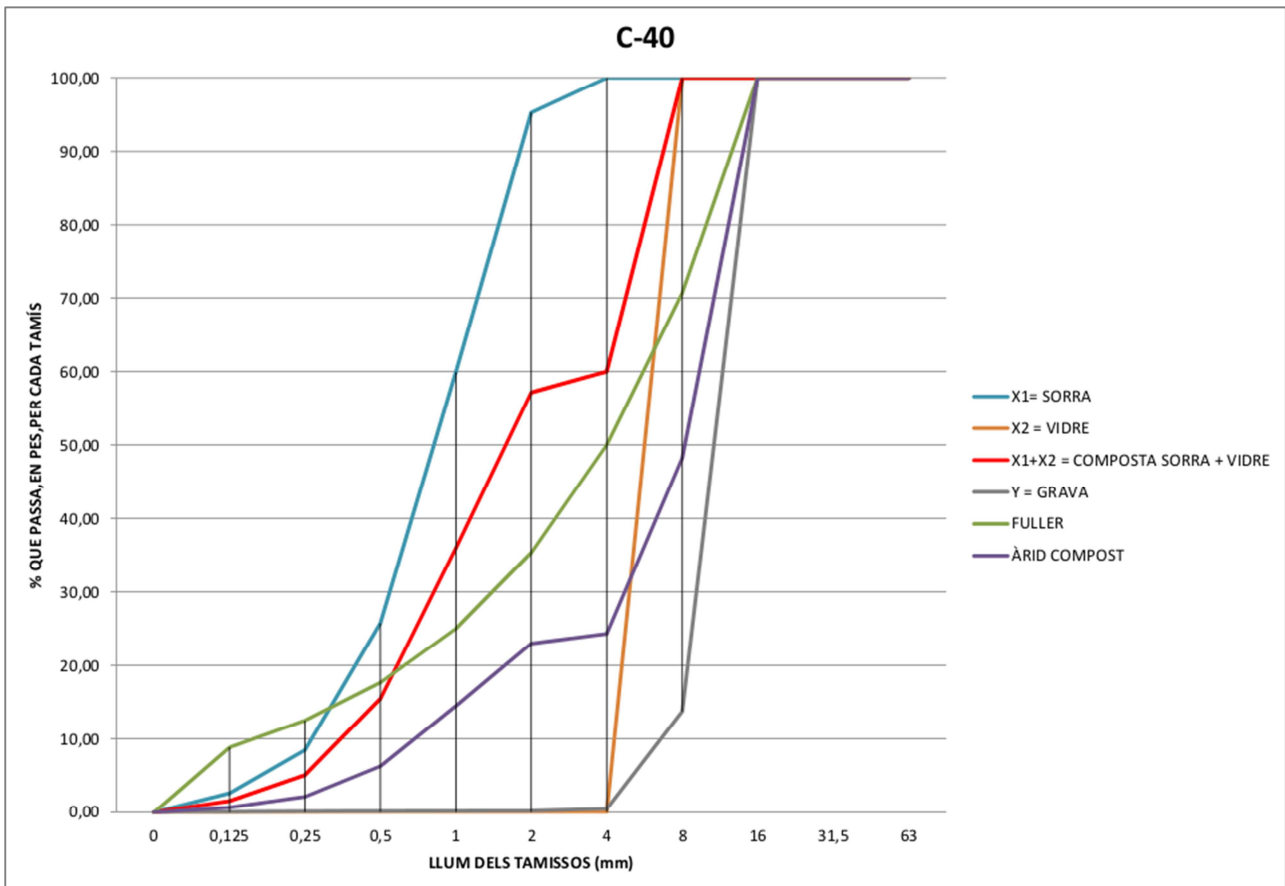




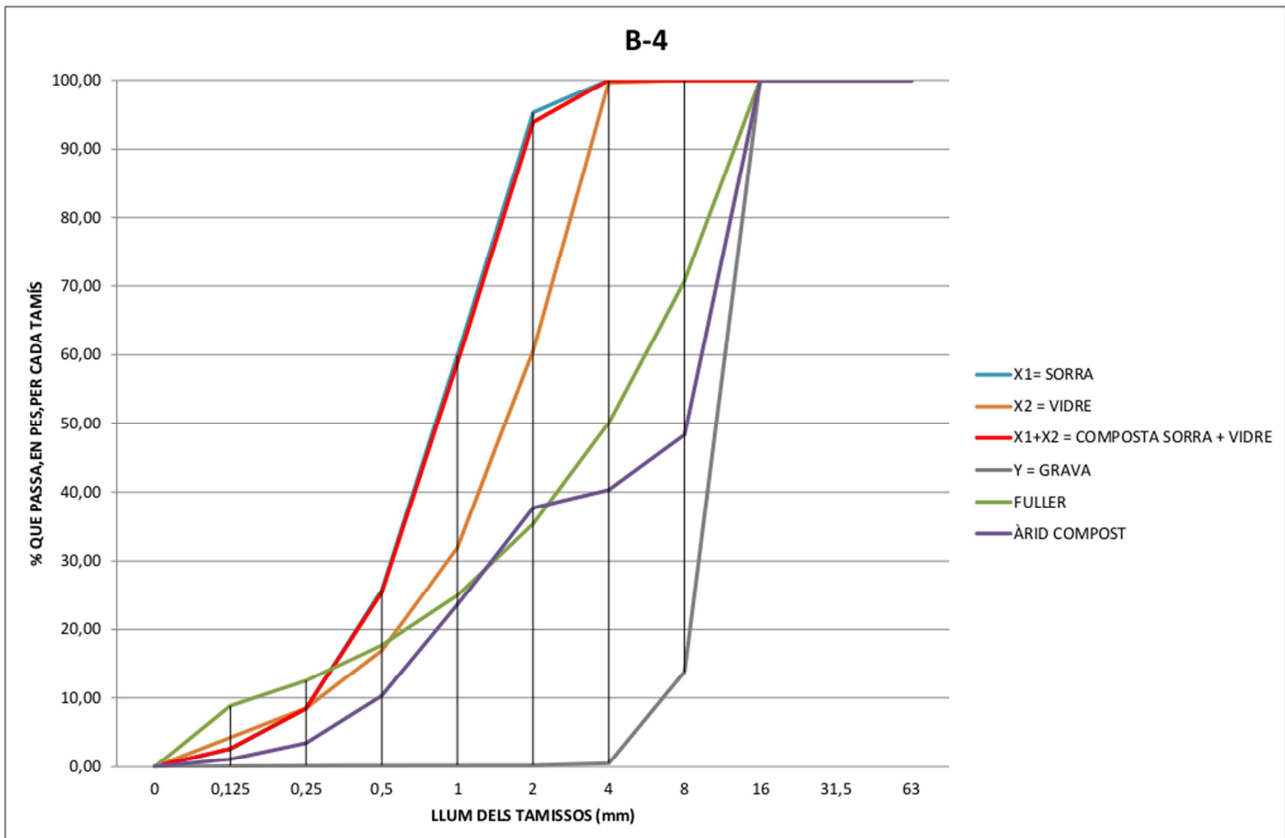
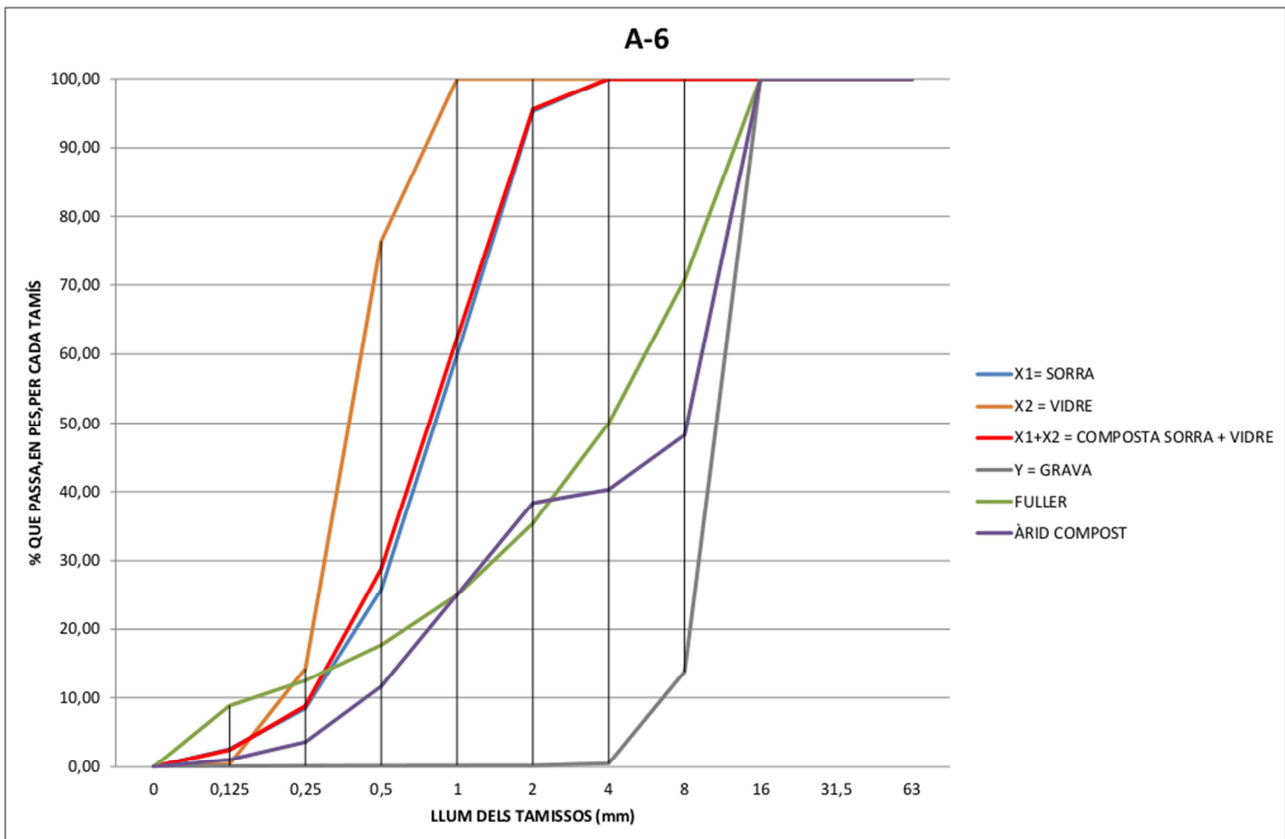


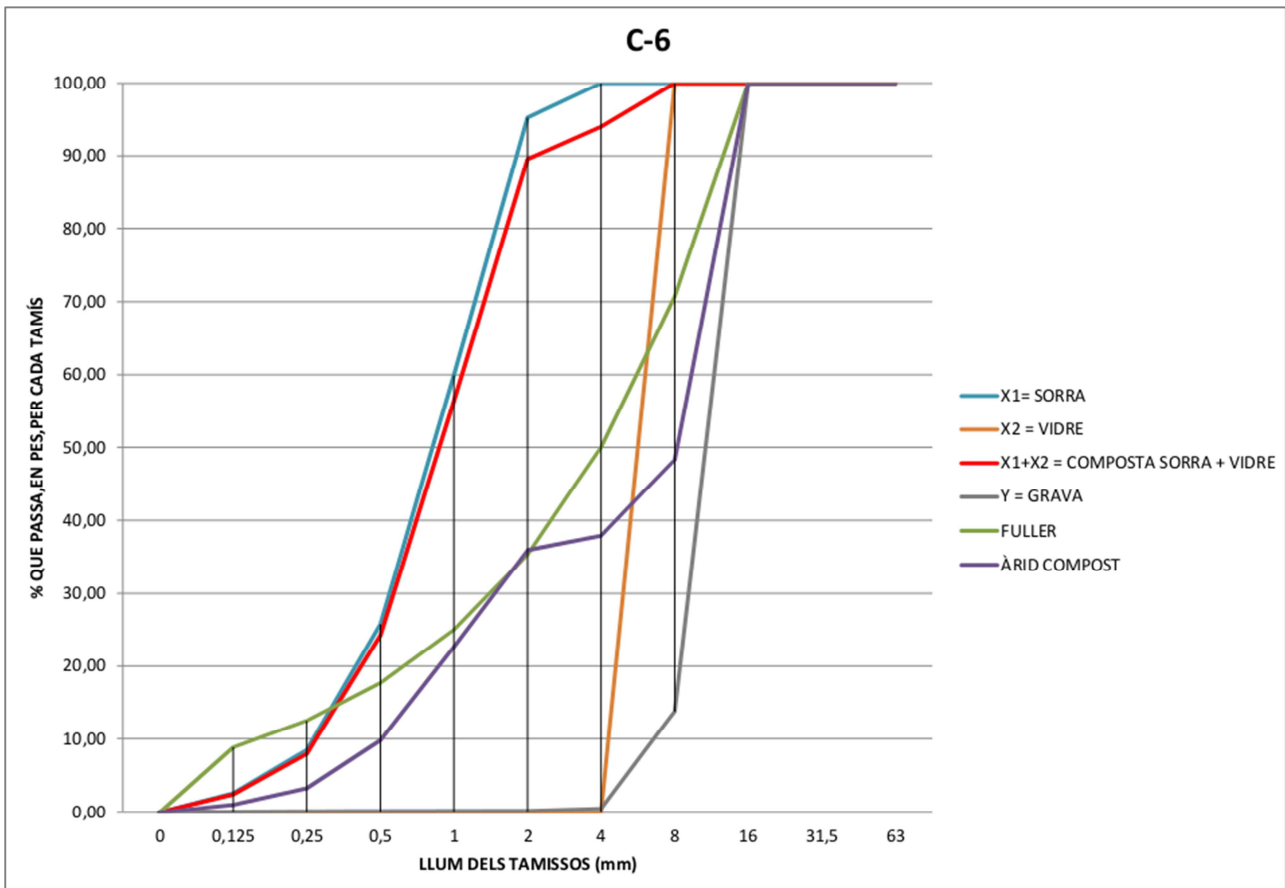






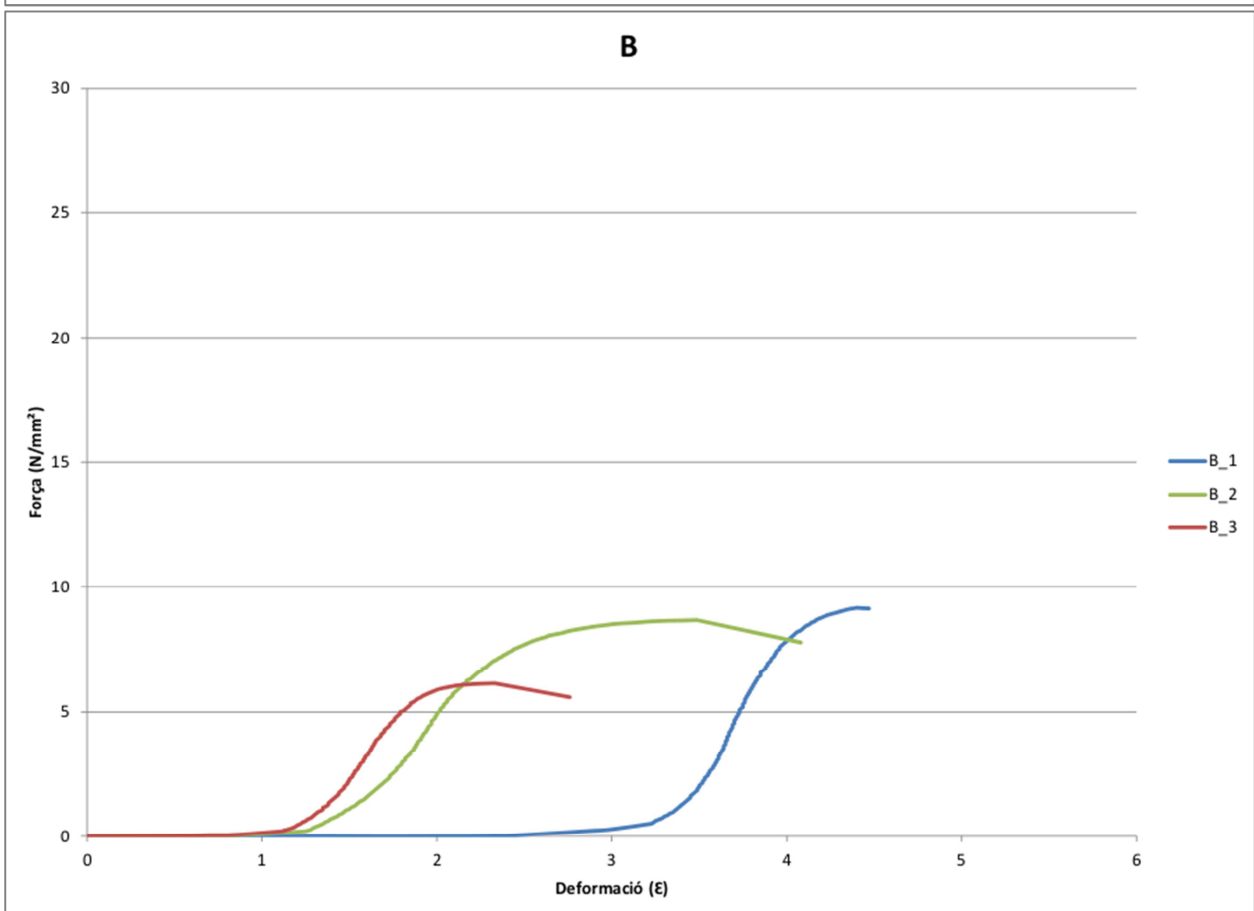
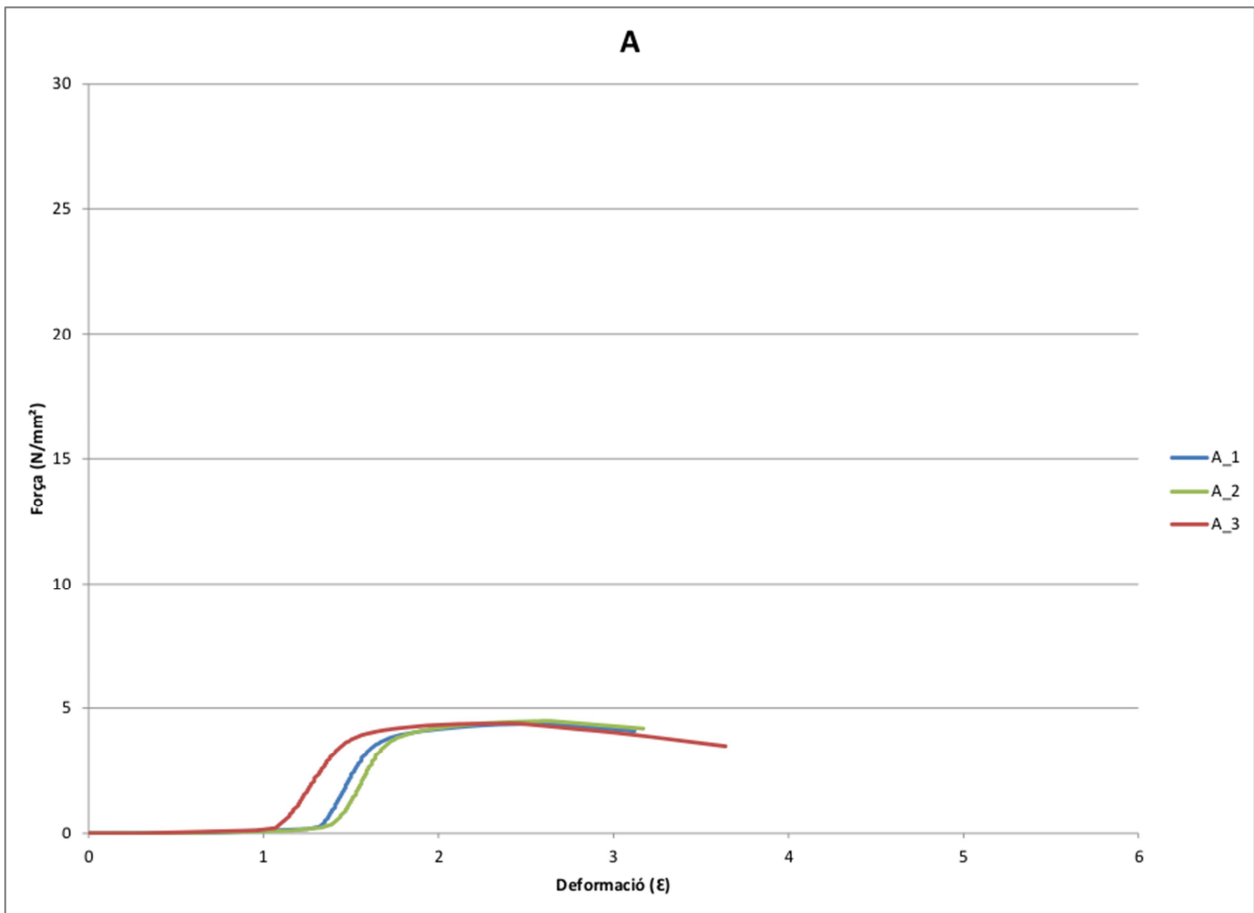
TERCERA FASE:

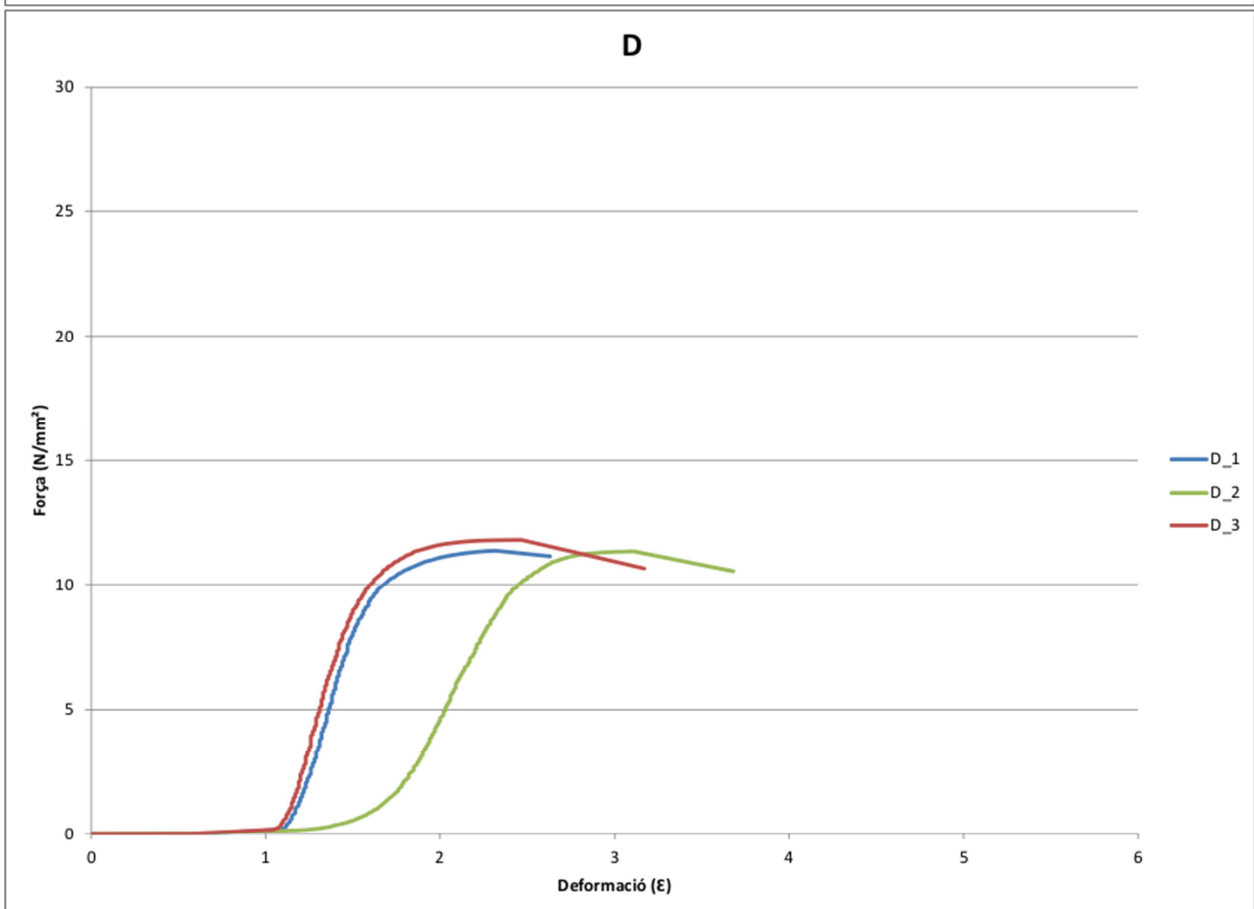
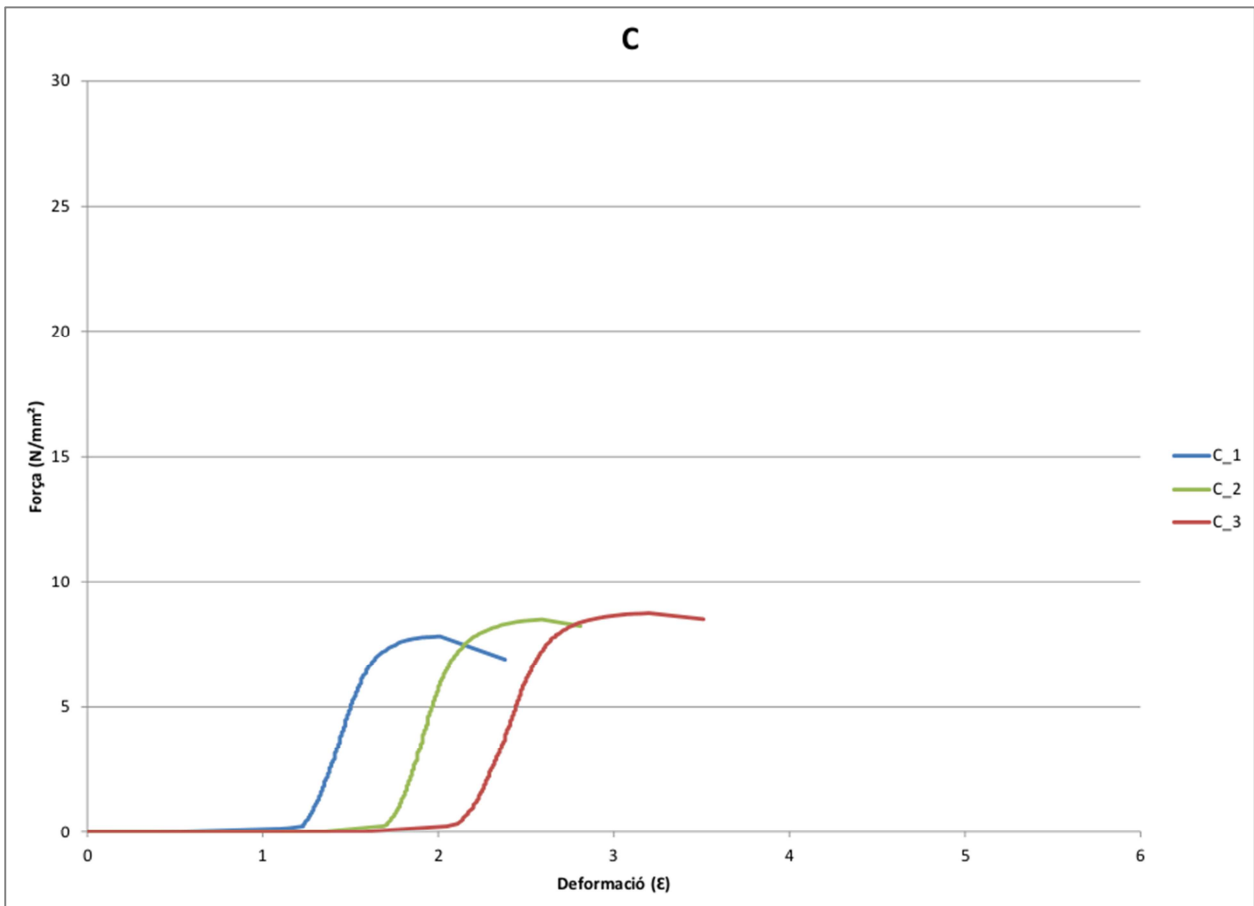


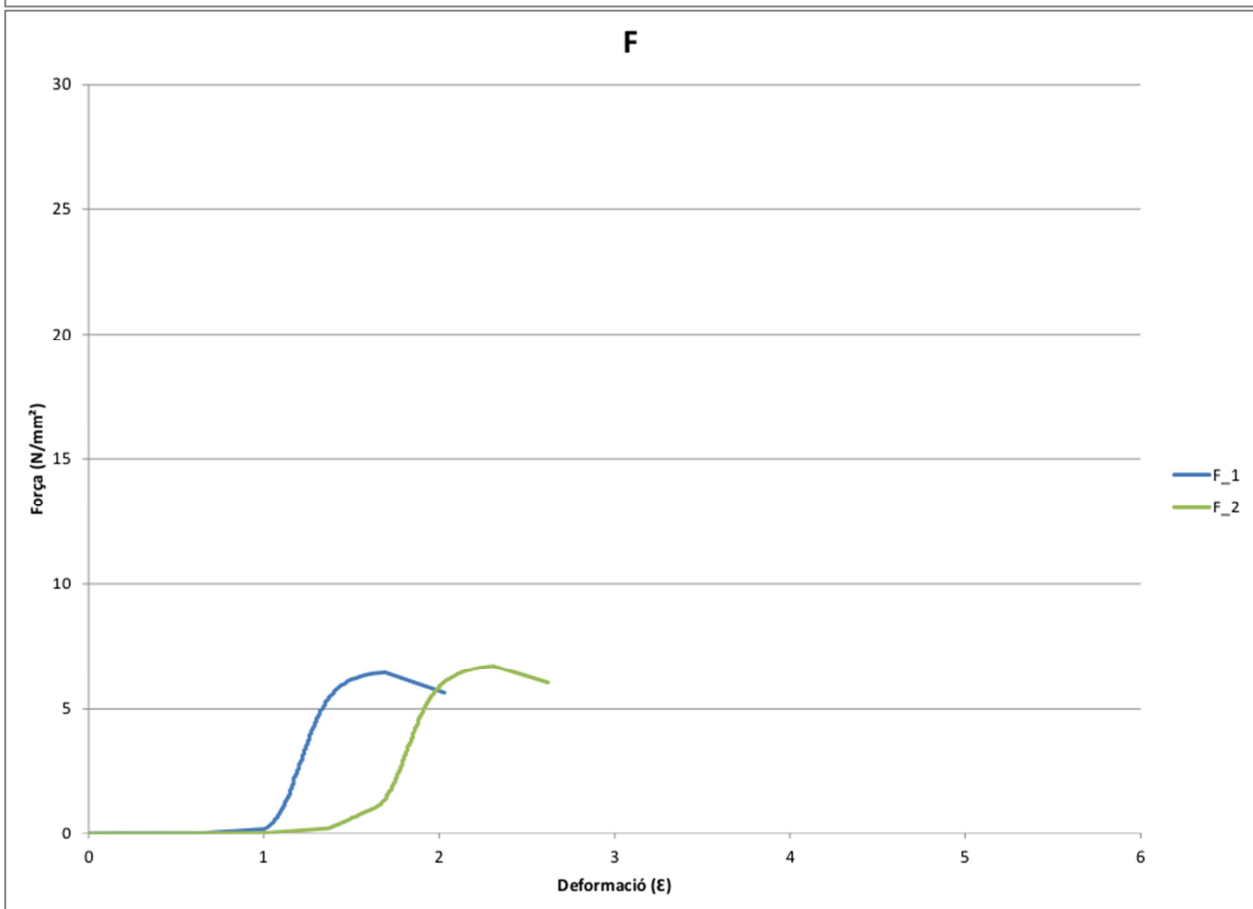
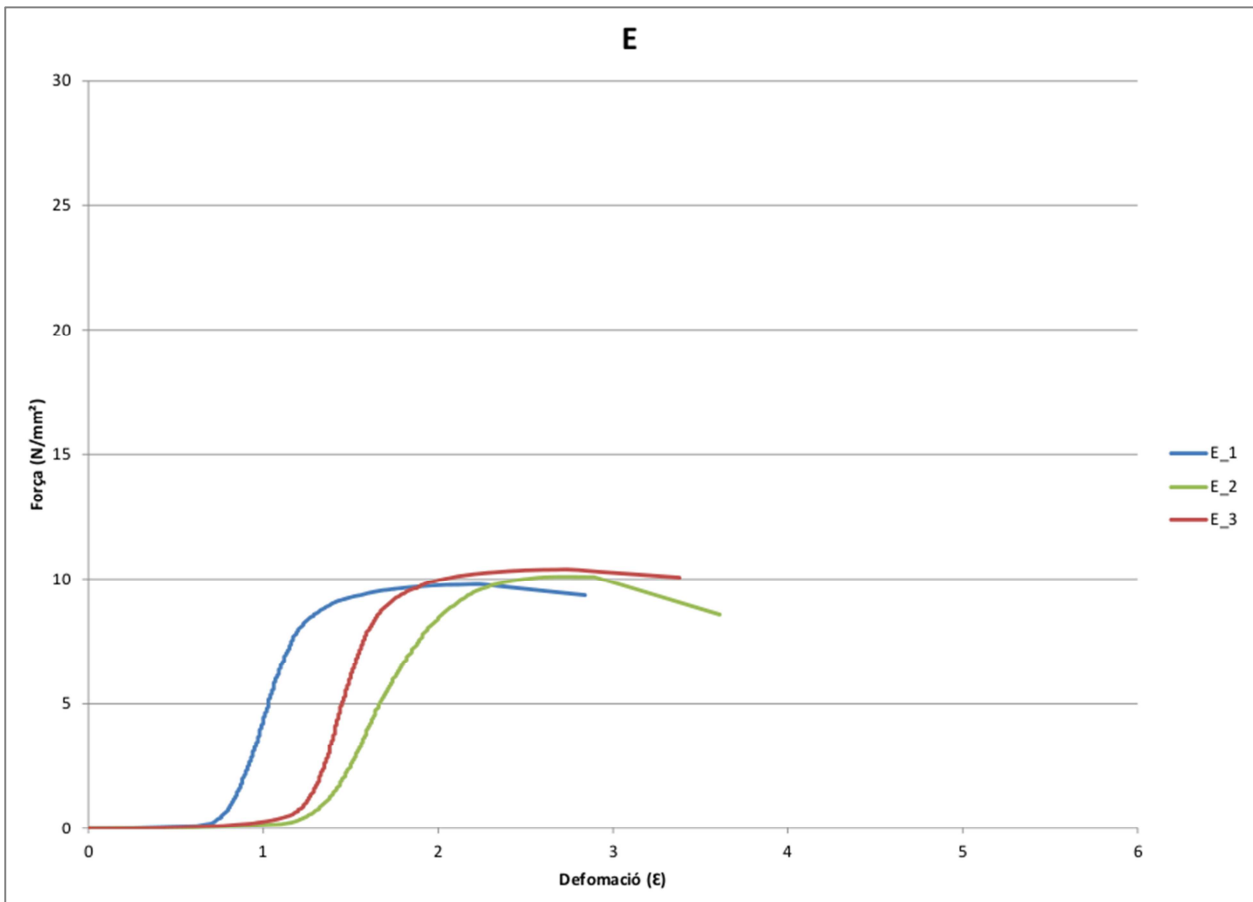


12.2. ANNEX 2: RESISTÈNCIA A COMPRESSIÓ

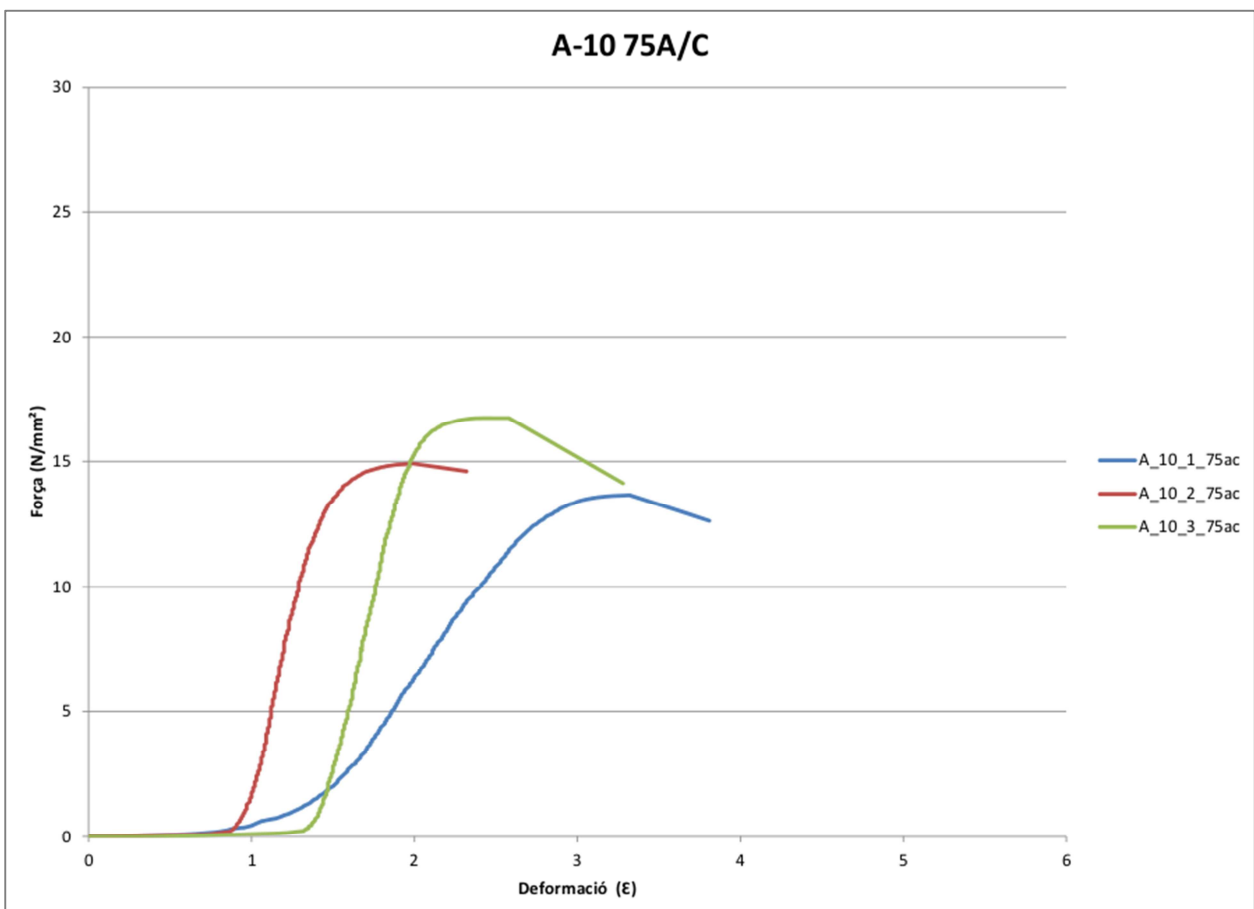
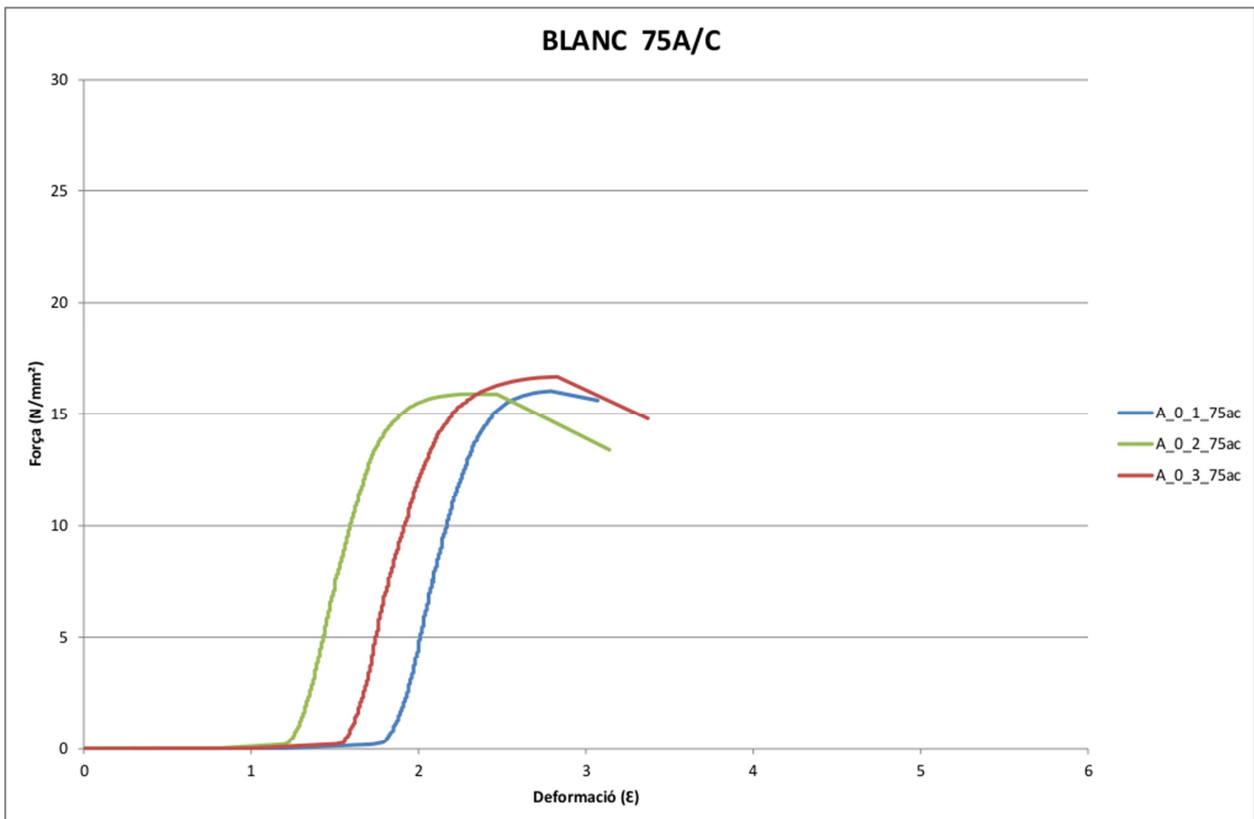
PRIMERA FASE:

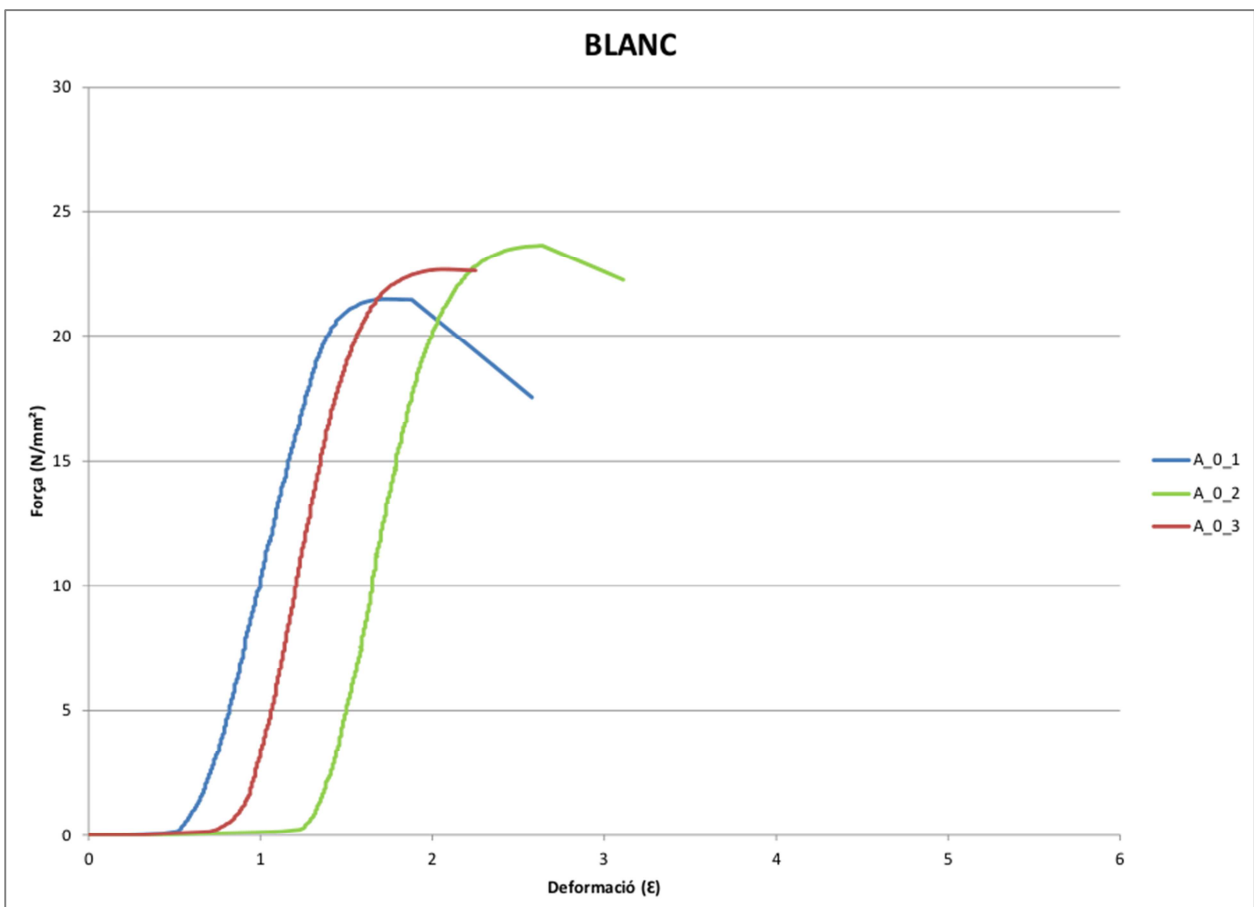
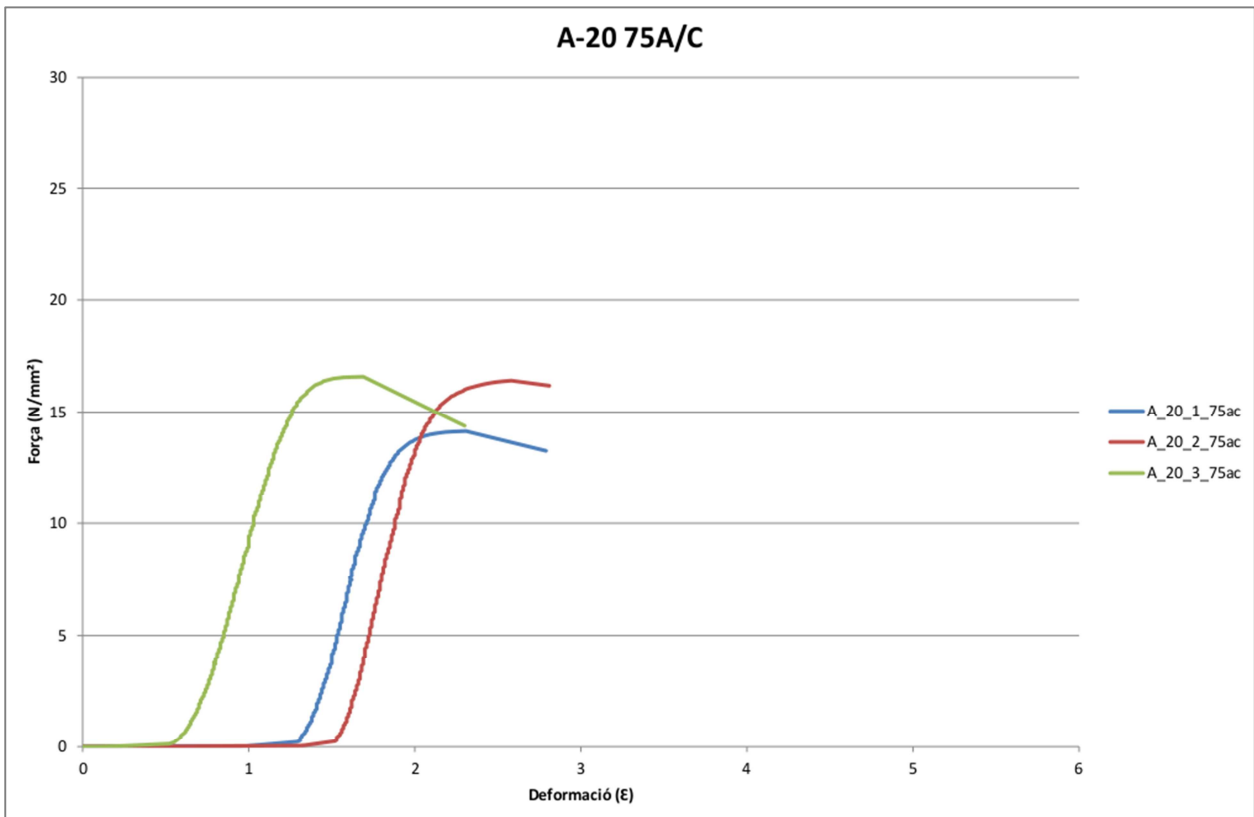


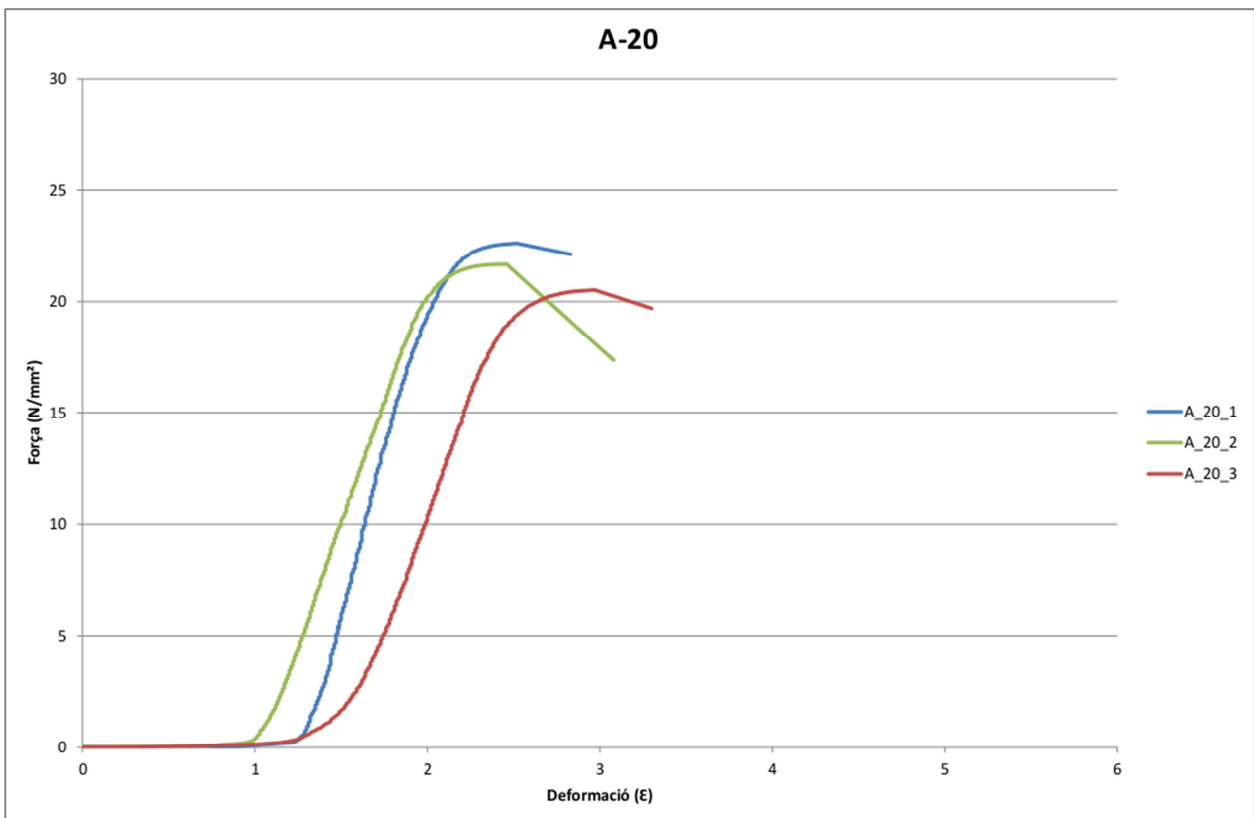
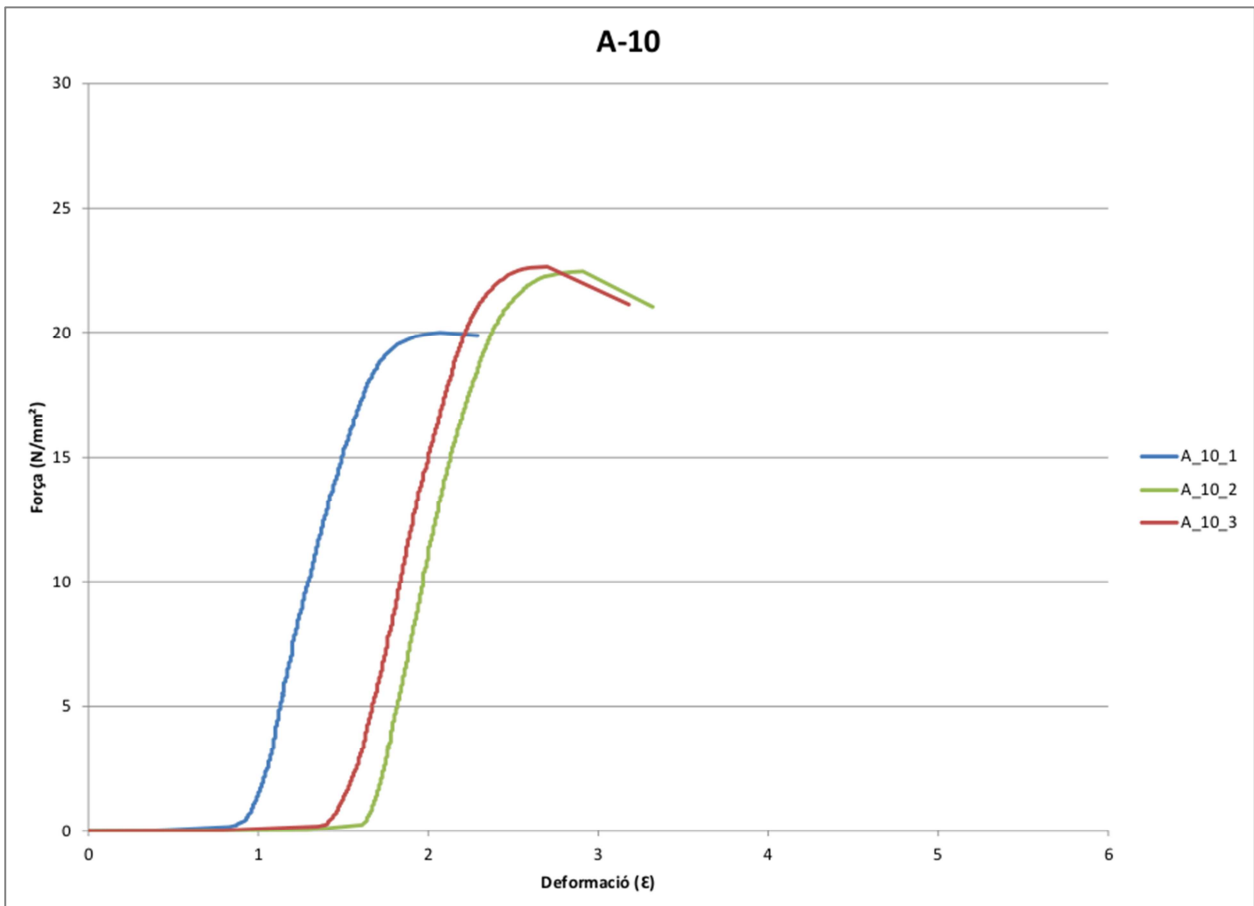


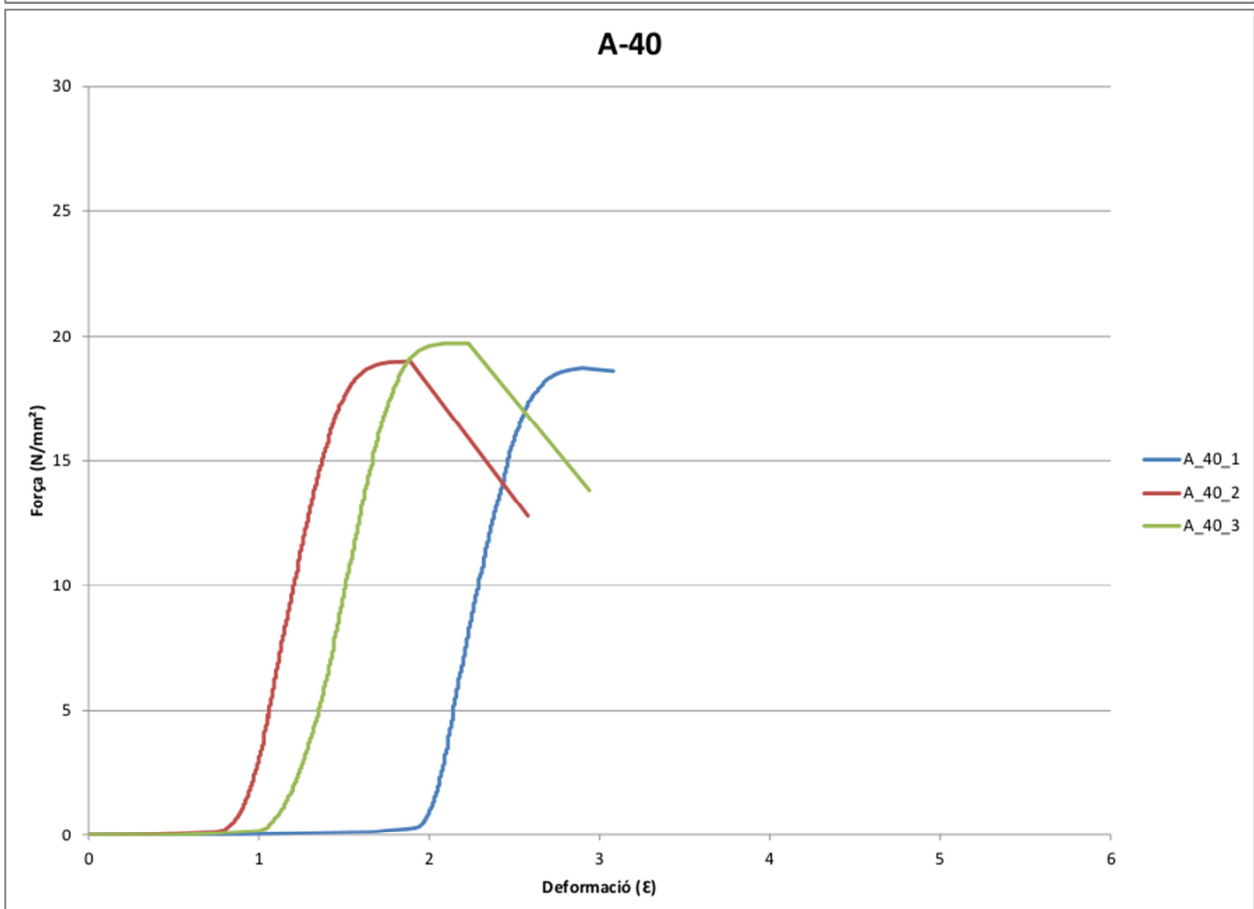
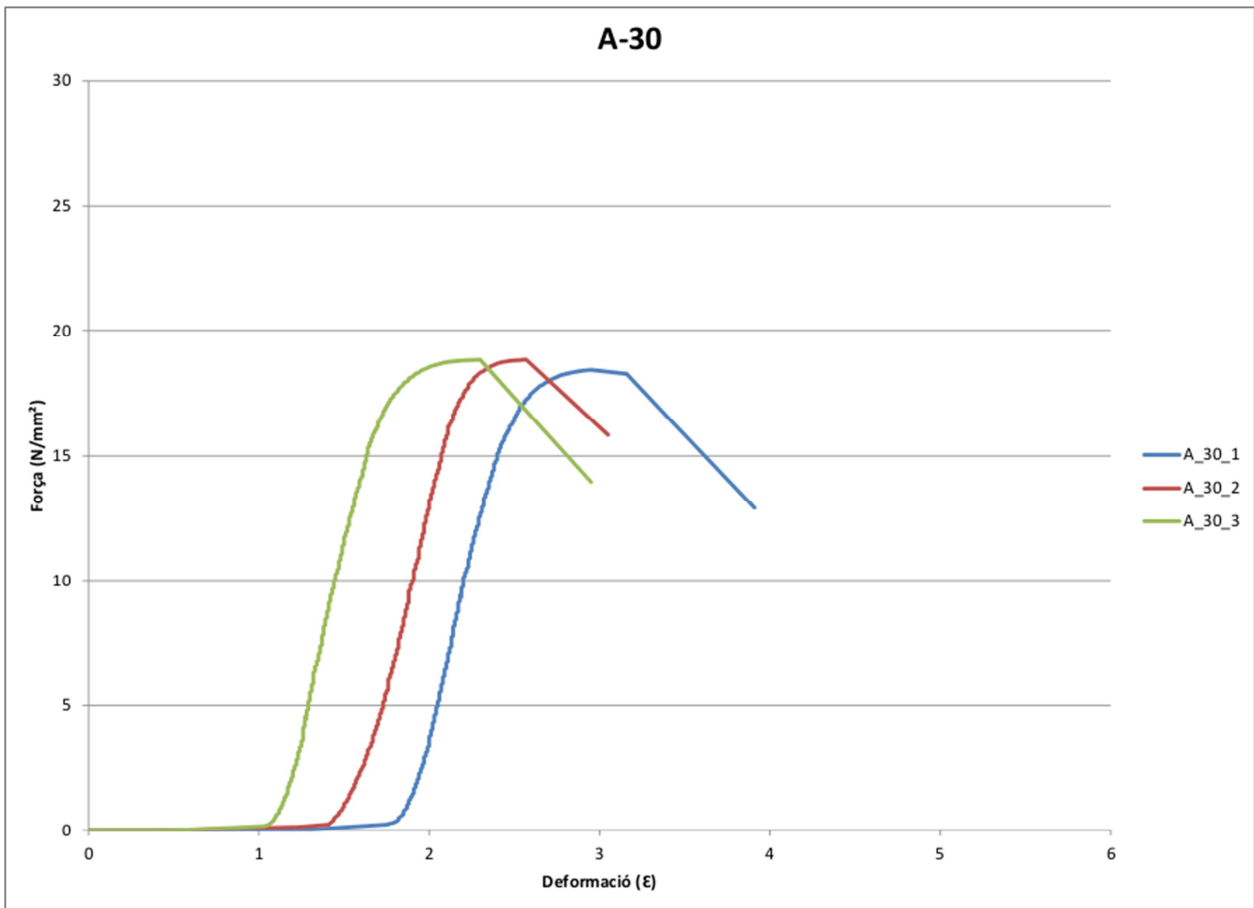


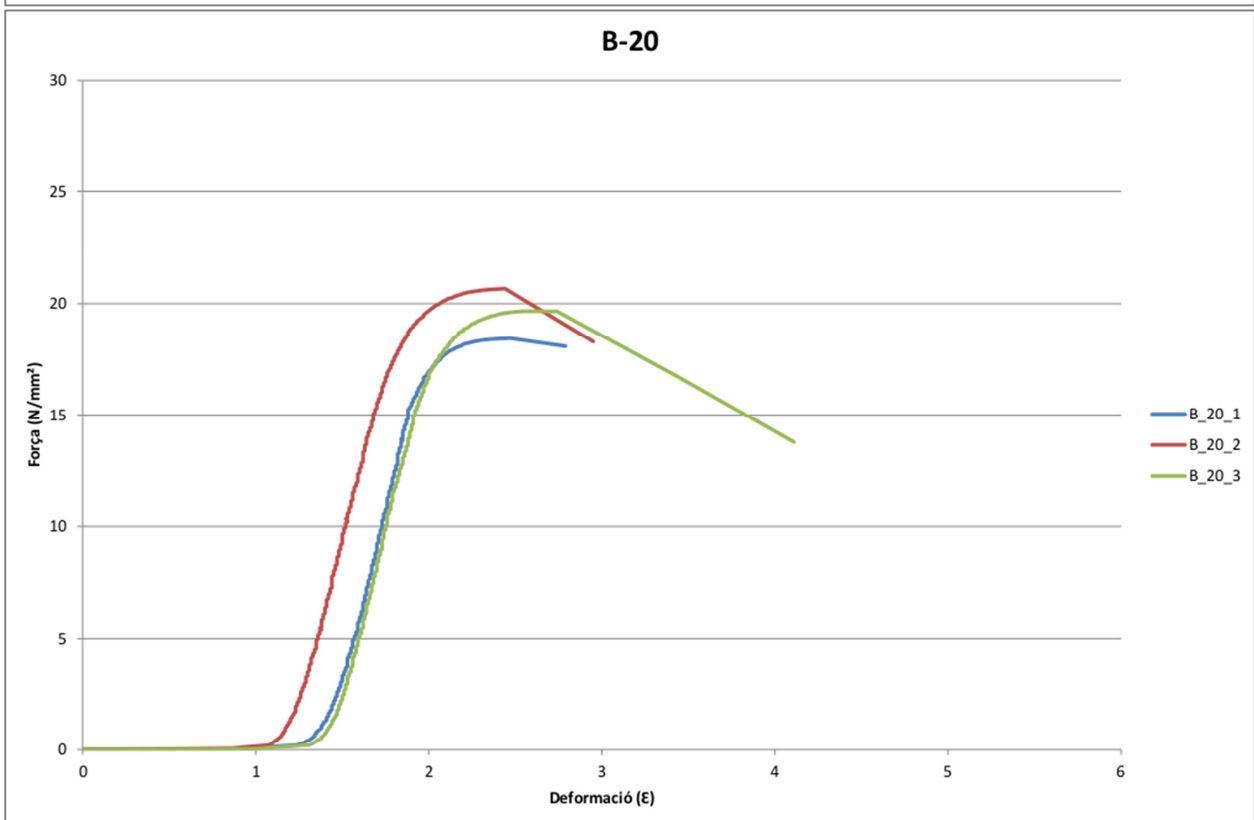
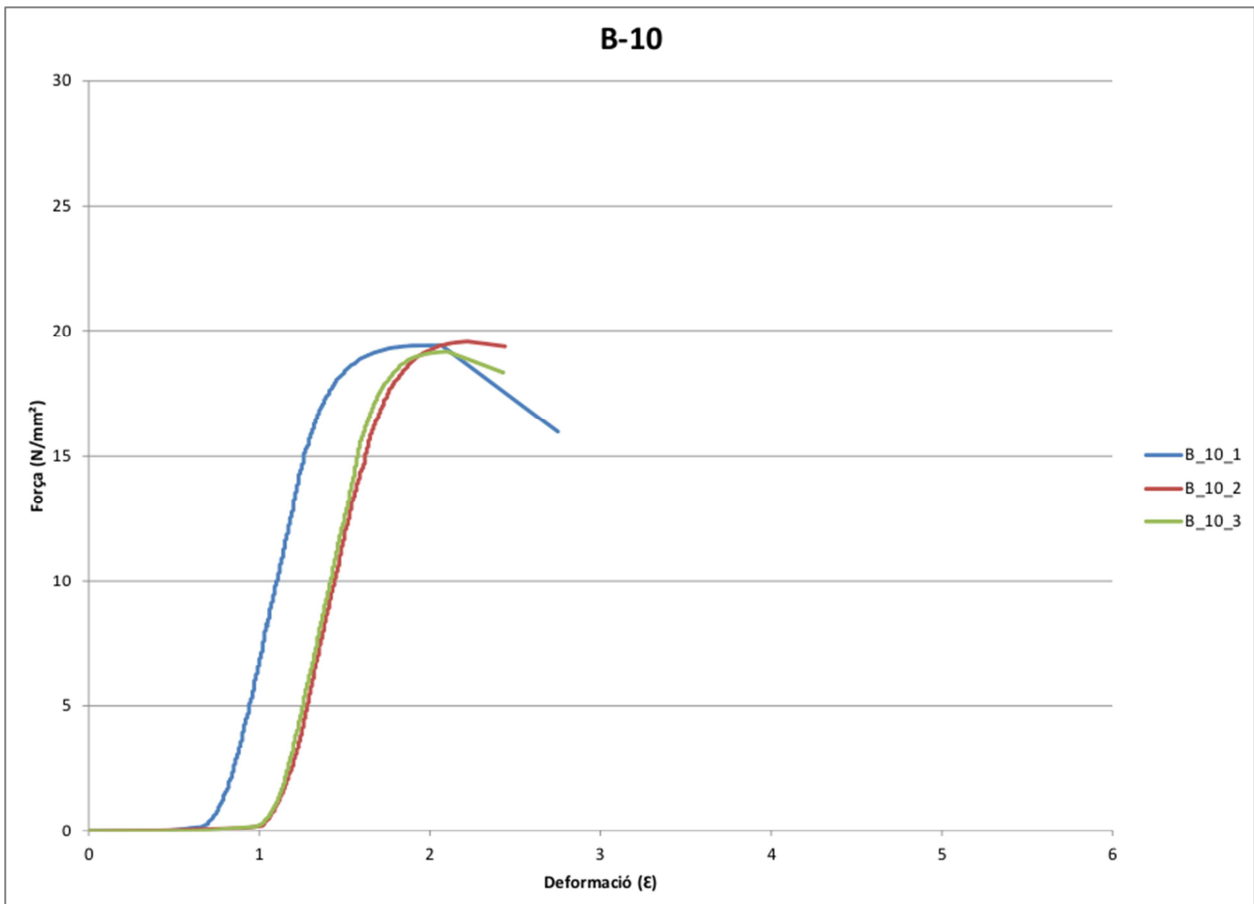
SEGONA FASE:

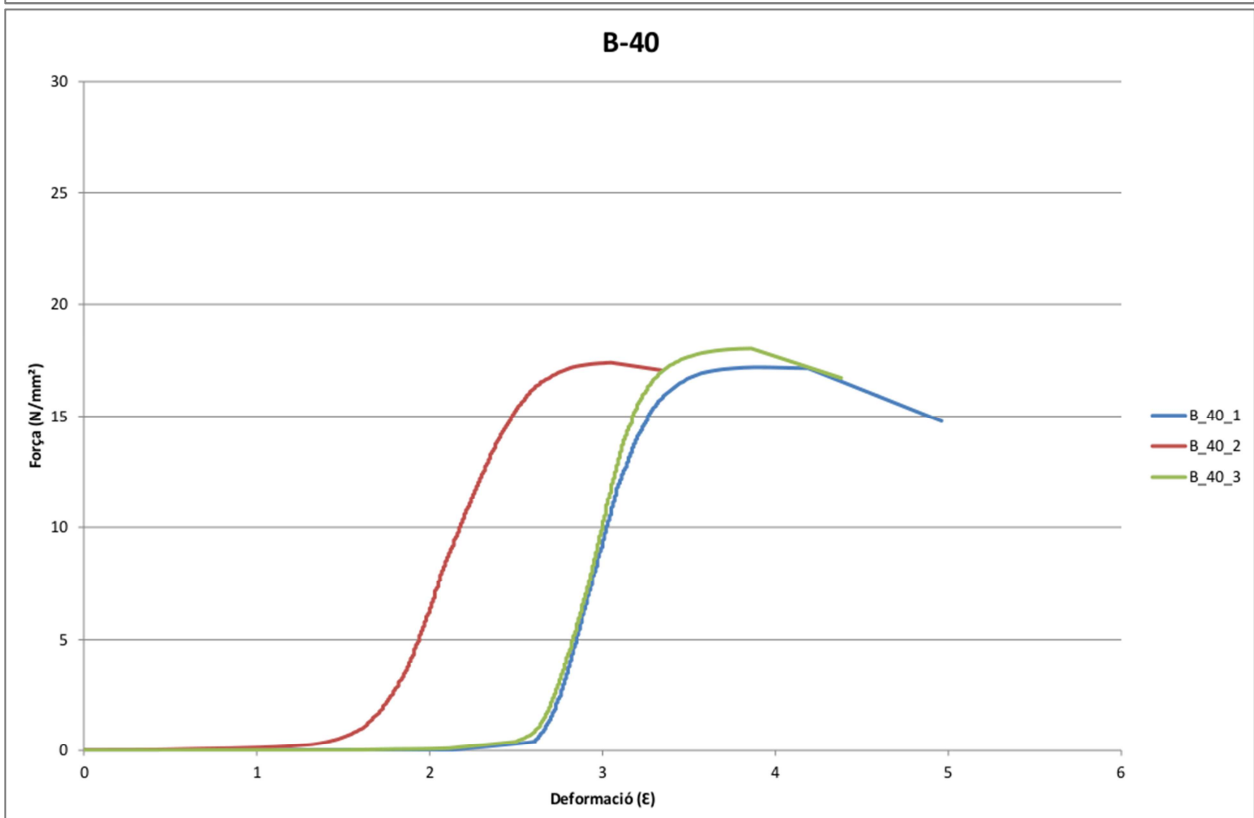
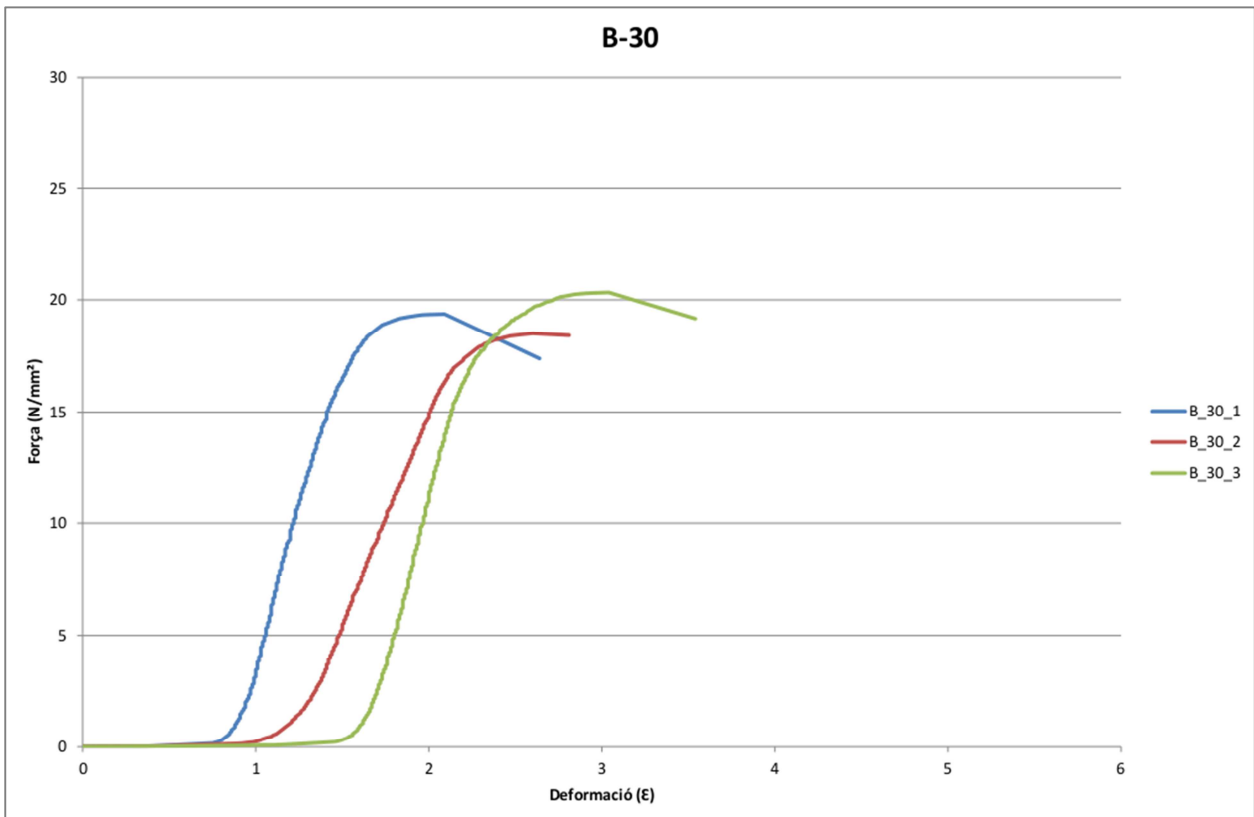


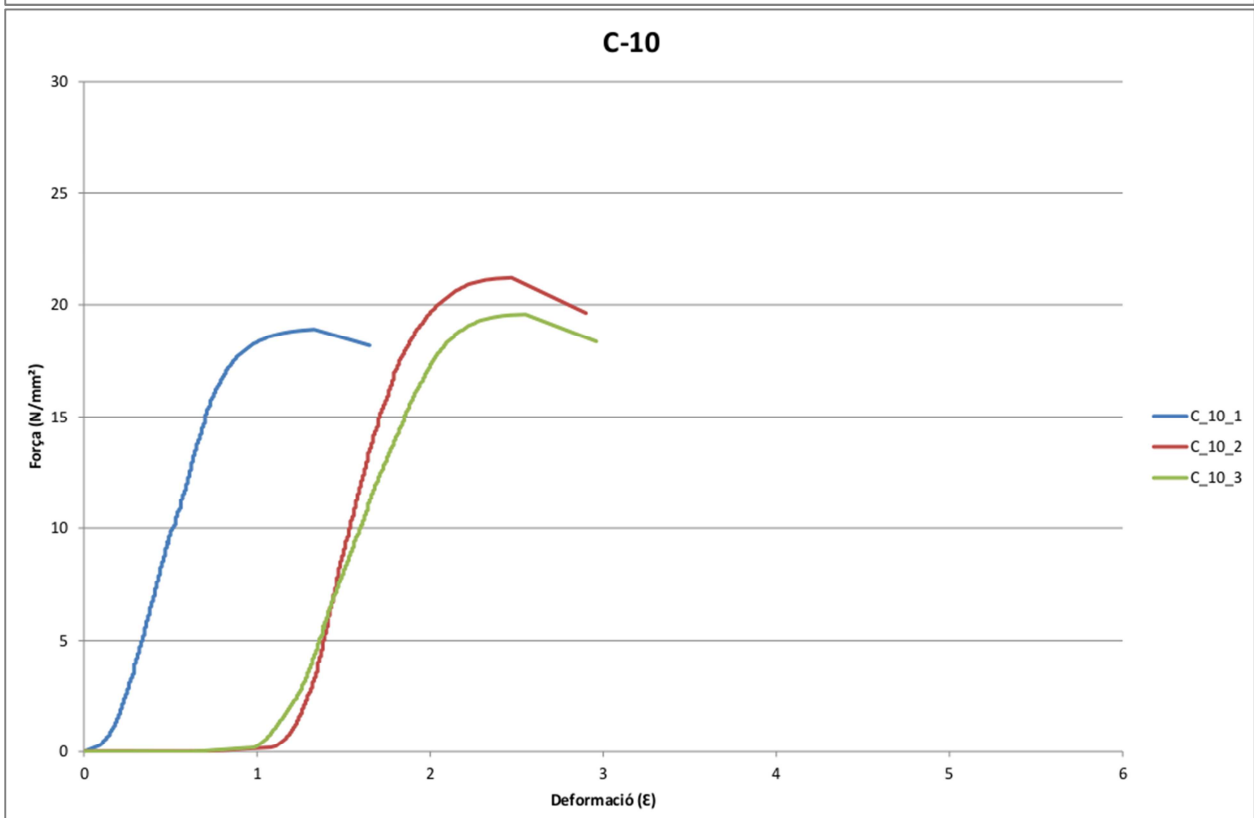
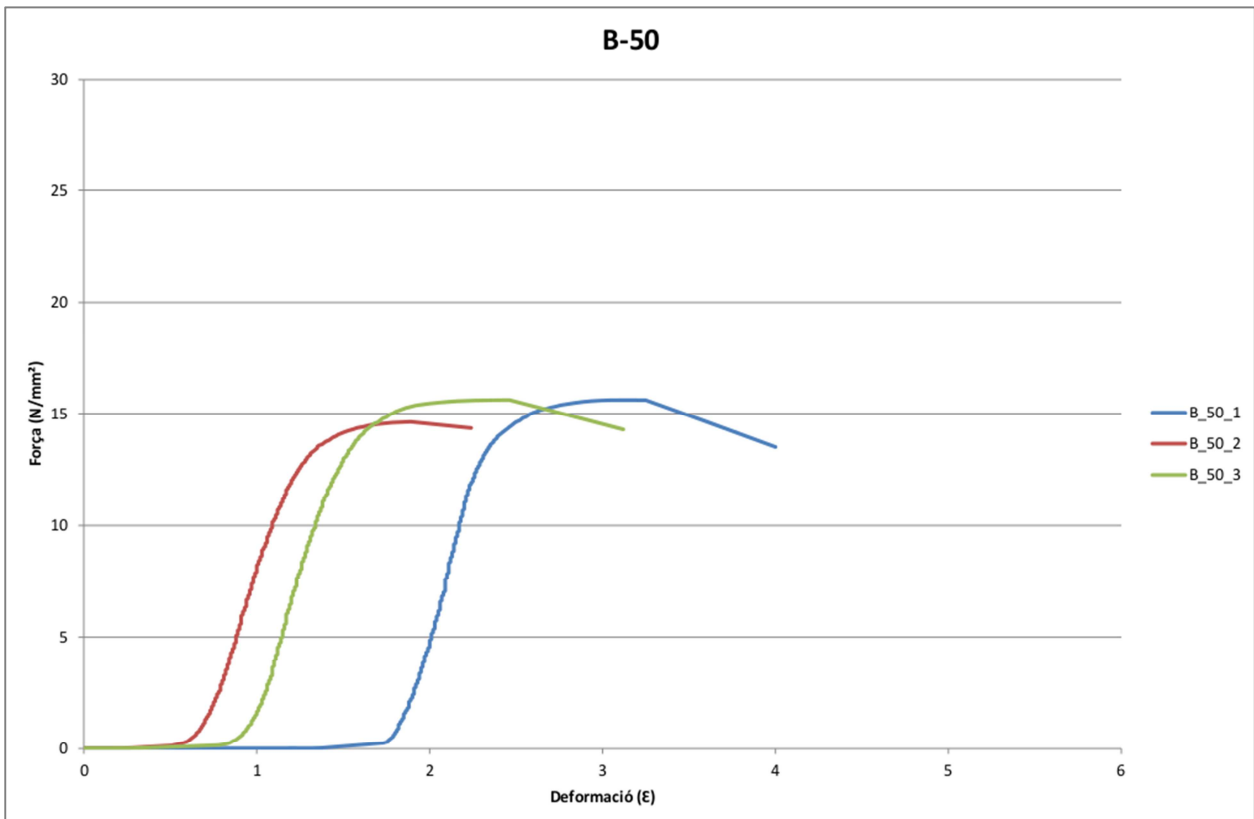


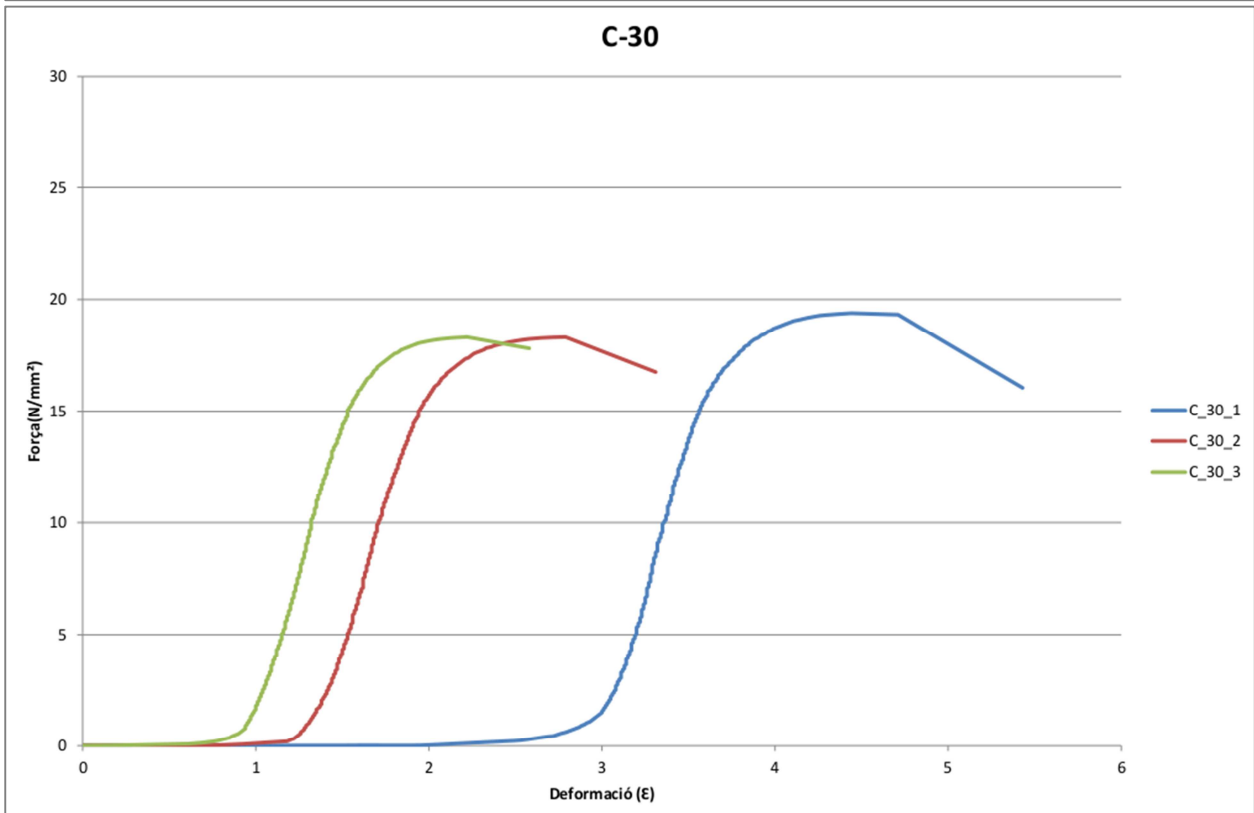
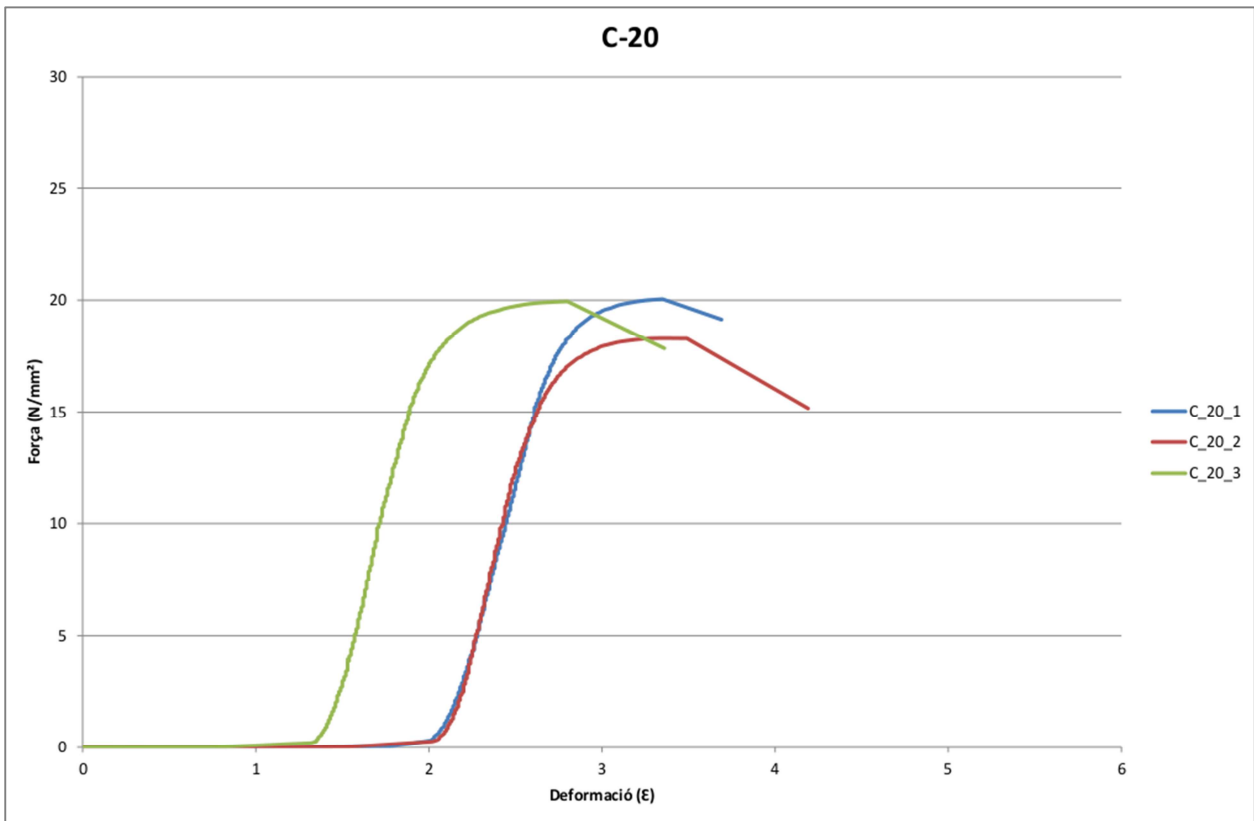


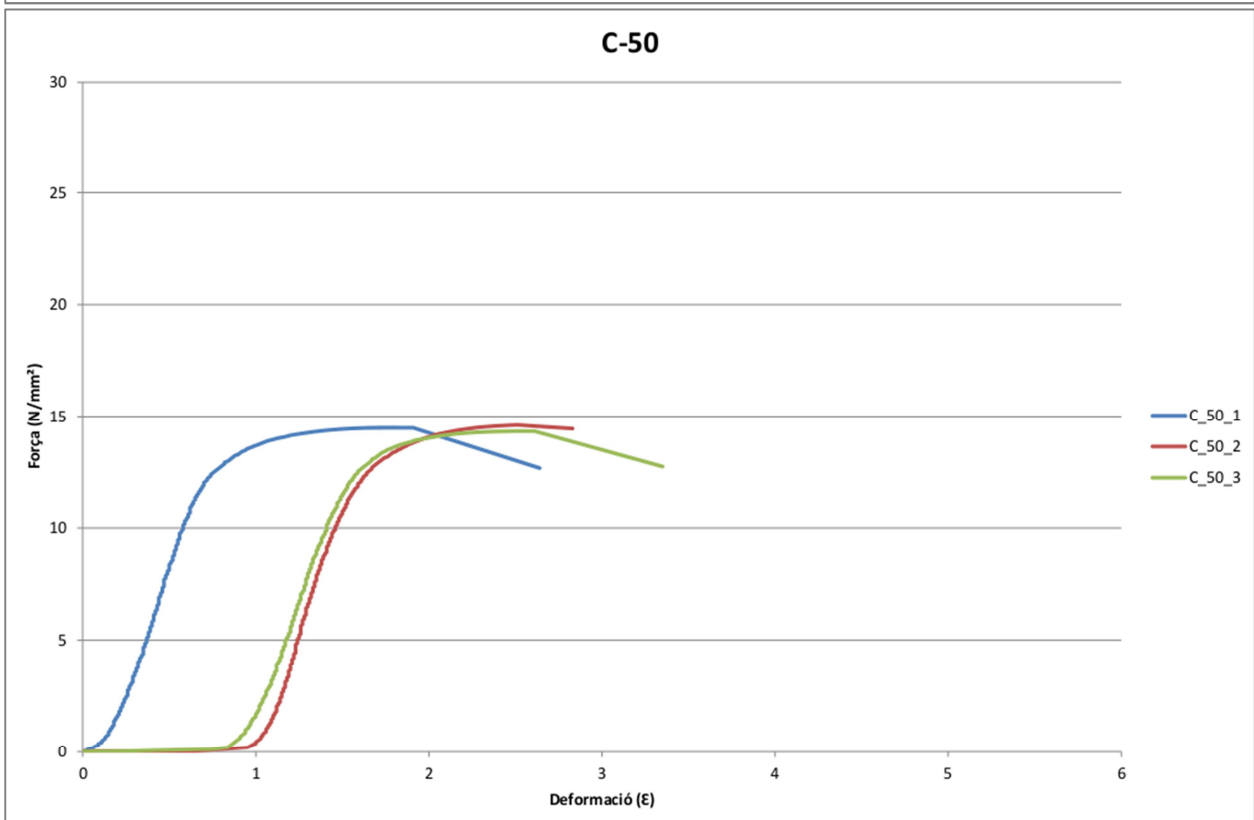
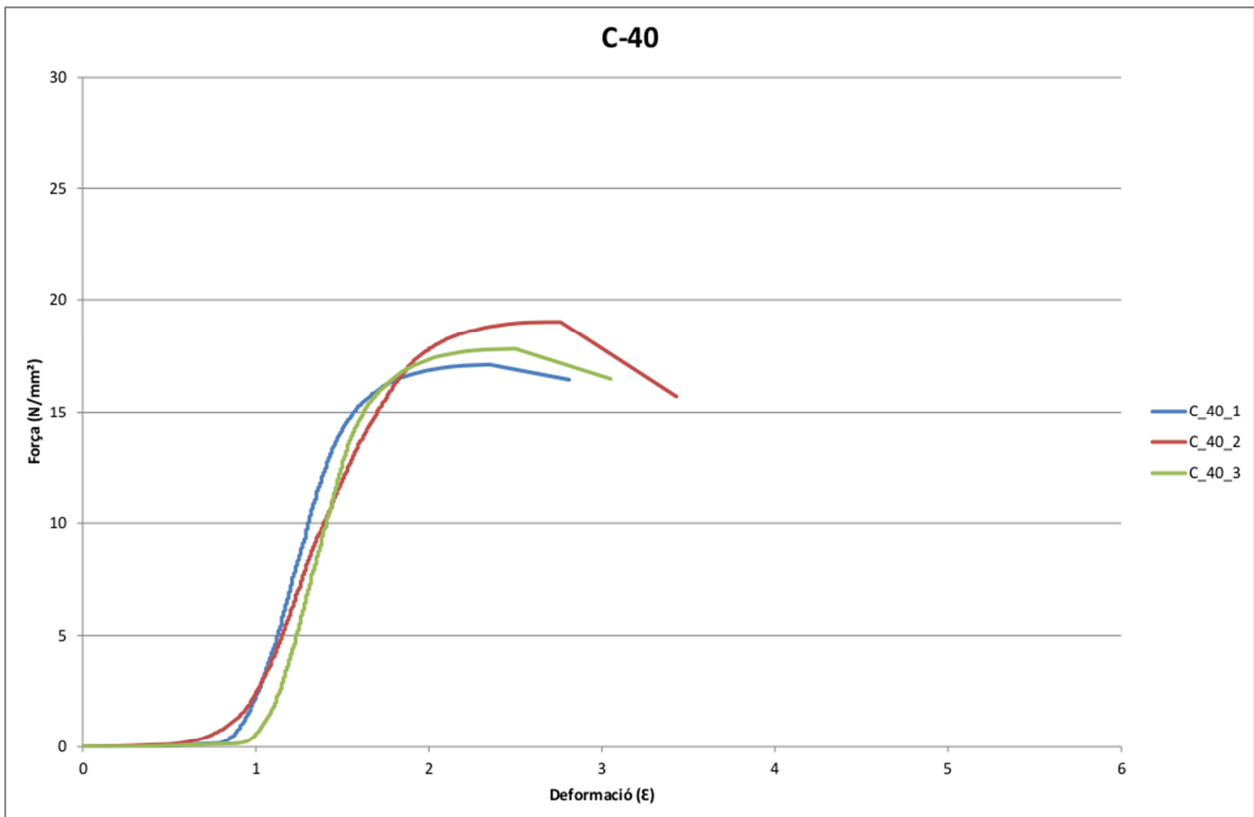




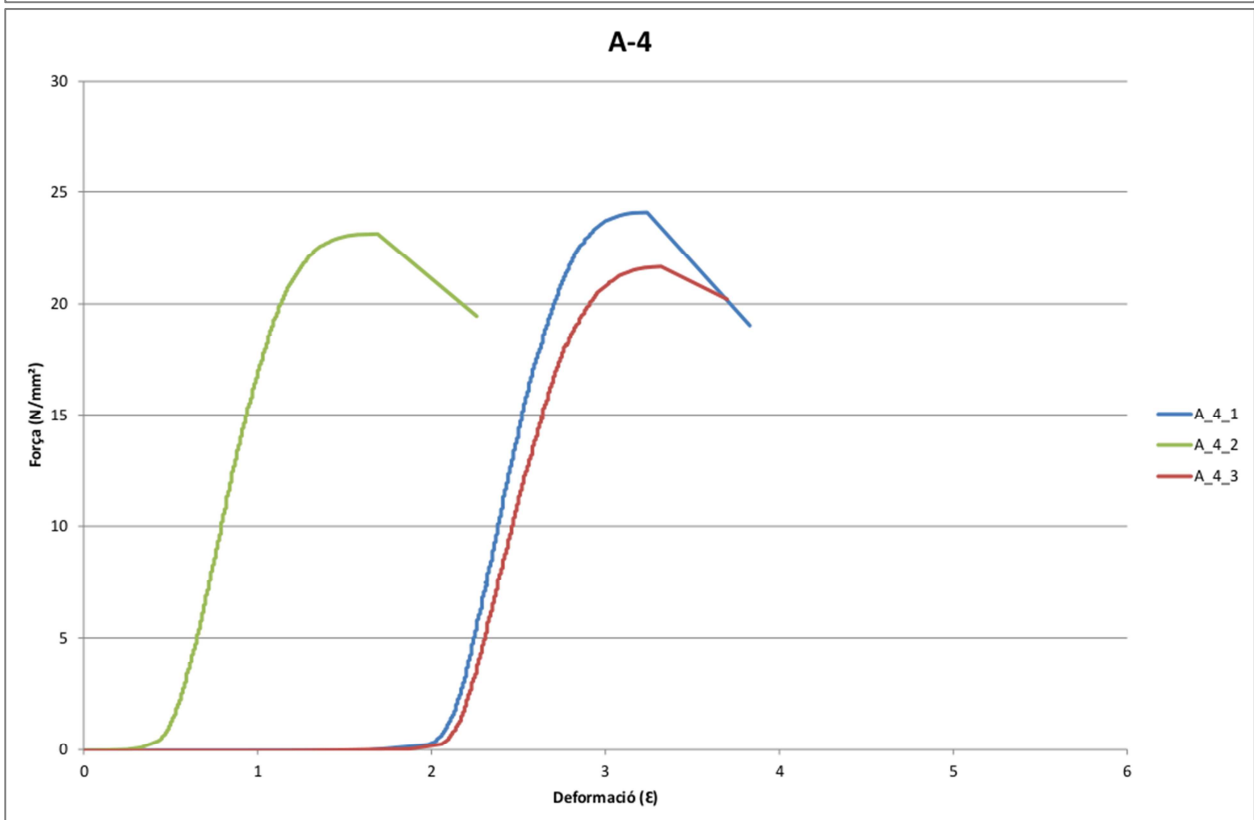
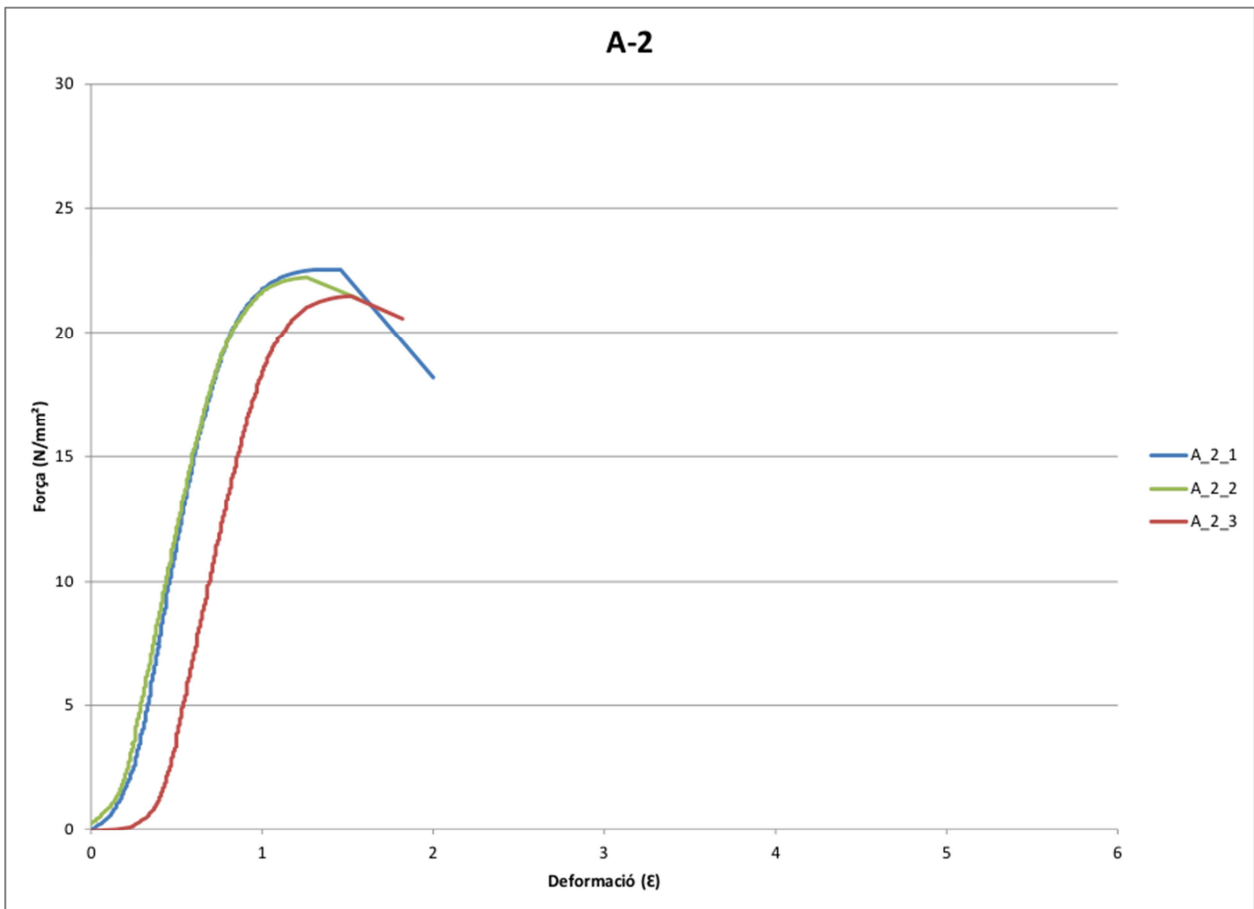


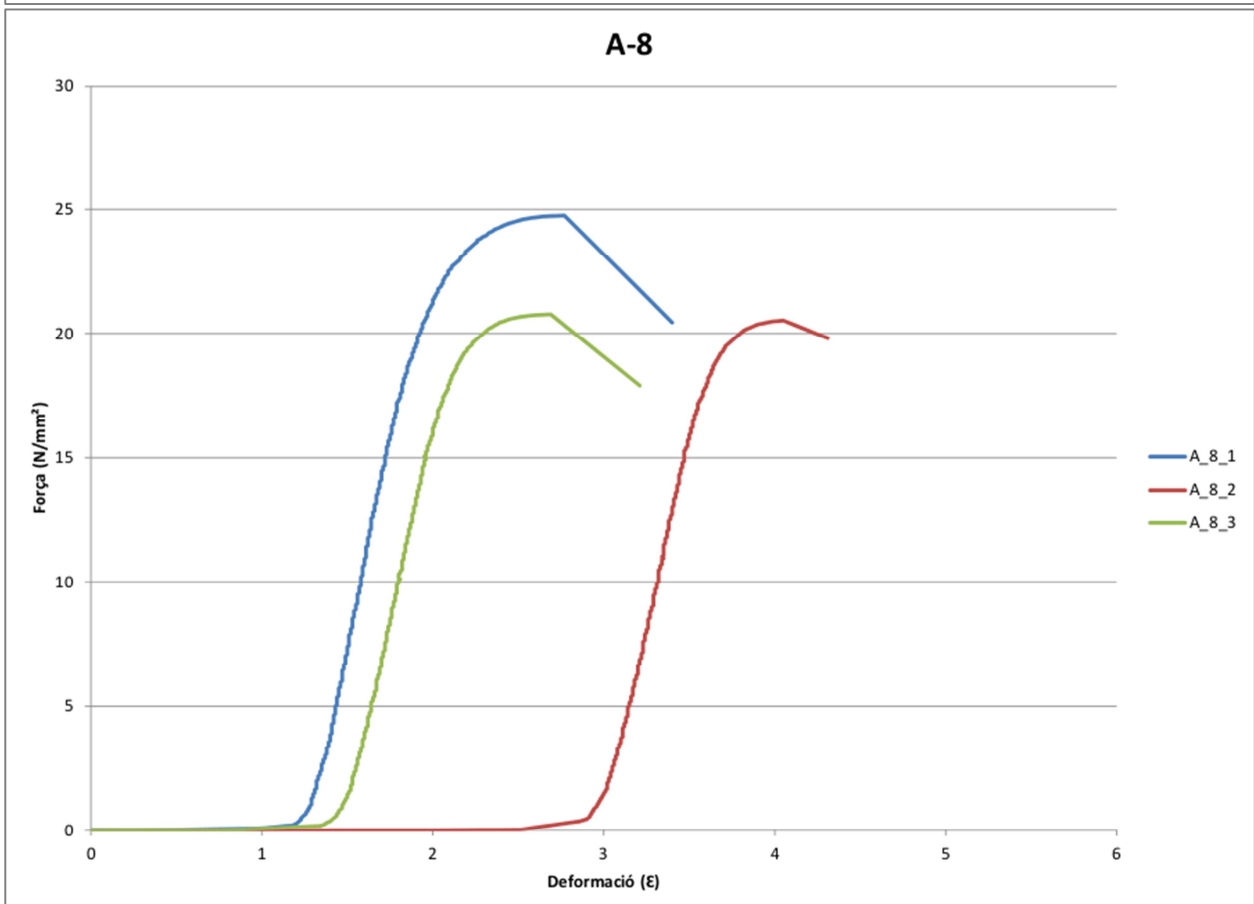
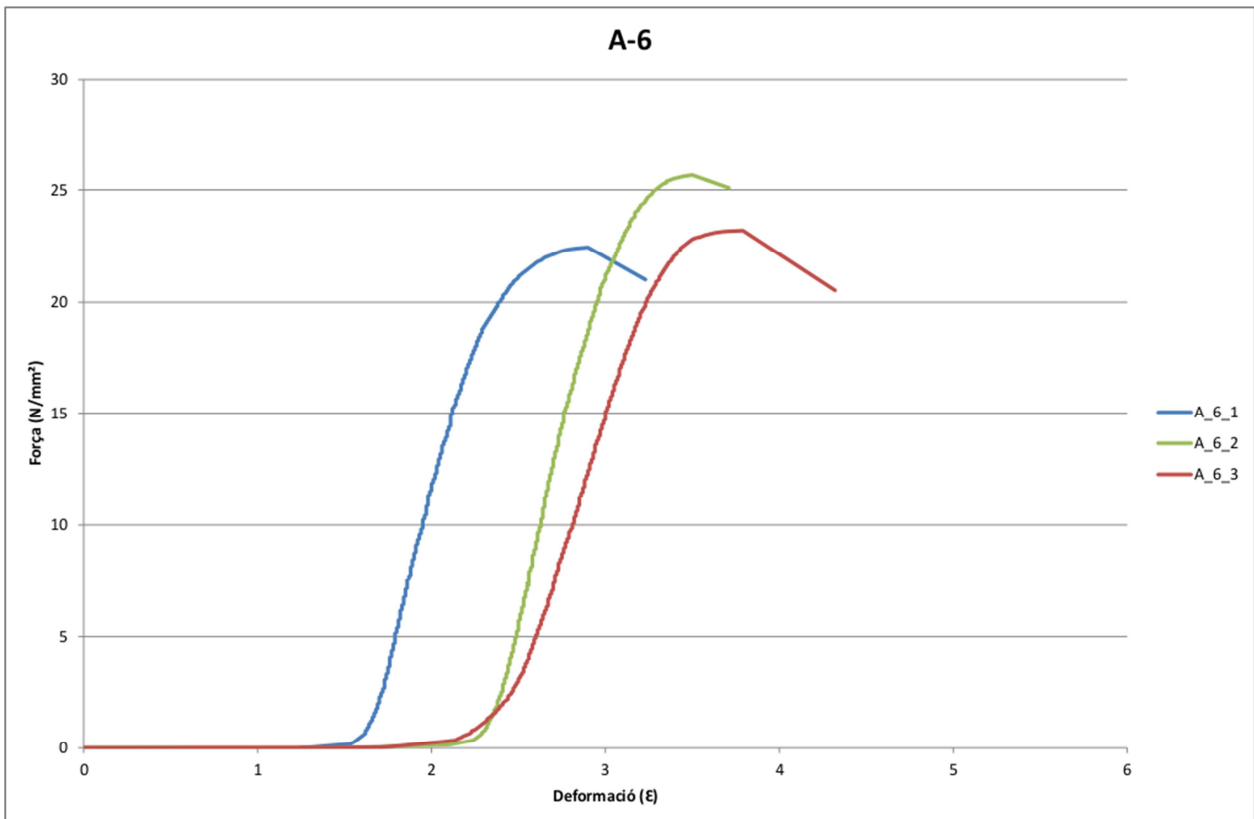




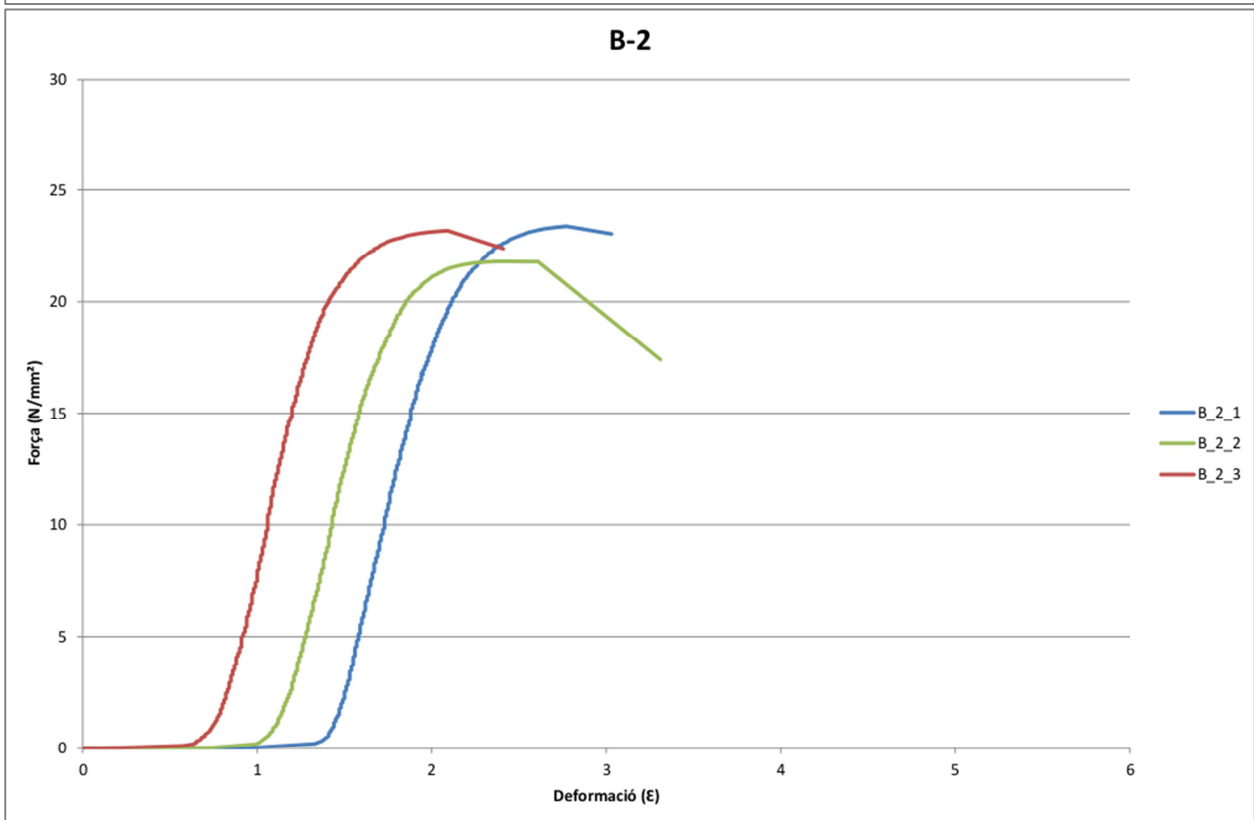
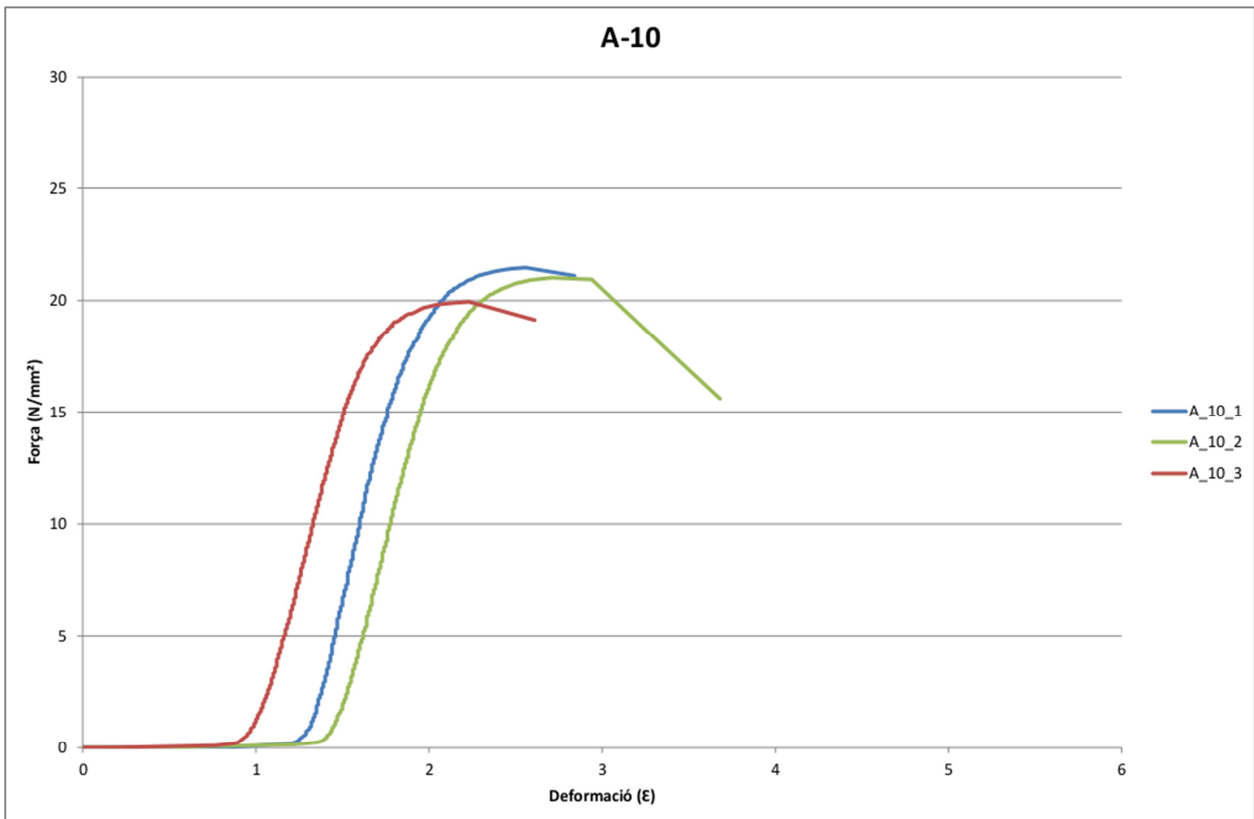


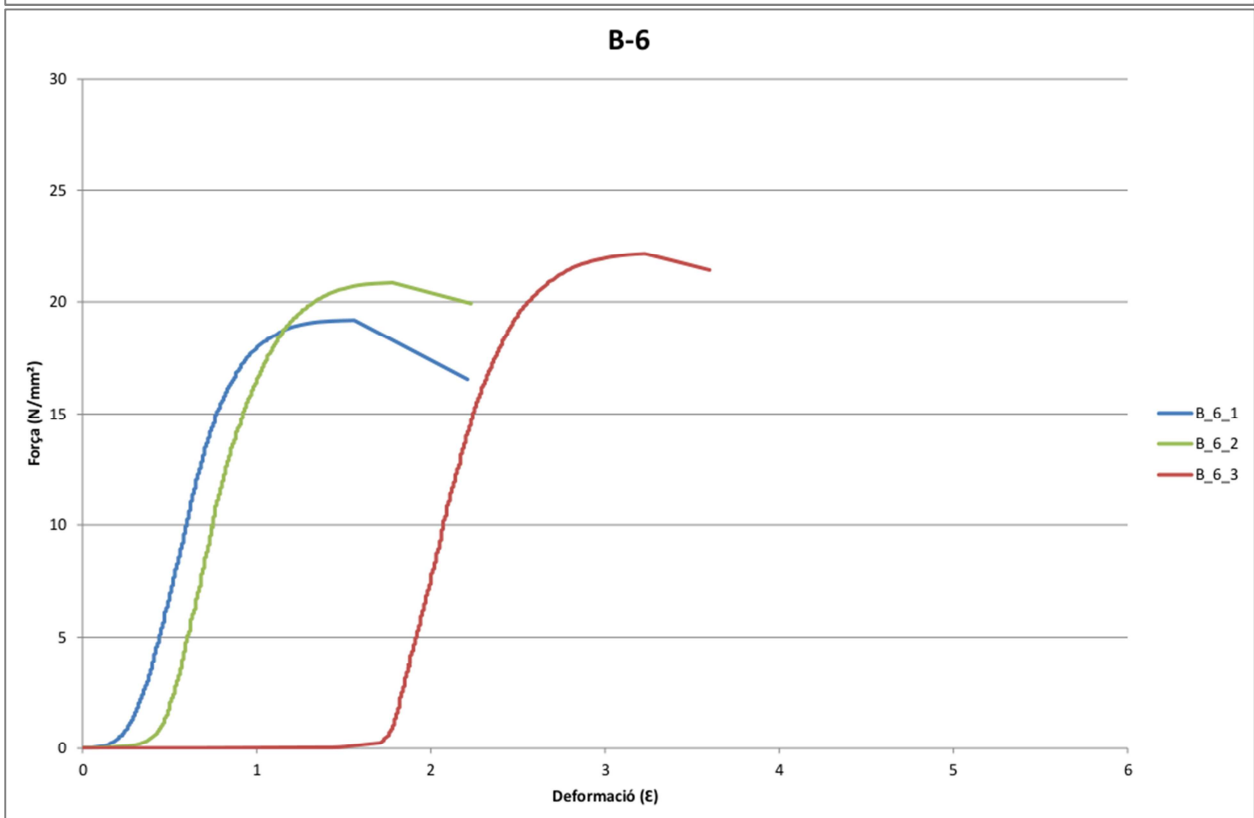
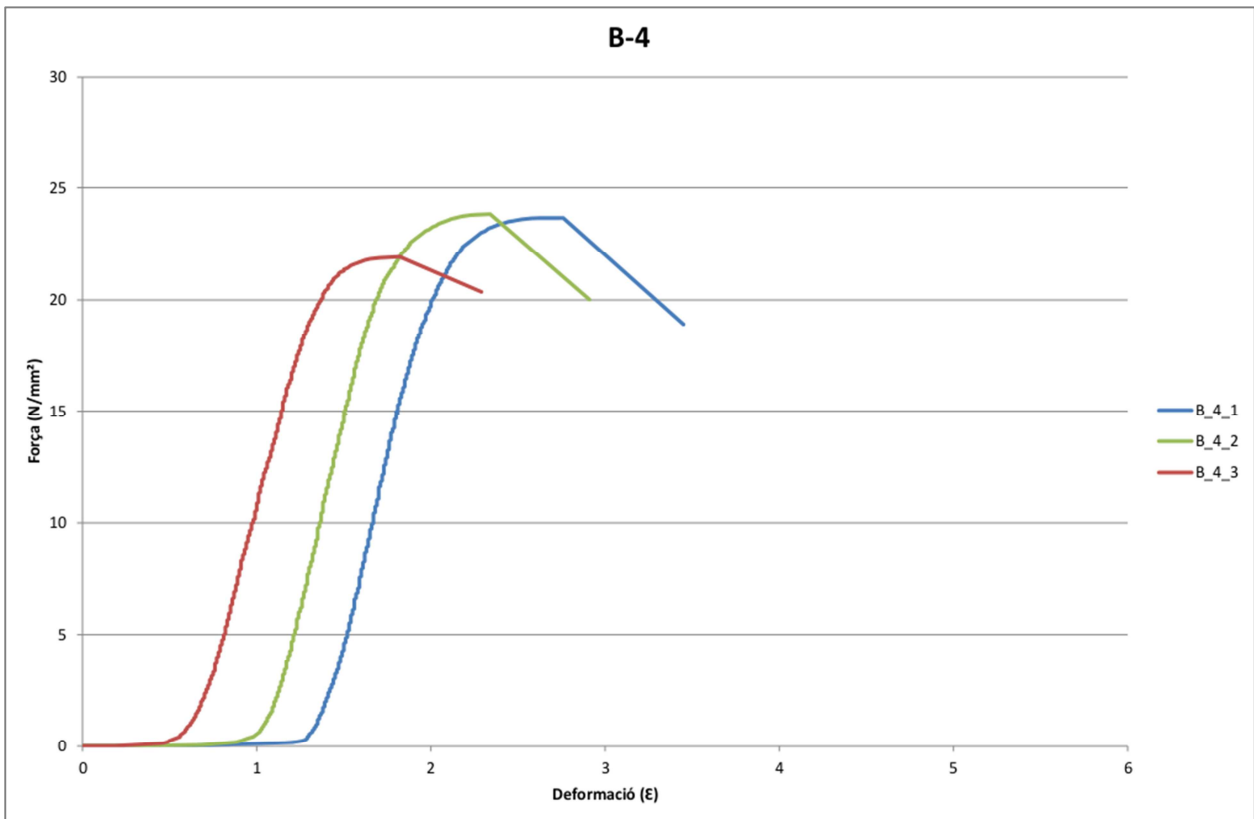
TERCERA FASE:

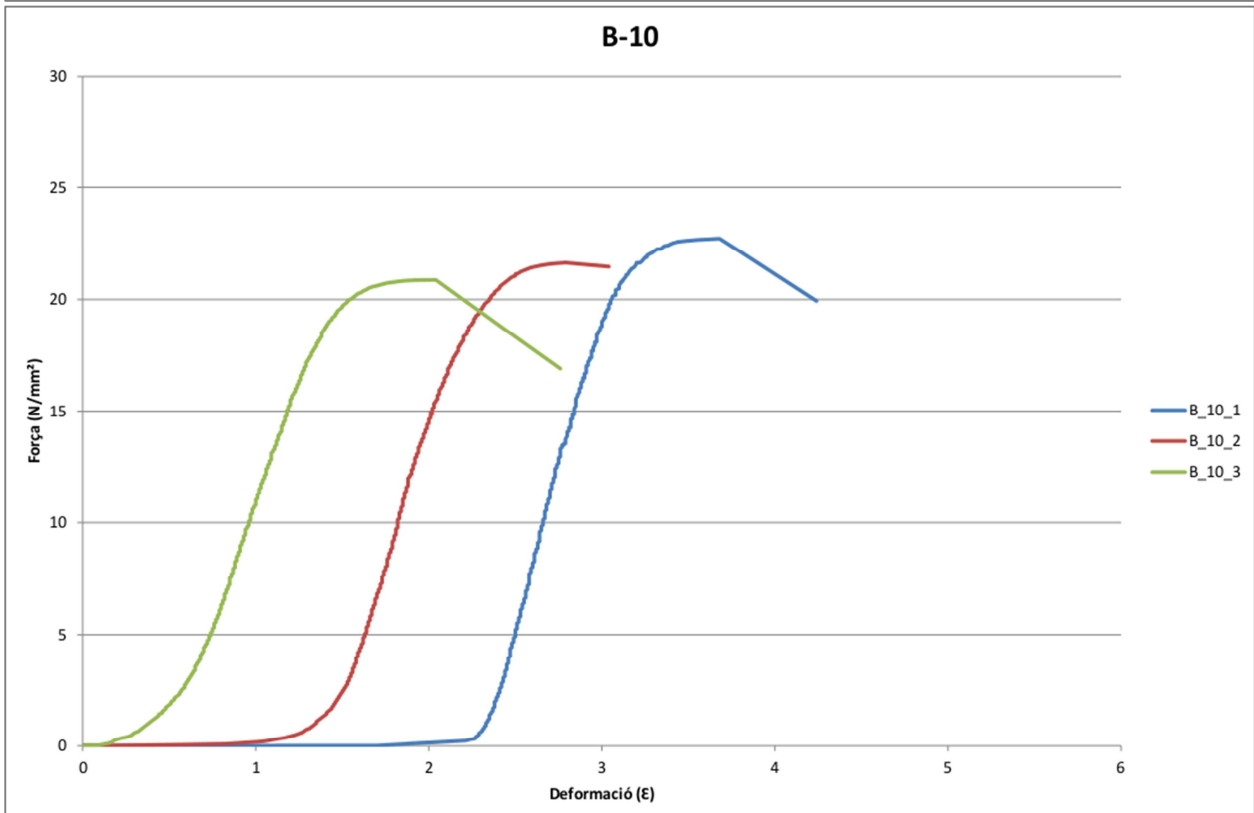
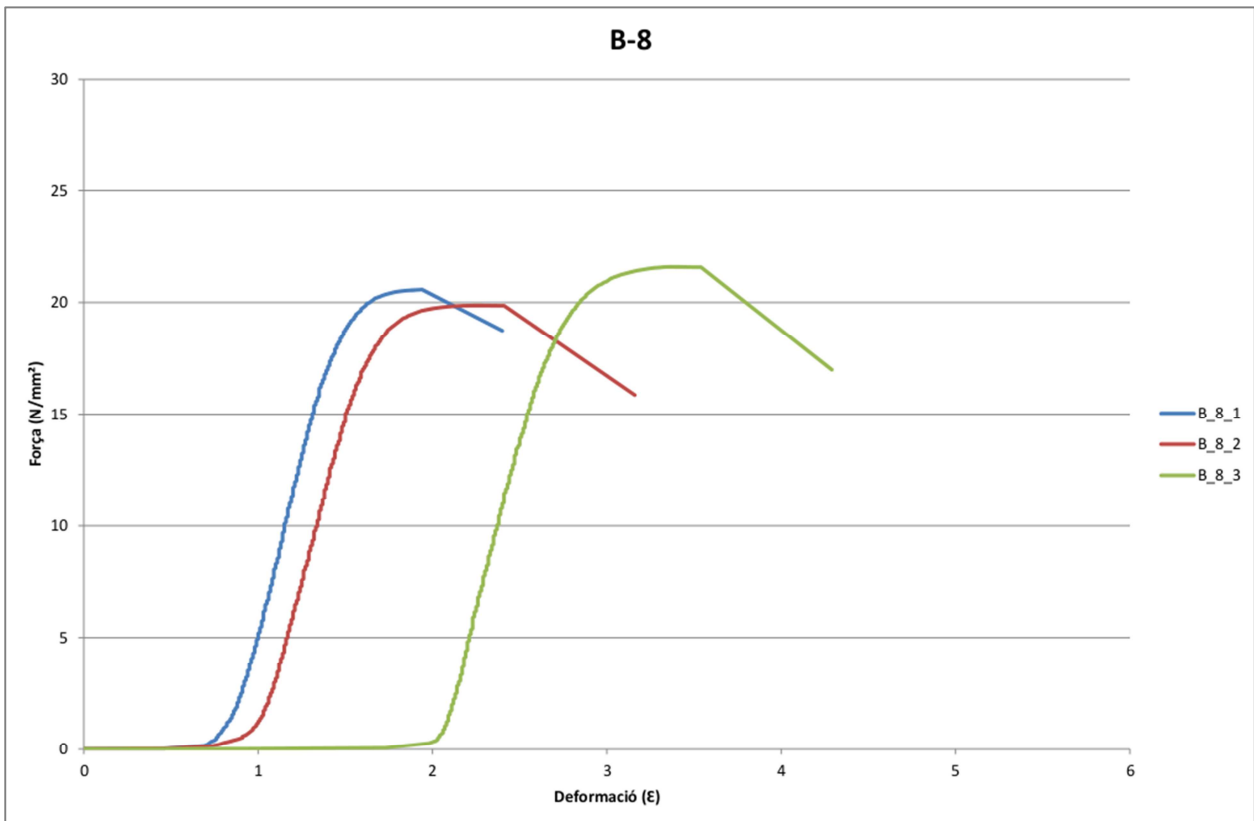


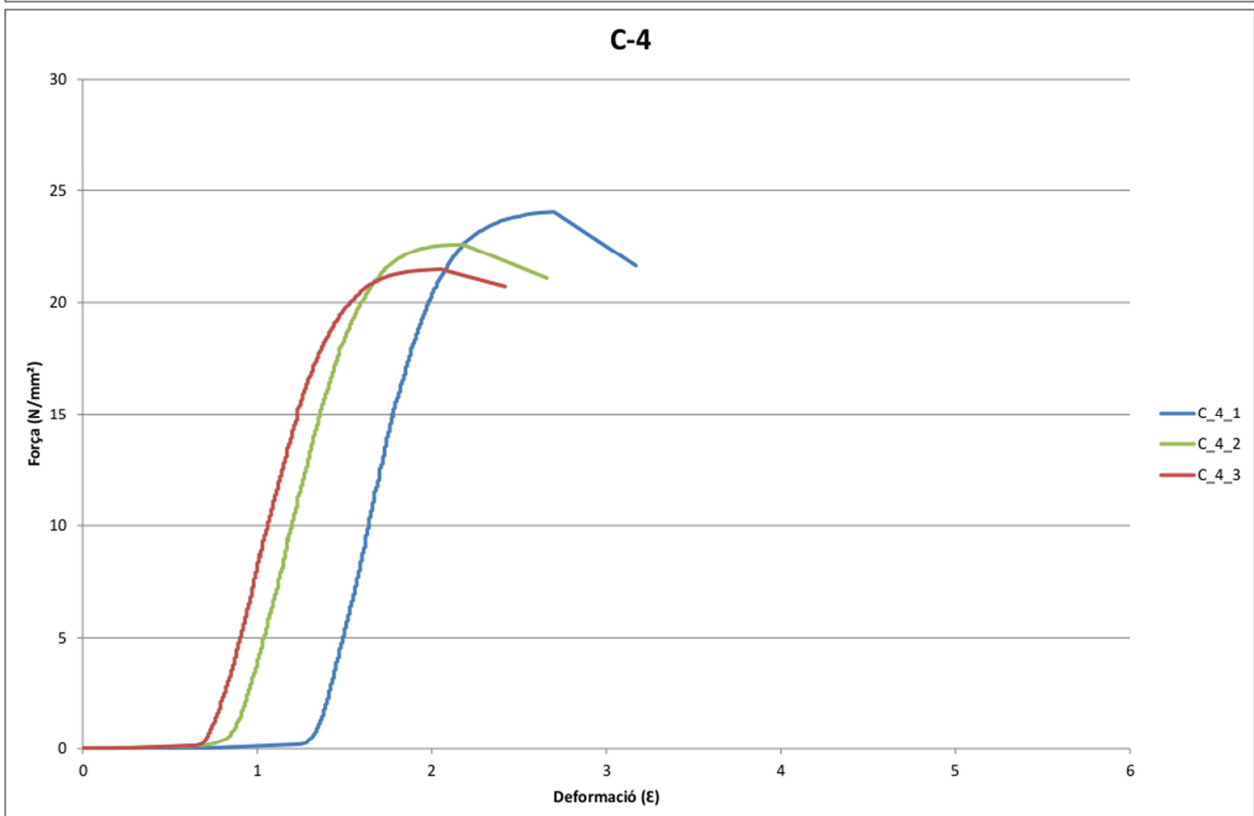
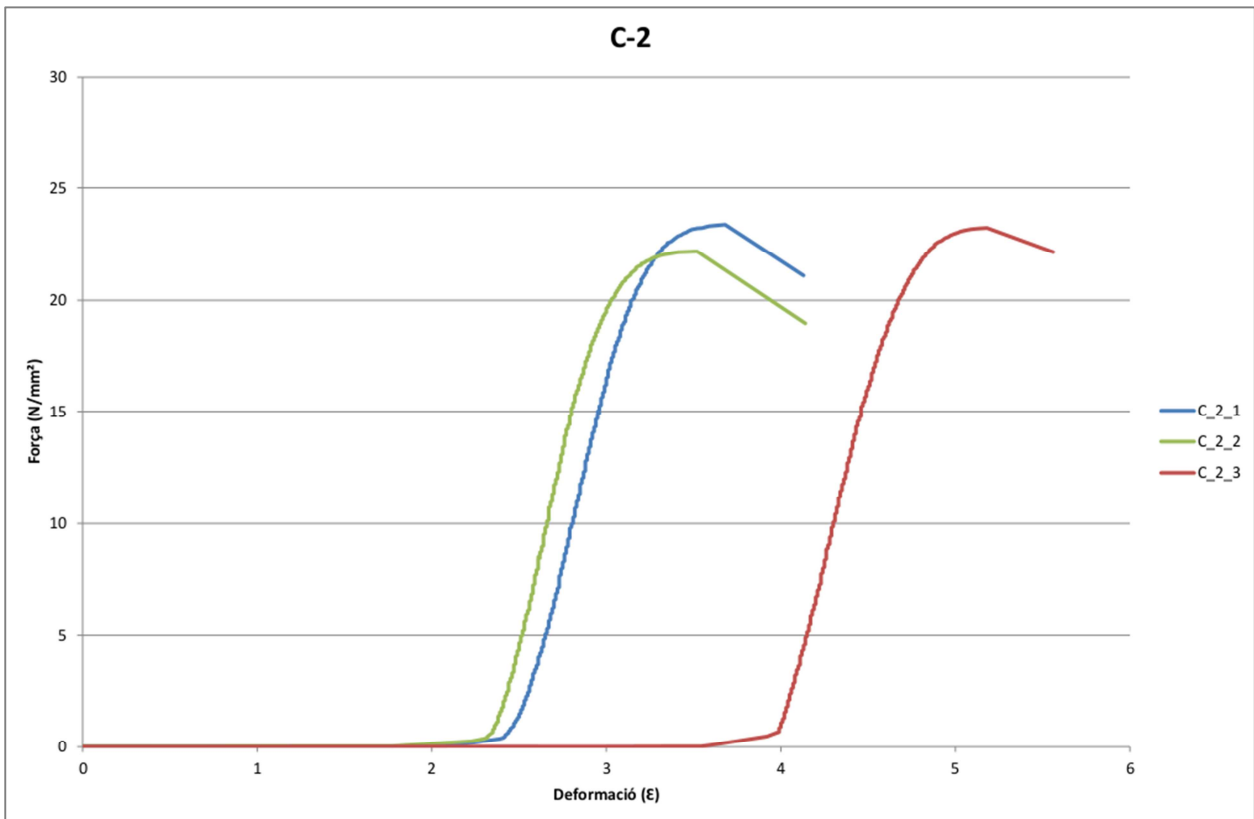


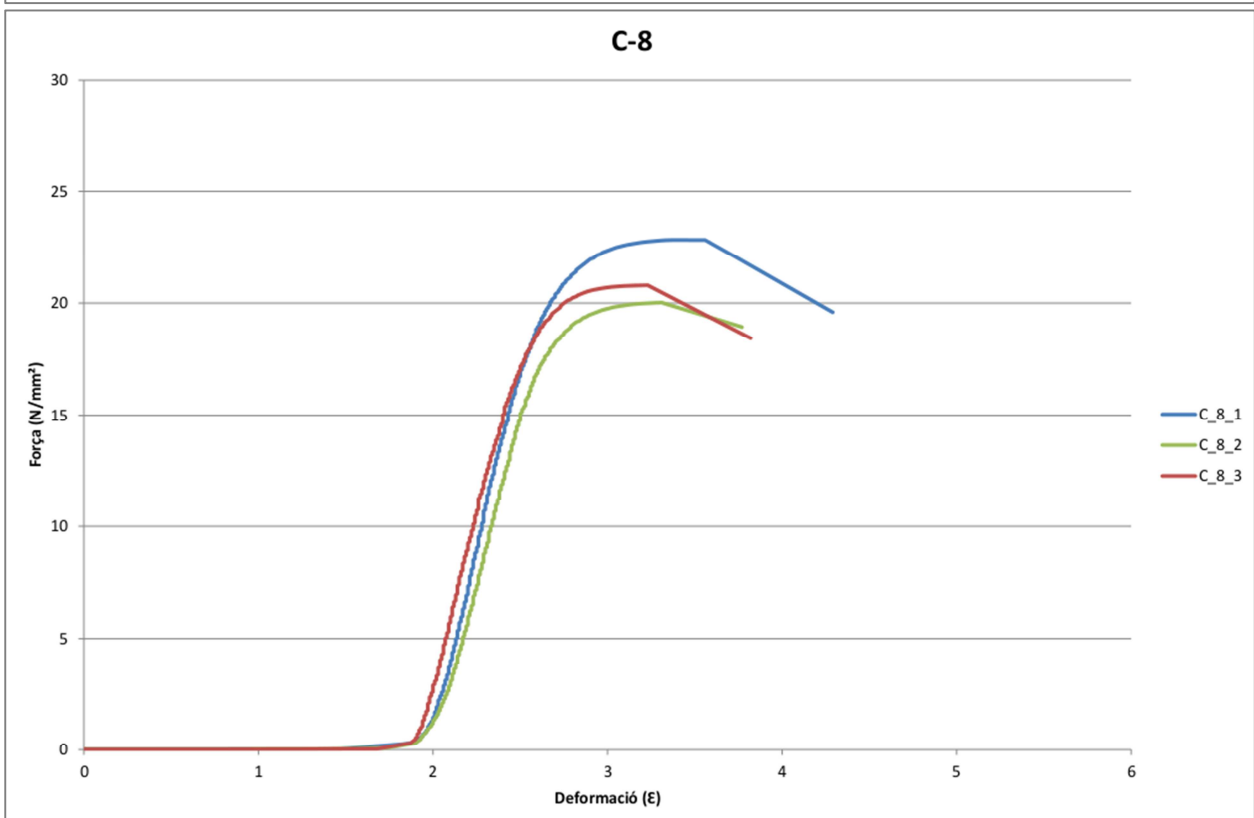
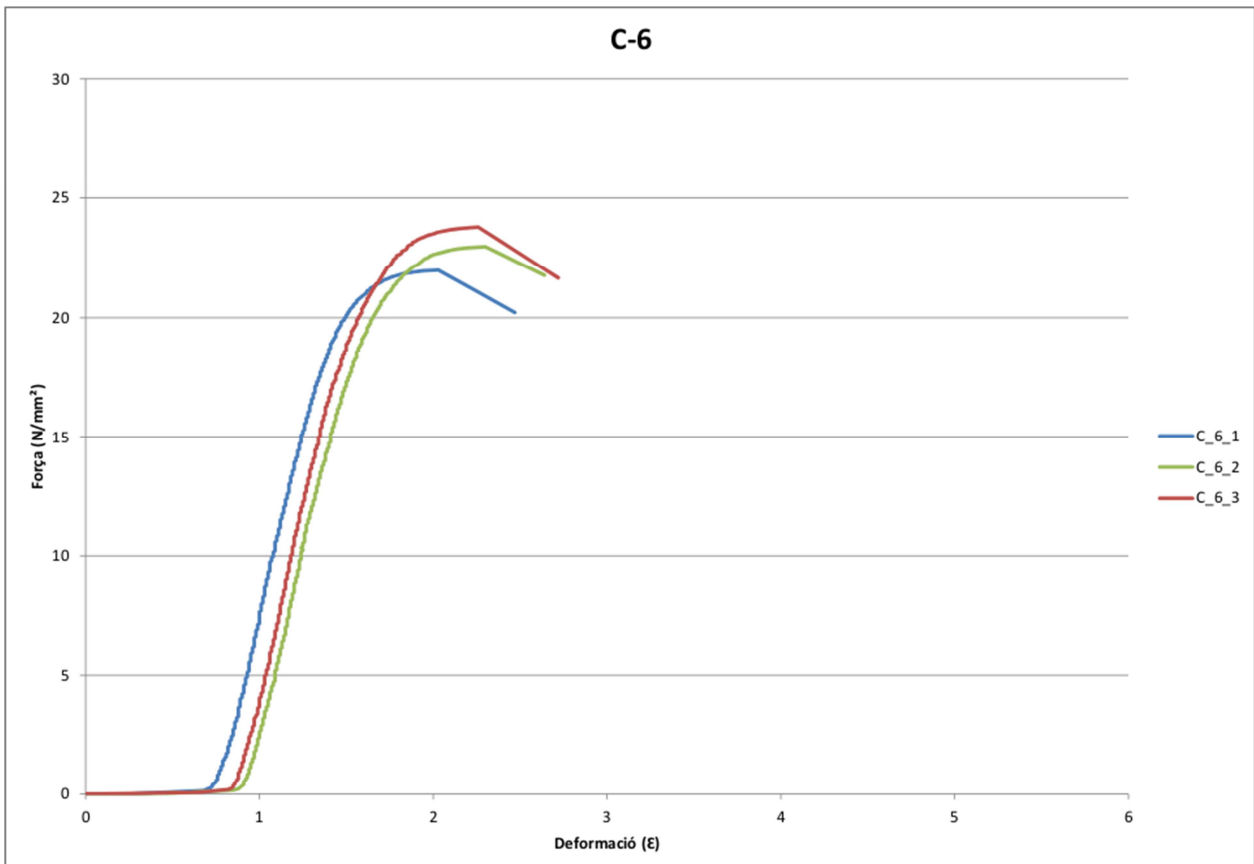
12. ANNEXOS

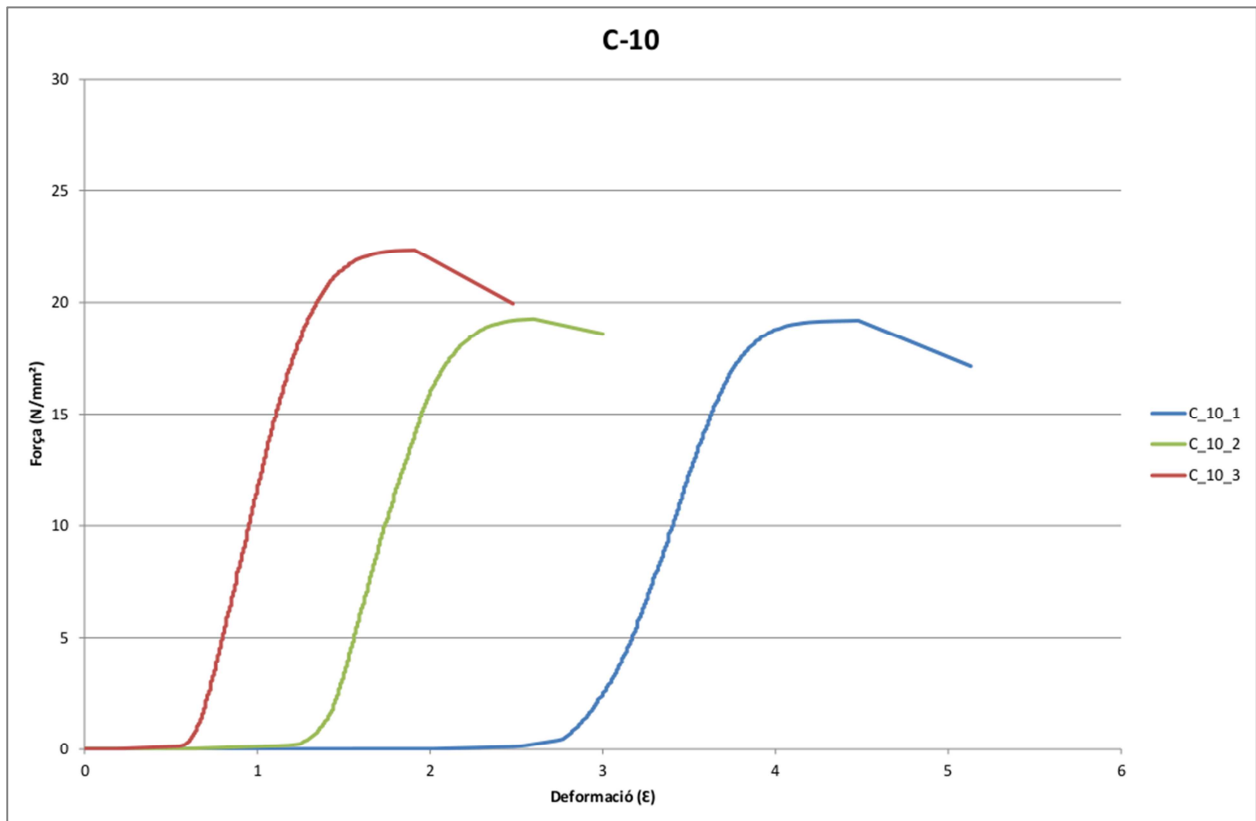










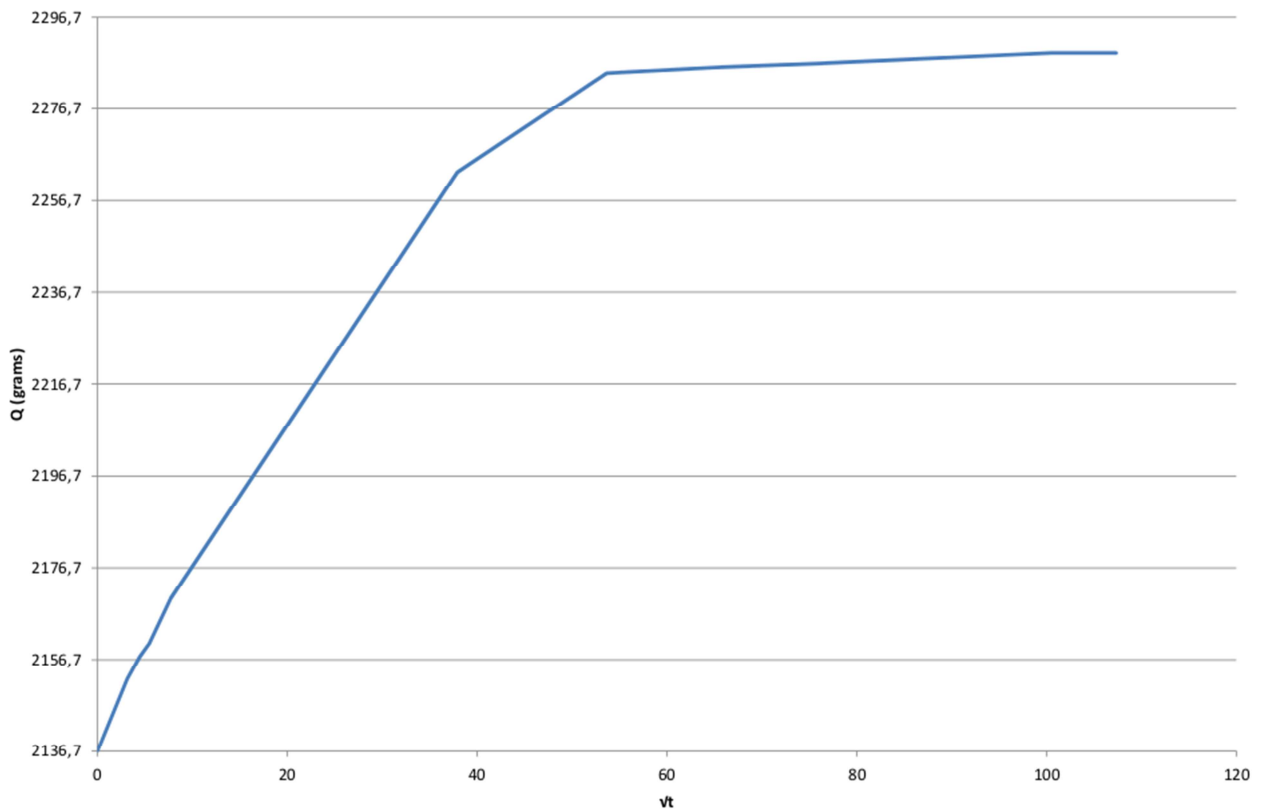


12.3. ANNEX 3: ABSORCIÓ D'AIGUA PER CAPIL·LARITAT

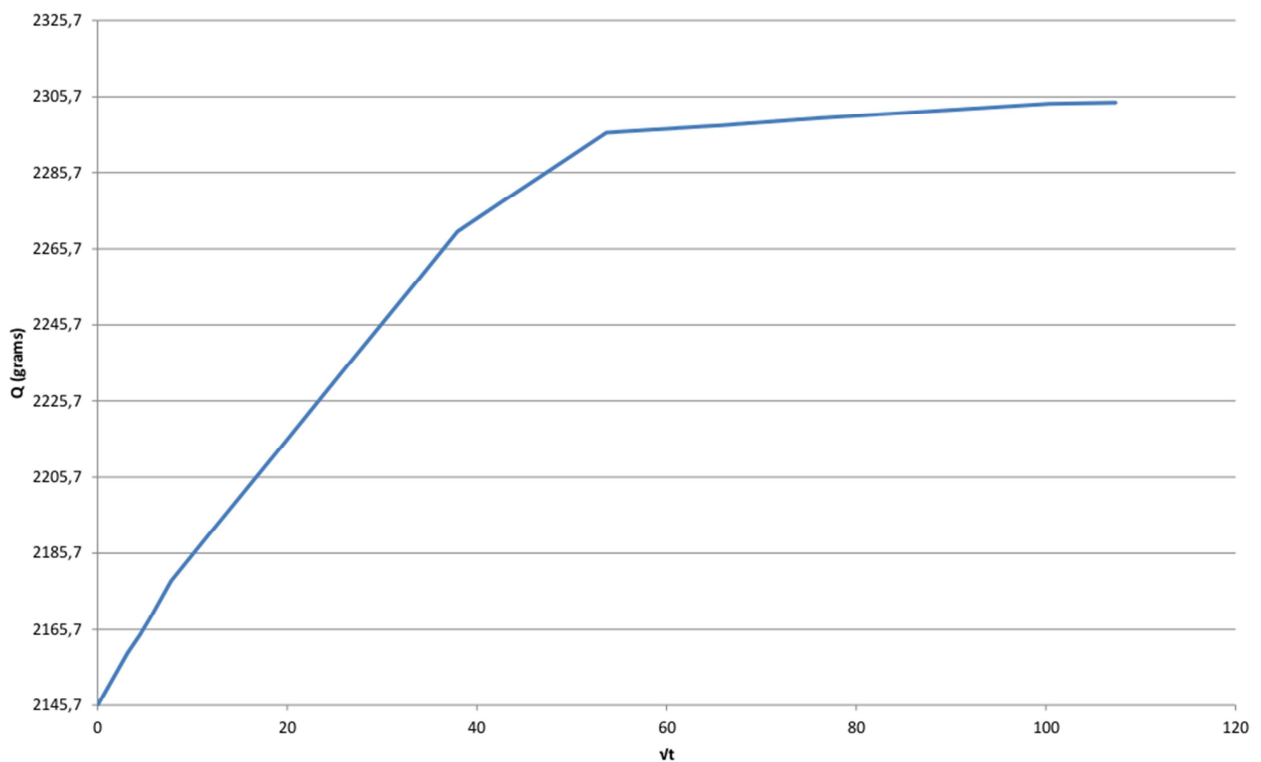
SERIE	% VIDRE SUBSTITUT DE LA SORRA	Núm. Proveta	TEMPS (minuts)											
			INICIAL	10	20	30	60	1440	2880	4320	5760	10080	11520	
			PES (grams)											
BLANC	0	4	2136,7	2152,4	2157,3	2160,2	2170,0	2262,9	2284,4	2285,7	2286,5	2288,8	2288,8	
		5	2145,7	2159,5	2164,3	2168,5	2178,4	2270,2	2296,2	2298,1	2300,0	2303,9	2304,2	
A	2	4	2140,4	2152,5	2156,6	2160,2	2169,6	2242,1	2261,5	2266,4	2269,6	2275,3	2275,5	
		5	2160,5	2173,2	2176,8	2180,2	2188,9	2266,4	2288,9	2293,6	2297,4	2301,8	2301,9	
	4	4	2158,3	2171,1	2174,6	2178,3	2186,8	2253,3	2272,2	2278,6	2283,2	2286,9	2287,1	
		5	2141,9	2154,6	2158,0	2161,4	2170,0	2242,6	2263,4	2267,4	2270,6	2276,2	2276,3	
	6	4	2153,9	2166,8	2170,2	2174,5	2183,7	2230,6	2251,7	2259,2	2264,0	2277,9	2278,0	
		5	2145,5	2158,9	2162,3	2165,8	2174,2	2230,9	2249,7	2254,3	2259,2	2269,3	2269,5	
	8	4	2146,4	2162,4	2165,9	2169,3	2178,1	2251,2	2278,4	2283,2	2286,6	2290,3	2290,4	
		5	2165,1	2183,1	2188,1	2191,4	2202,5	2274,8	2294,9	2299,8	2303,1	2308,3	2308,3	
	10	4	2129,6	2147,0	2151,4	2154,5	2162,2	2246,4	2273,2	2274,6	2276,9	2278,5	2278,6	
		5	2136,3	2156,9	2162,5	2165,5	2174,8	2258,4	2280,9	2282,5	2283,5	2285,9	2285,9	
	B	2	4	2138,4	2153,3	2157,8	2160,1	2169,2	2240,0	2265,3	2272,7	2278,1	2286,3	2286,5
			5	2141,6	2157,3	2162,3	2164,9	2172,9	2248,8	2268,4	2275,4	2280,8	2287,8	2287,8
4		4	2132,7	2146,2	2150,6	2153,7	2161,4	2223,5	2248,5	2258,2	2267,3	2272,0	2272,0	
		5	2132,1	2145,6	2149,4	2152,1	2160,7	2223,3	2249,5	2258,4	2267,1	2273,6	2273,6	
6		4	2140,5	2157,1	2164,0	2167,6	2175,7	2265,1	2288,4	2292,0	2294,6	2296,5	2296,6	
		5	2112,9	2126,9	2132,3	2136,8	2145,6	2223,4	2247,2	2254,1	2259,9	2263,7	2263,9	
8		4	2150,3	2164,8	2169,5	2173,3	2181,8	2261,3	2286,8	2294,5	2298,7	2301,5	2301,6	
		5	2151,4	2164,2	2168,7	2171,9	2180,3	2255,4	2284,3	2292,4	2297,4	2302,6	2302,6	
10		4	2136,3	2150,2	2154,5	2159,1	2168,4	2242,3	2266,8	2272,1	2277,8	2286,5	2286,5	
		5	2151,3	2166,6	2173,1	2177,6	2186,2	2263,3	2287,2	2293,0	2296,8	2300,3	2300,4	
C		2	4	2130,7	2139,9	2144,2	2149,0	2157,1	2221,9	2249,3	2257,6	2260,2	2266,8	2266,9
			5	2162,2	2173,9	2177,9	2182,4	2189,1	2259,1	2287,1	2294,8	2299,0	2303,9	2304,1
	4	4	2153,1	2166,2	2171,9	2175,7	2183,8	2271,1	2300,8	2303,9	2306,2	2309,1	2309,2	
		5	2117,0	2132,9	2138,5	2142,4	2154,2	2227,0	2251,4	2256,1	2259,7	2264,6	2264,9	
	6	4	2129,4	2139,7	2145,0	2148,3	2157,0	2224,4	2251,4	2258,4	2265,2	2271,2	2271,2	
		5	2130,3	2142,3	2146,9	2149,8	2158,1	2218,4	2239,8	2246,3	2251,4	2255,9	2255,9	
	8	4	2109,4	2123,6	2129,1	2133,4	2142,5	2239,7	2265,4	2268,2	2270,0	2273,3	2273,4	
		5	2102,8	2116,8	2123,1	2126,6	2134,7	2232,8	2258,5	2261,2	2263,2	2265,8	2265,8	
	10	4	2179,2	2191,3	2197,0	2200,2	2208,9	2296,9	2326,5	2331,6	2335,5	2339,1	2339,1	
		5	2132,0	2144,9	2150,9	2154,6	2162,2	2244,5	2271,2	2277,7	2283,6	2288,7	2288,7	

SERIE	% VIDRE SUBSTITUT DE LA SORRA	Núm. Proveta	CÀLCULS									K mitjana	
			K	δa	Ee	m	Qn	Qo	A	h	tn		
			kg/m ² min0,5	g/cm ³	cm ³ /cm ³	min/cm ²	g	g	cm ²	cm	min		kg/m ² min0,5
BLANC	0	4	0,001417	1	0,1521	115,2	2288,8	2136,7	100	10	11520	0,001447	
		5	0,001477	1	0,1585	115,2	2304,2	2145,7	100	10	11520		
A	2	4	0,001259	1	0,1351	115,2	2275,5	2140,4	100	10	11520	0,001288	
		5	0,001317	1	0,1414	115,2	2301,9	2160,5	100	10	11520		
	4	4	0,001200	1	0,1288	115,2	2287,1	2158,3	100	10	11520	0,001226	
		5	0,001252	1	0,1344	115,2	2276,3	2141,9	100	10	11520		
	6	4	0,001156	1	0,1241	115,2	2278,0	2153,9	100	10	11520	0,001156	
		5	0,001155	1	0,1240	115,2	2269,5	2145,5	100	10	11520		
	8	4	0,001342	1	0,1440	115,2	2290,4	2146,4	100	10	11520	0,001338	
		5	0,001334	1	0,1432	115,2	2308,3	2165,1	100	10	11520		
	10	4	0,001388	1	0,1490	115,2	2278,6	2129,6	100	10	11520	0,001391	
		5	0,001394	1	0,1496	115,2	2285,9	2136,3	100	10	11520		
	B	2	4	0,001380	1	0,1481	115,2	2286,5	2138,4	100	10	11520	0,001371
			5	0,001362	1	0,1462	115,2	2287,8	2141,6	100	10	11520	
4		4	0,001298	1	0,1393	115,2	2272,0	2132,7	100	10	11520	0,001308	
		5	0,001318	1	0,1415	115,2	2273,6	2132,1	100	10	11520		
6		4	0,001454	1	0,1561	115,2	2296,6	2140,5	100	10	11520	0,001431	
		5	0,001407	1	0,1510	115,2	2263,9	2112,9	100	10	11520		
8		4	0,001410	1	0,1513	115,2	2301,6	2150,3	100	10	11520	0,001409	
		5	0,001409	1	0,1512	115,2	2302,6	2151,4	100	10	11520		
10		4	0,001399	1	0,1502	115,2	2286,5	2136,3	100	10	11520	0,001394	
		5	0,001389	1	0,1491	115,2	2300,4	2151,3	100	10	11520		
C		2	4	0,001269	1	0,1362	115,2	2266,9	2130,7	100	10	11520	0,001296
			5	0,001322	1	0,1419	115,2	2304,1	2162,2	100	10	11520	
	4	4	0,001454	1	0,1561	115,2	2309,2	2153,1	100	10	11520	0,001416	
		5	0,001378	1	0,1479	115,2	2264,9	2117,0	100	10	11520		
	6	4	0,001321	1	0,1418	115,2	2271,2	2129,4	100	10	11520	0,001246	
		5	0,001170	1	0,1256	115,2	2255,9	2130,3	100	10	11520		
	8	4	0,001528	1	0,1640	115,2	2273,4	2109,4	100	10	11520	0,001523	
		5	0,001519	1	0,1630	115,2	2265,8	2102,8	100	10	11520		
	10	4	0,001490	1	0,1599	115,2	2339,1	2179,2	100	10	11520	0,001475	
		5	0,001460	1	0,1567	115,2	2288,7	2132,0	100	10	11520		

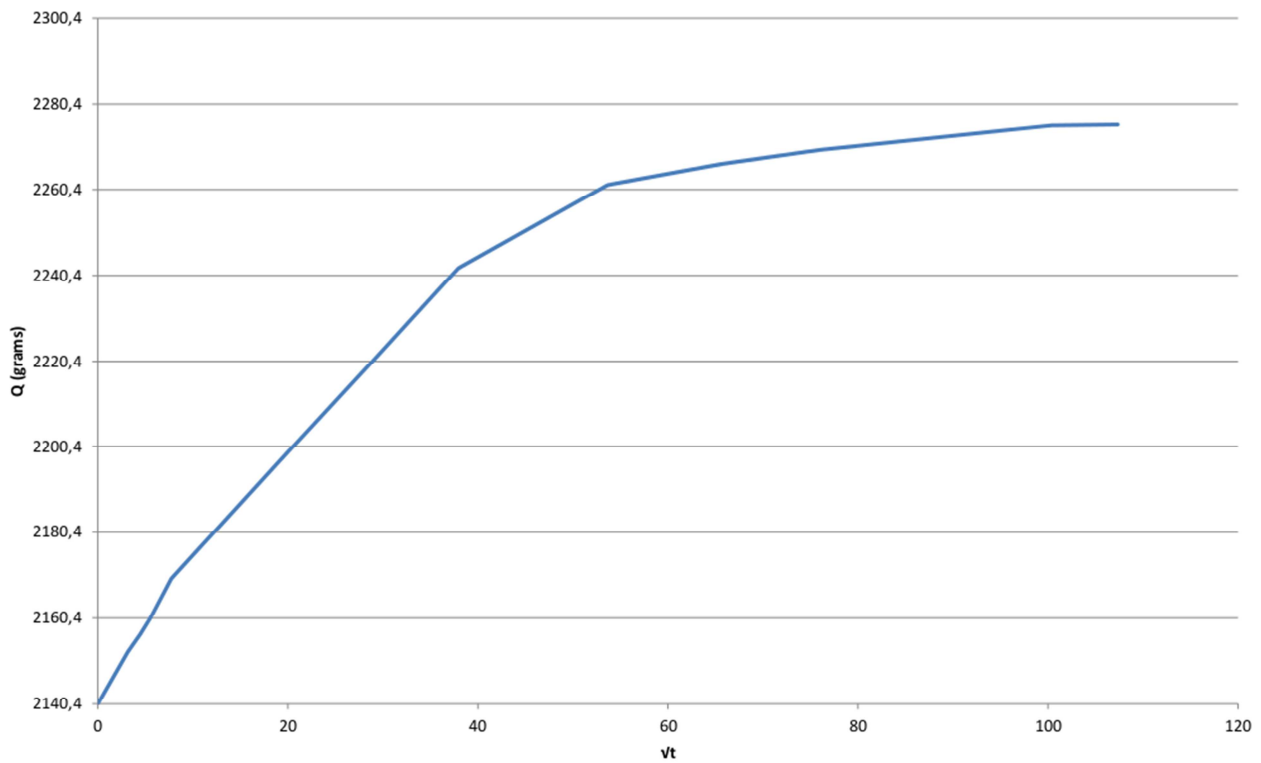
Corba de l'absorció d'aigua per capil·laritat. Sèrie Blanc, Proveta 4



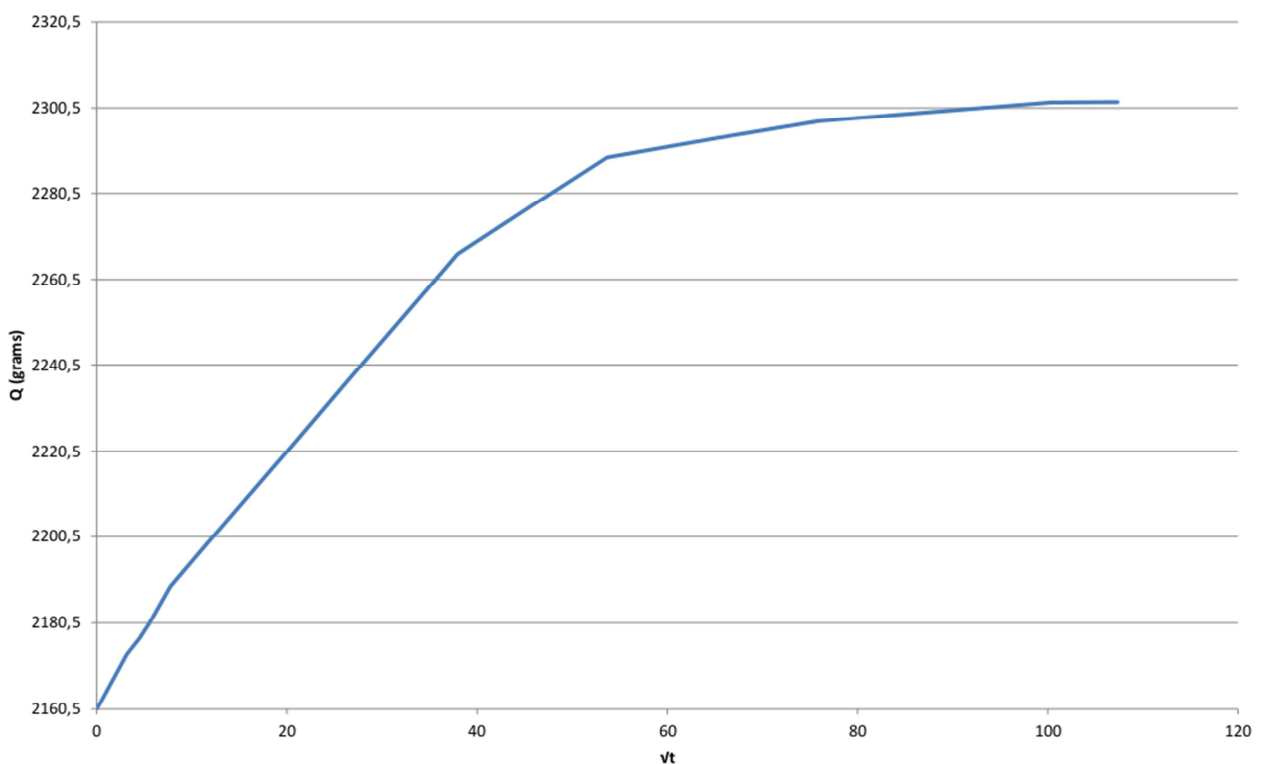
Corba de l'absorció d'aigua per capil·laritat. Sèrie Blanc, Proveta 5



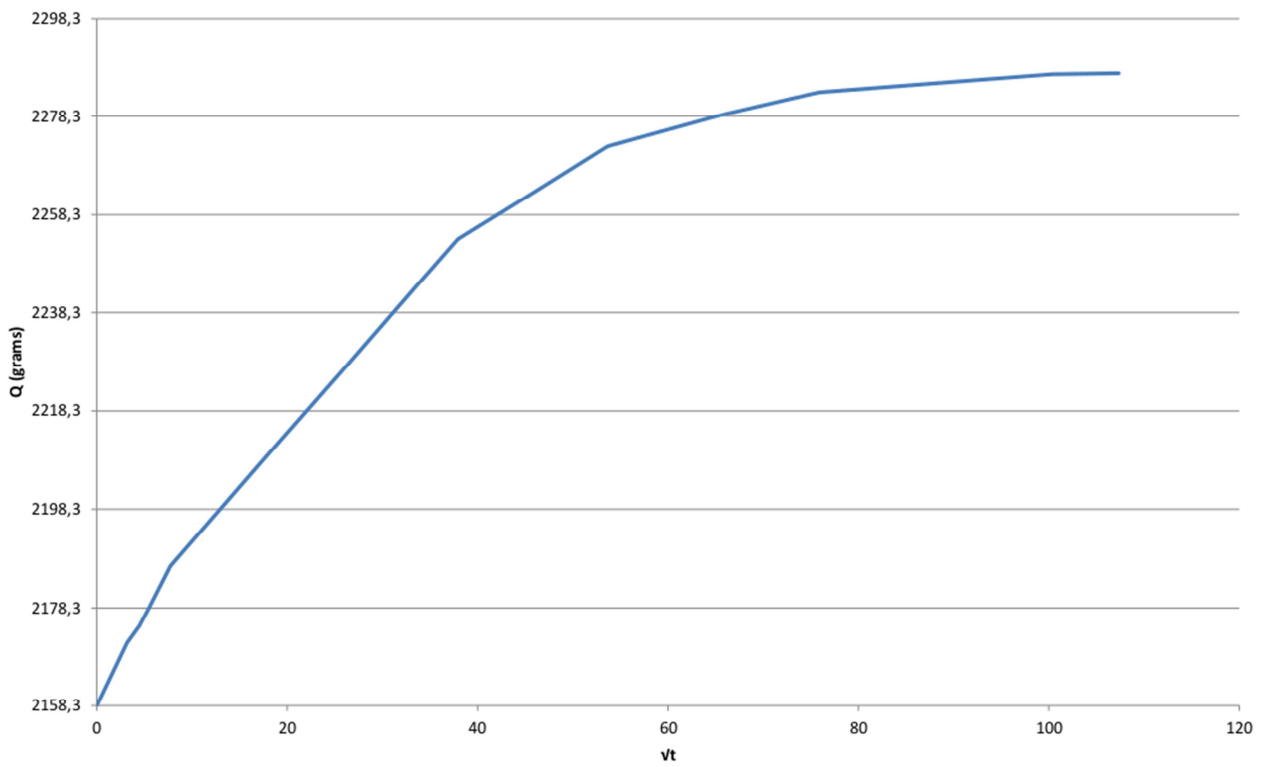
Corba de l'absorció d'aigua per capil·laritat. Sèrie A-2, Proveta 4



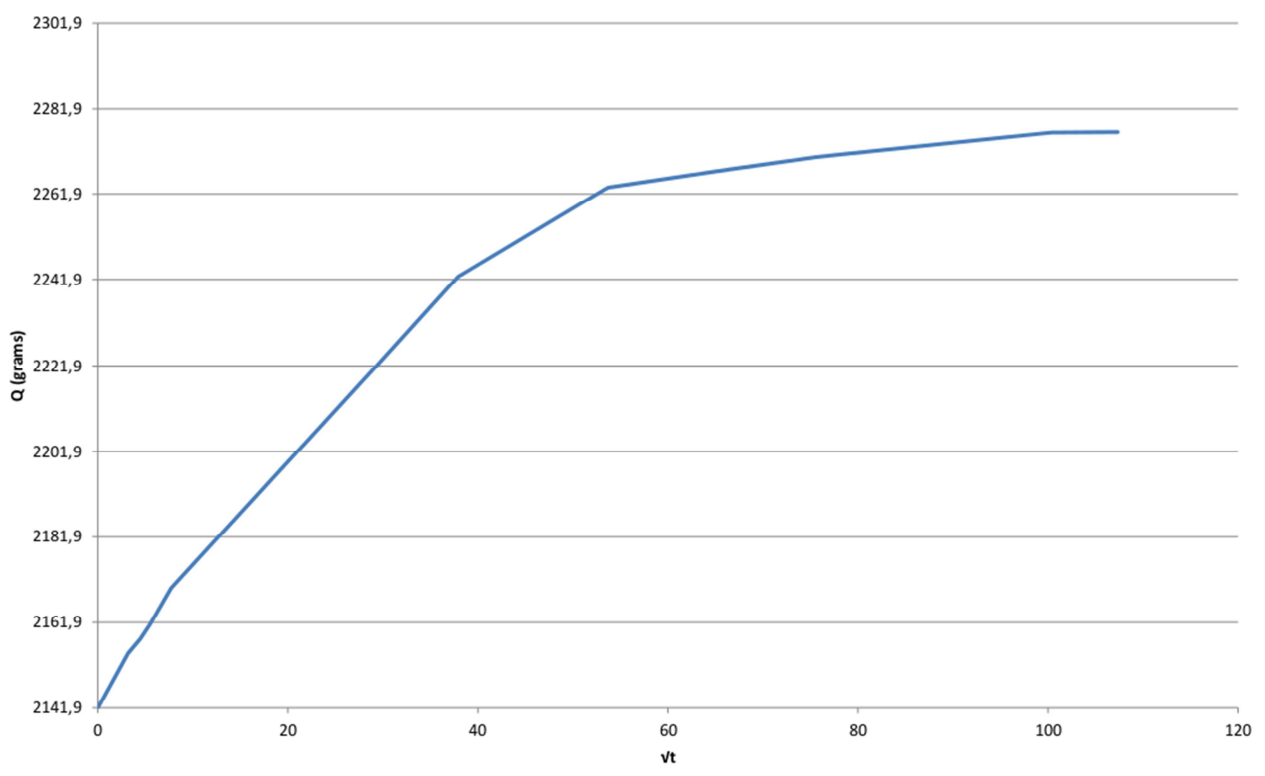
Corba de l'absorció d'aigua per capil·laritat. Sèrie A-2, Proveta 5



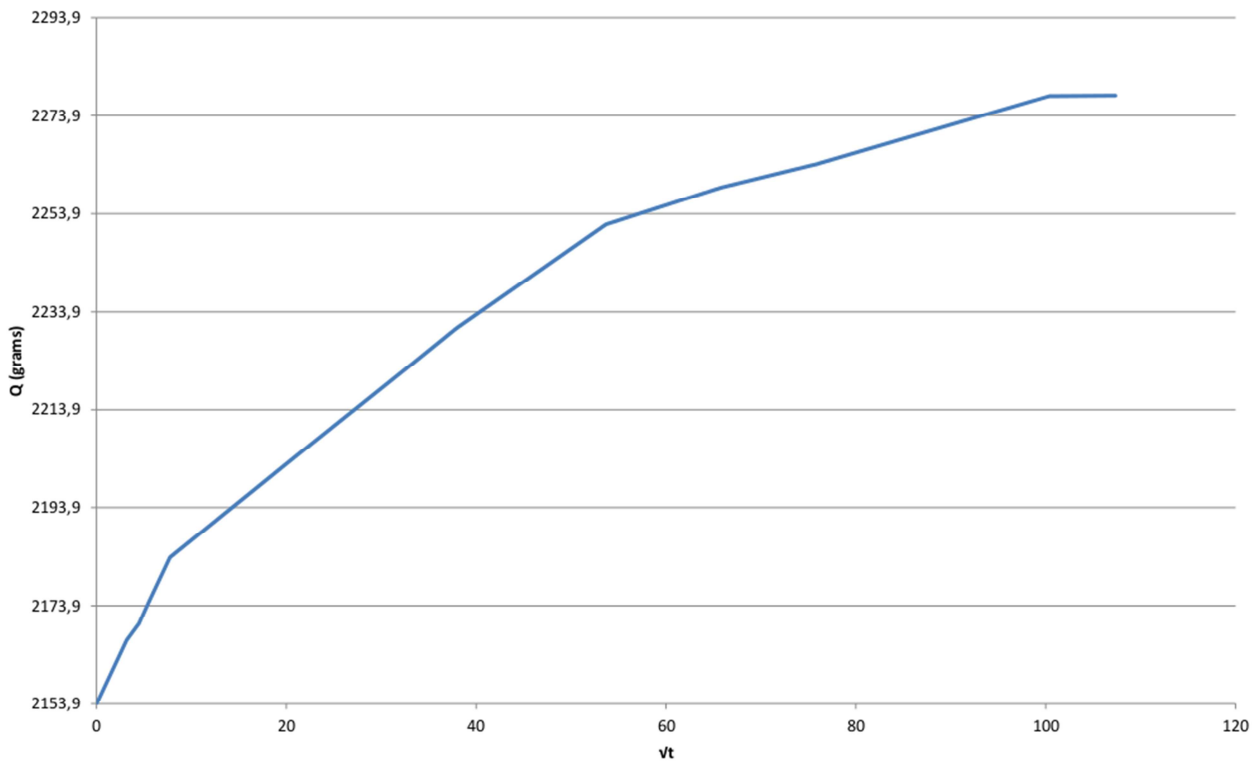
Corba de l'absorció d'aigua per capil·laritat. Sèrie A-4, Proveta 4



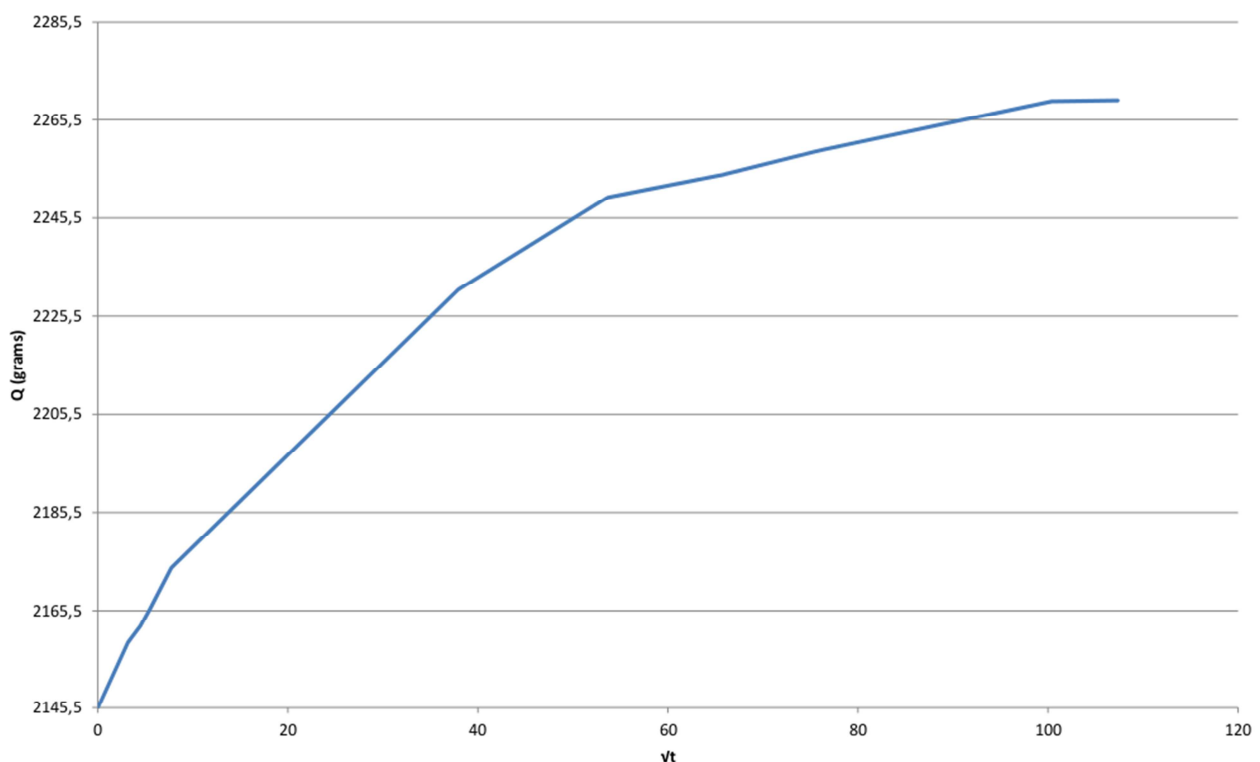
Corba de l'absorció d'aigua per capil·laritat. Sèrie A-4, Proveta 5



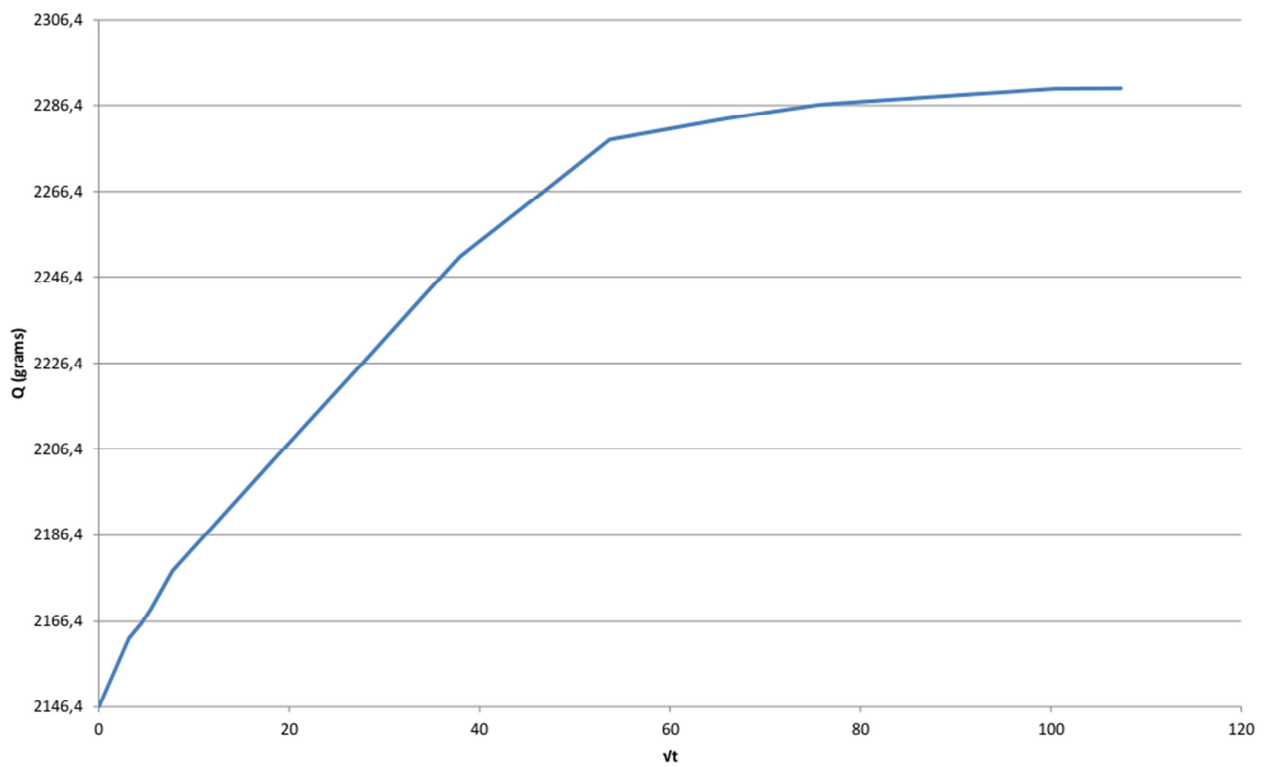
Corba de l'absorció d'aigua per capil·laritat. Sèrie A-6, Proveta 4



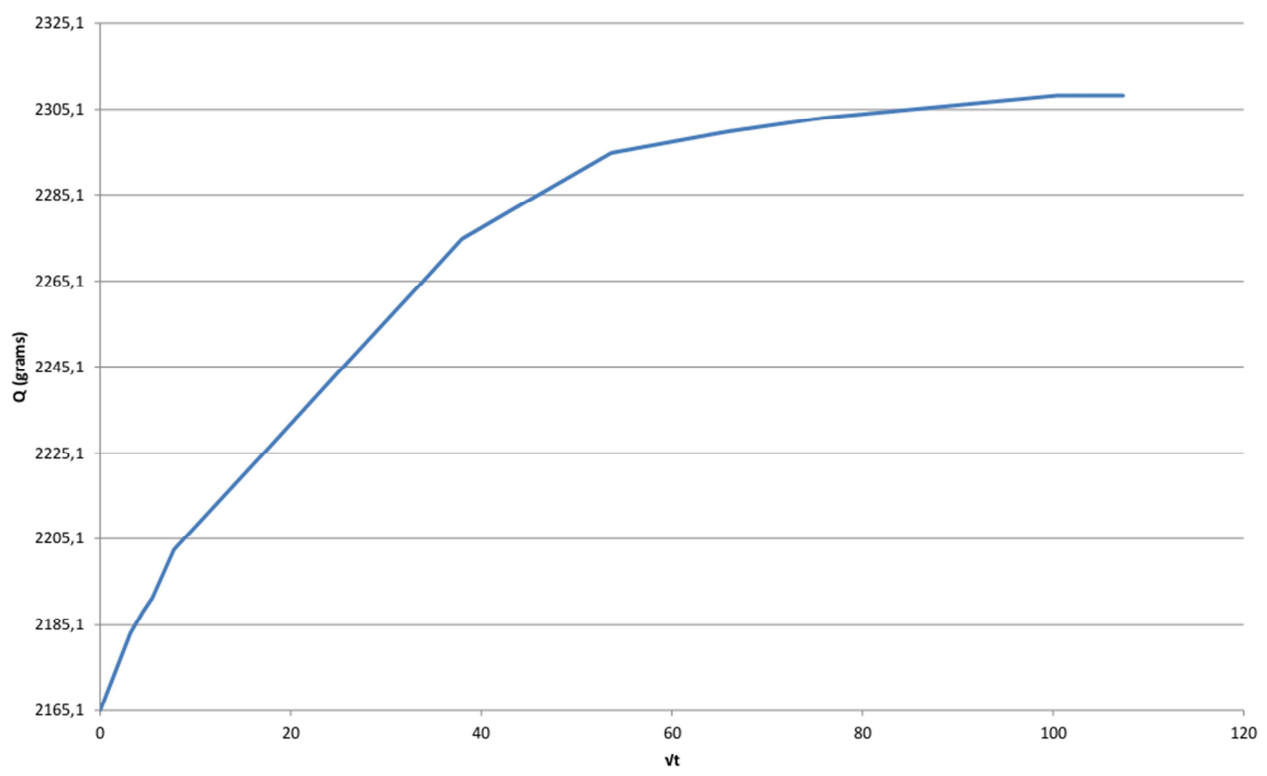
Corba de l'absorció d'aigua per capil·laritat. Sèrie A-6, Proveta 5



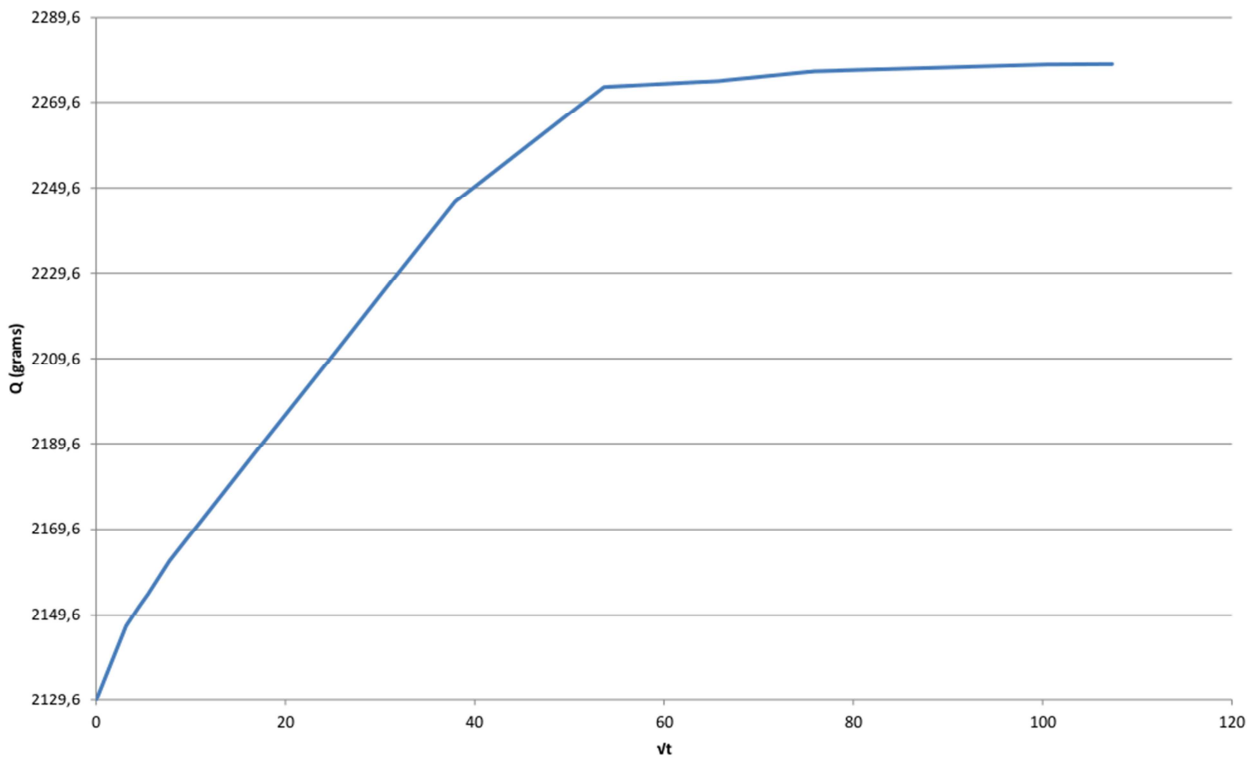
Corba de l'absorció d'aigua per capil·laritat. Sèrie A-8, Proveta 4



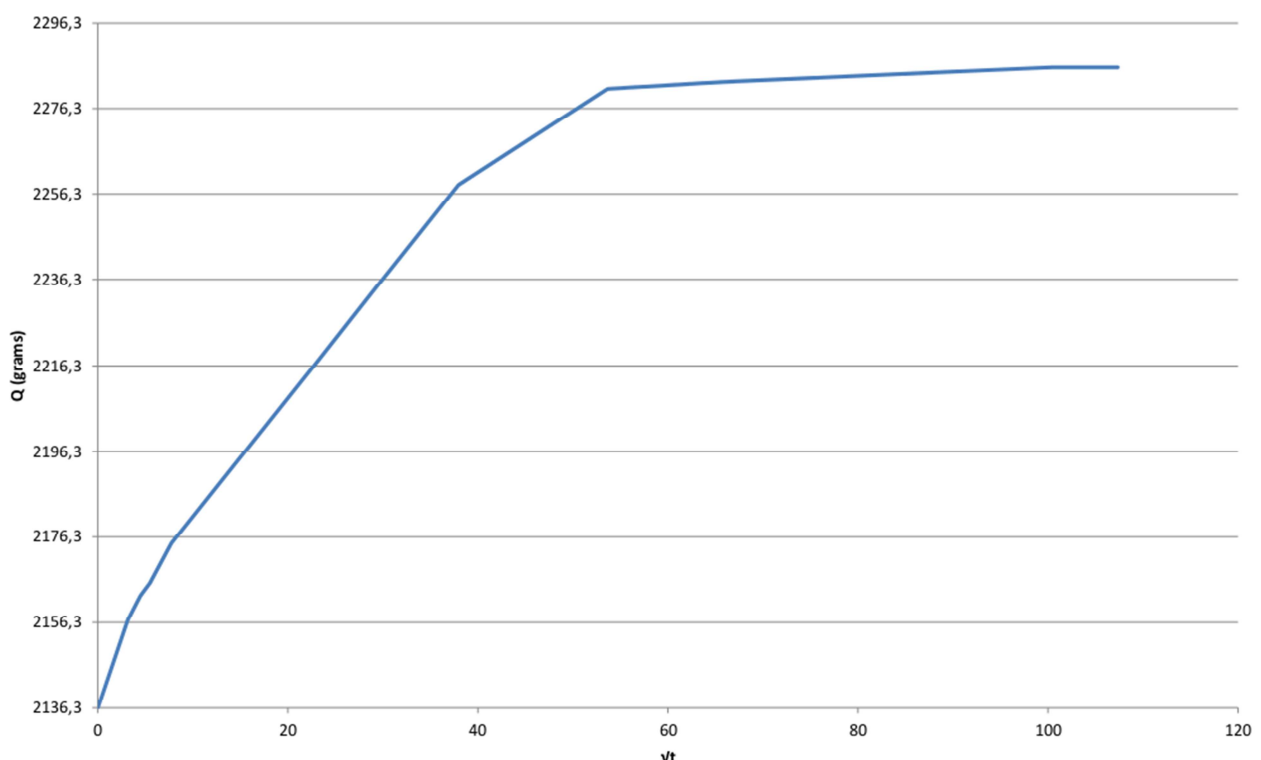
Corba de l'absorció d'aigua per capil·laritat. Sèrie A-8, Proveta 5



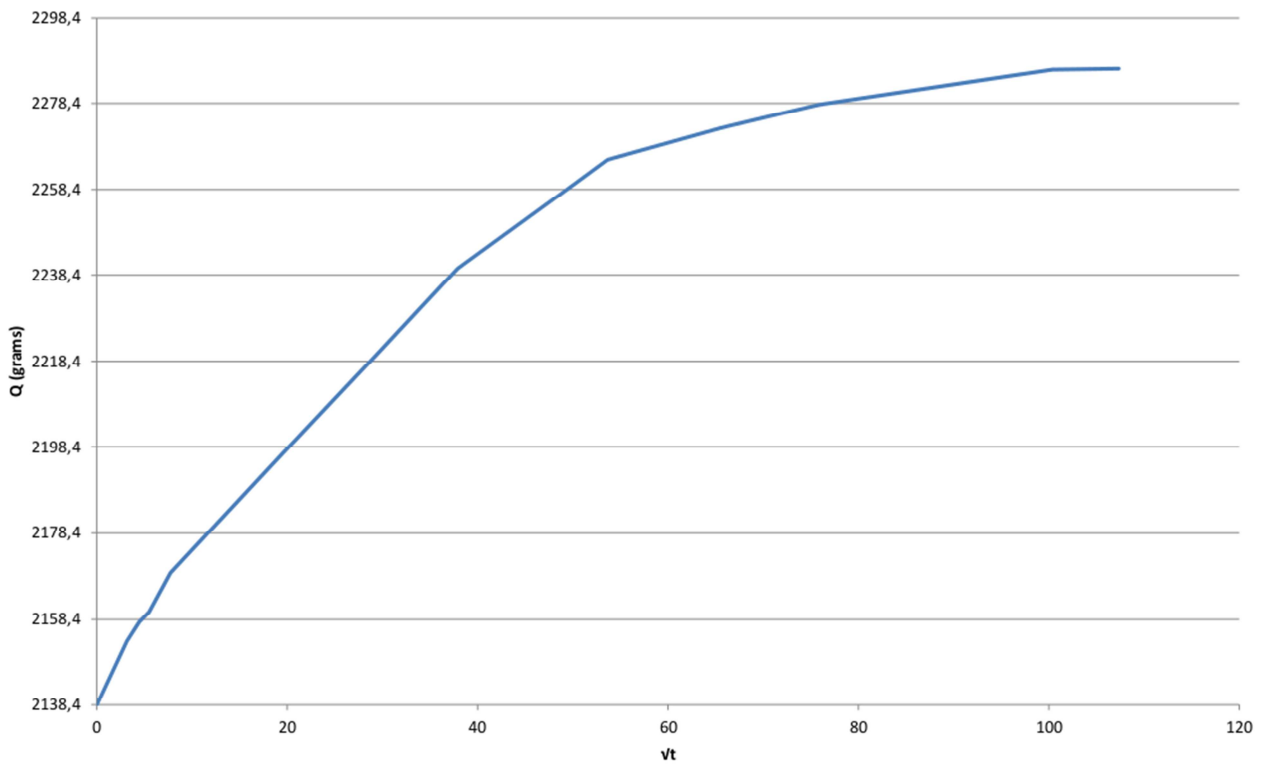
Corba de l'absorció d'aigua per capil·laritat. Sèrie A-10, Proveta 4



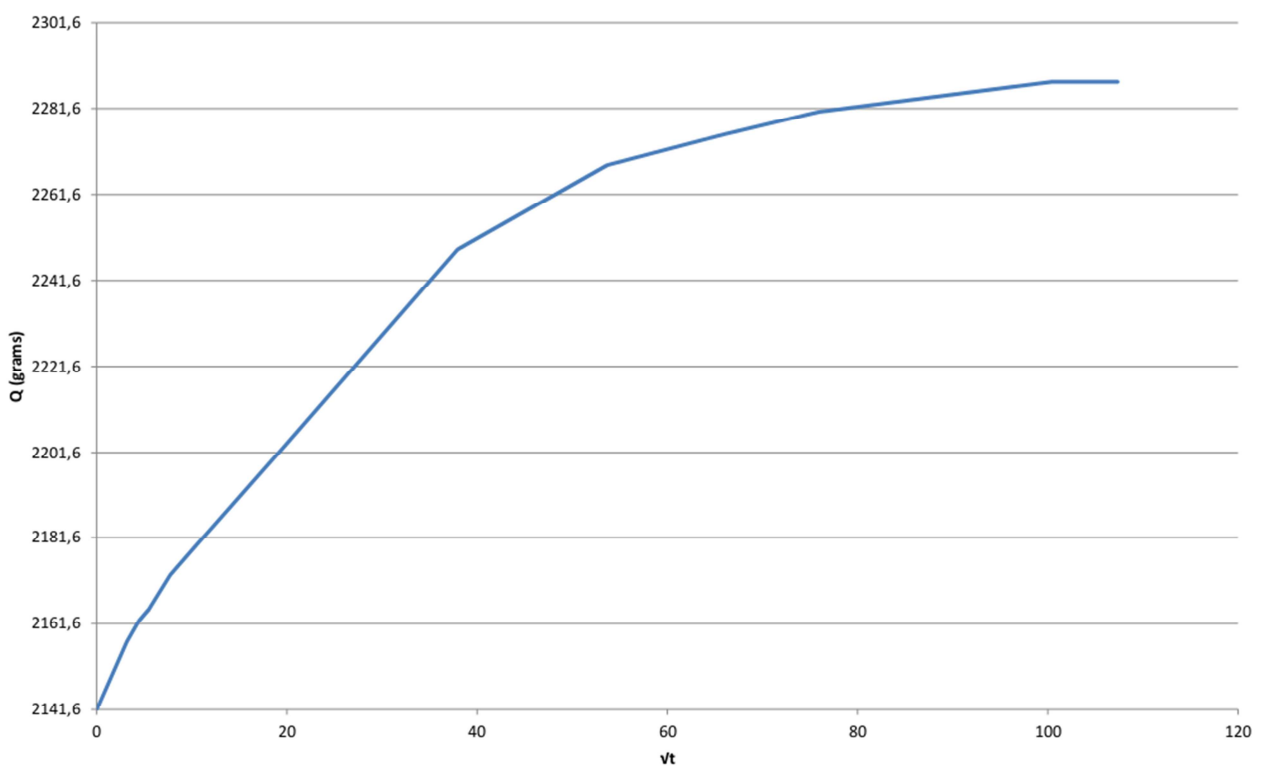
Corba de l'absorció d'aigua per capil·laritat. Sèrie A-10, Proveta 5



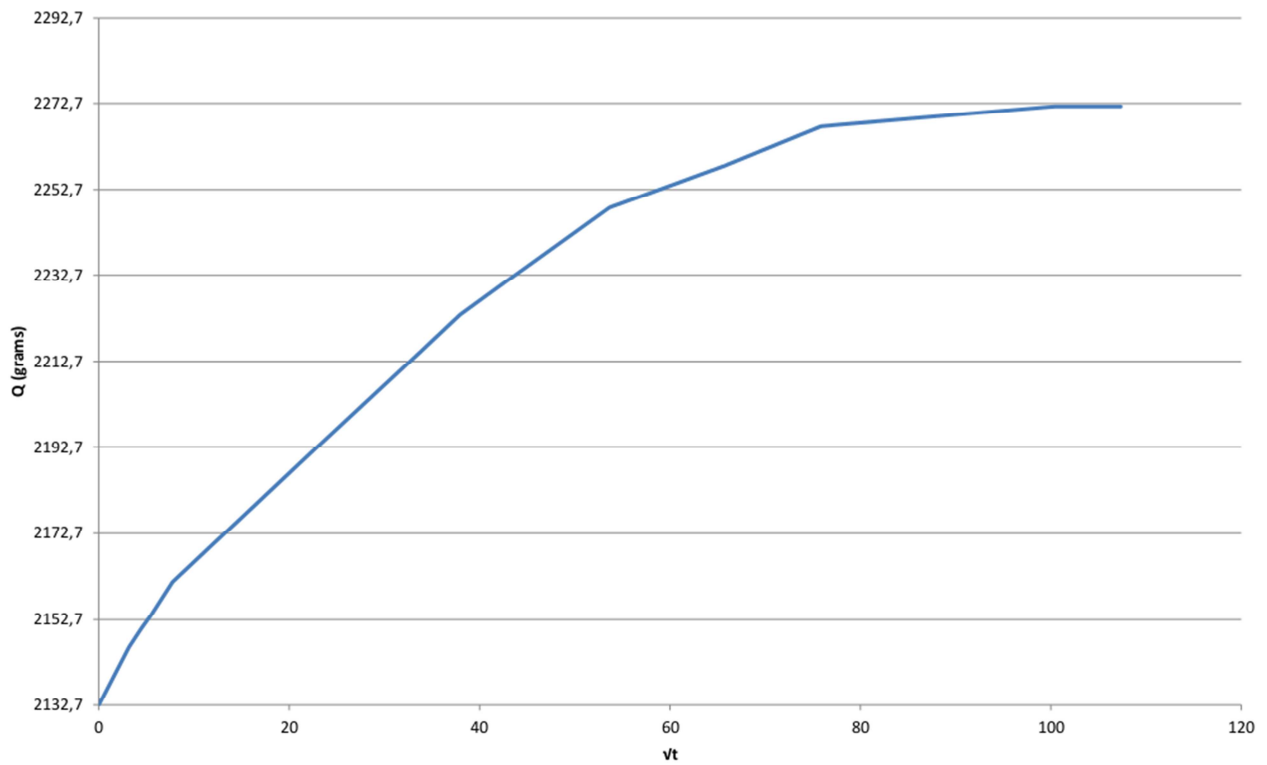
Corba de l'absorció d'aigua per capil·laritat. Sèrie B-2, Proveta 4



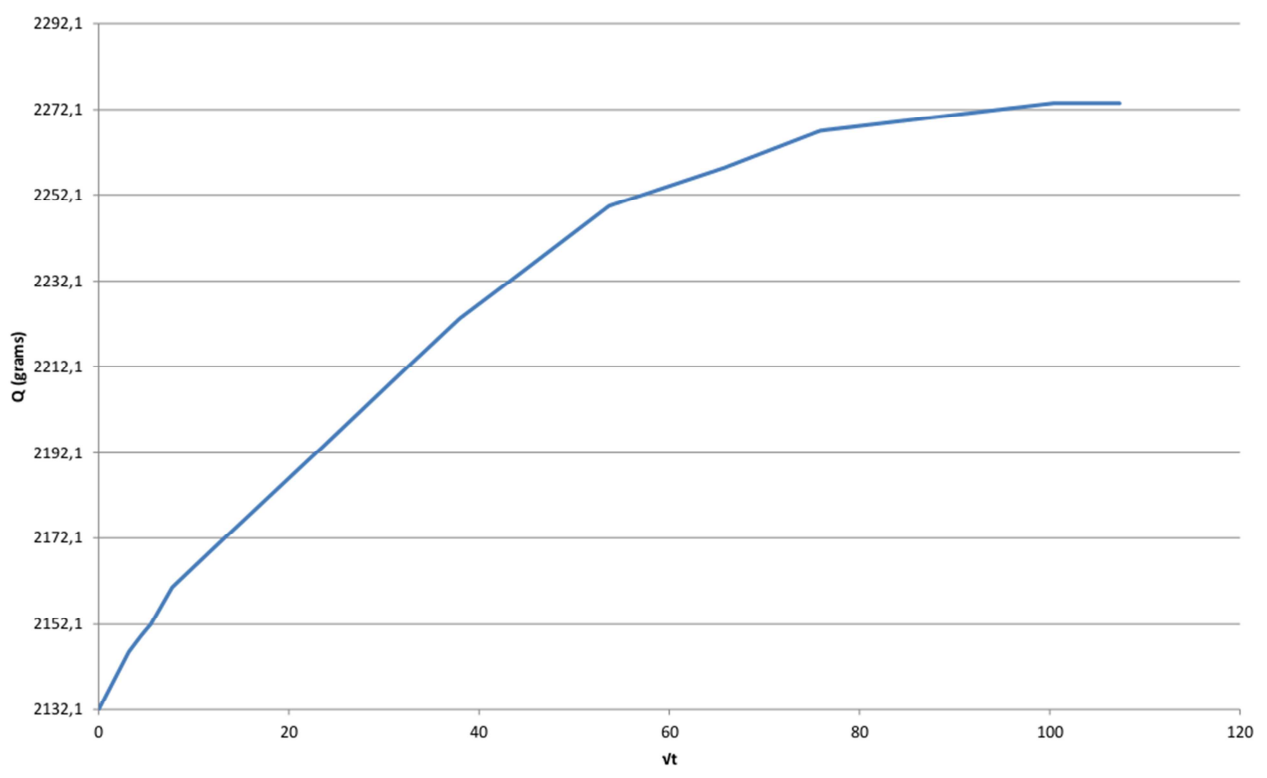
Corba de l'absorció d'aigua per capil·laritat. Sèrie B-2, Proveta 5



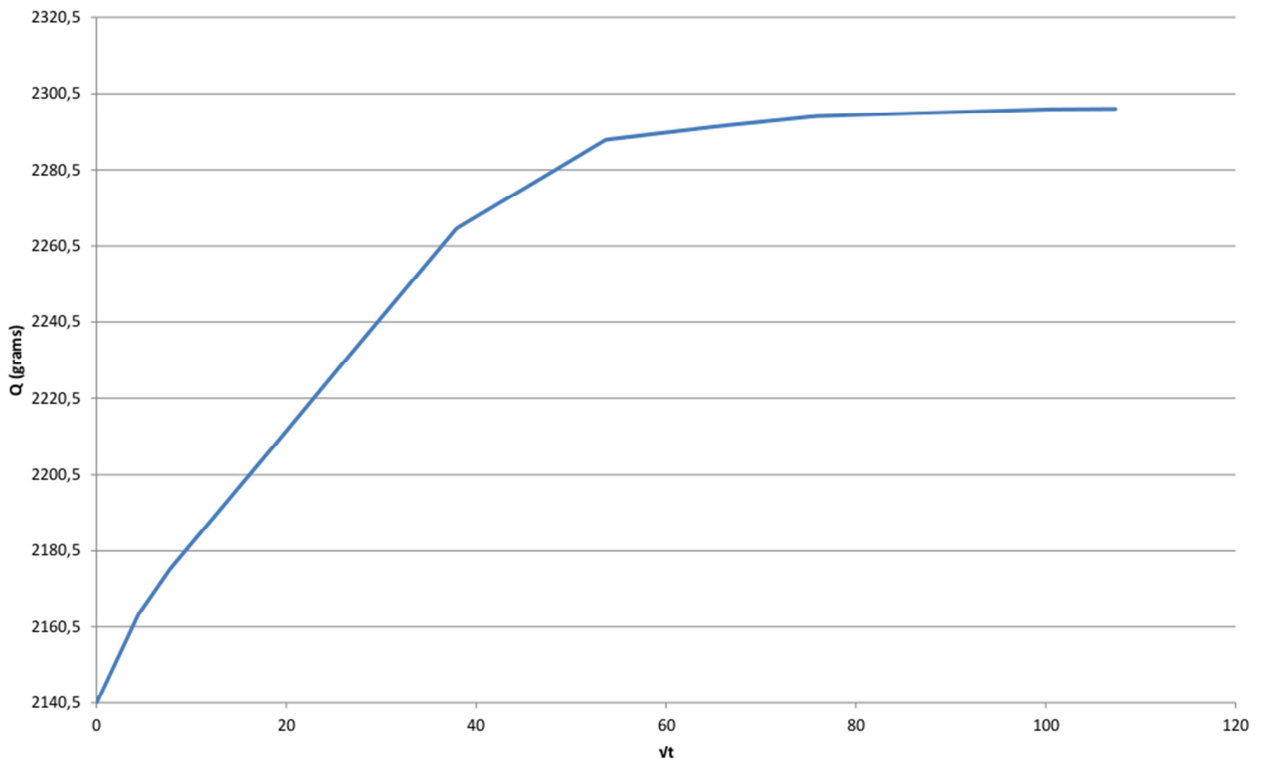
Corba de l'absorció d'aigua per capil·laritat. Sèrie B-4, Proveta 4



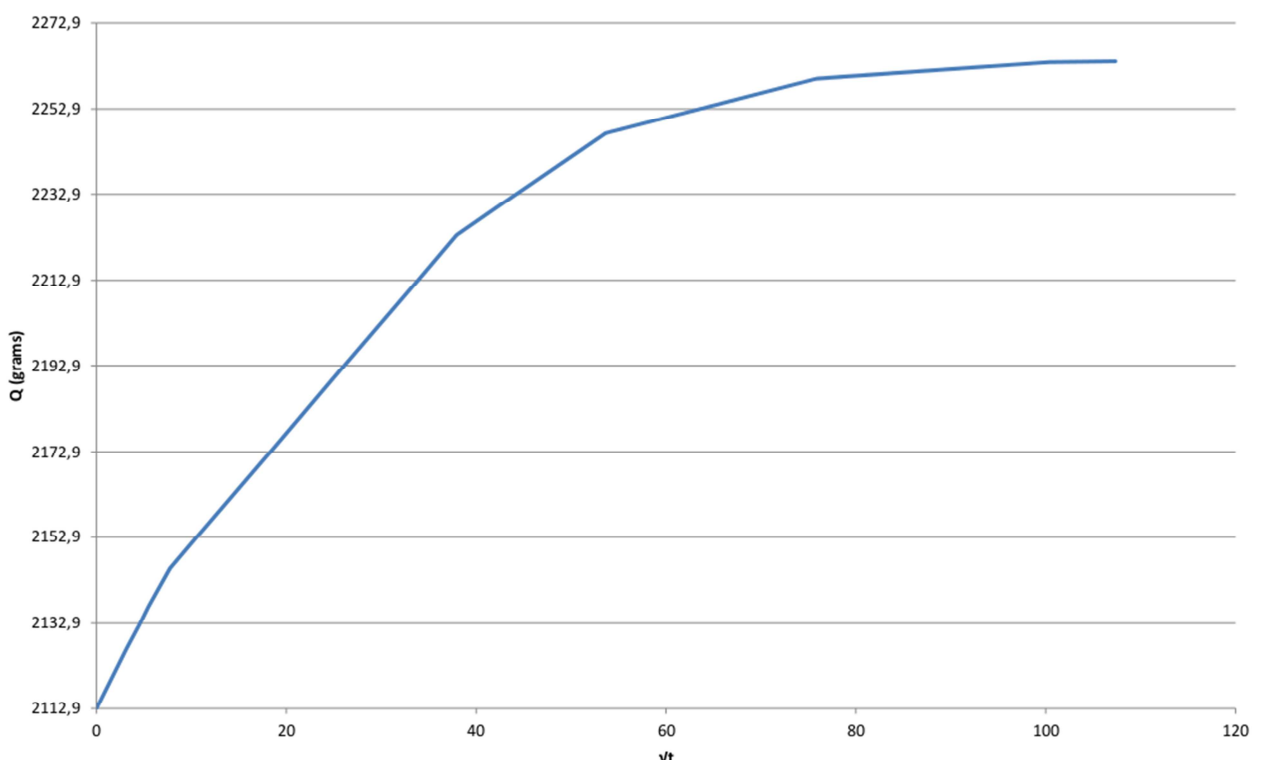
Corba de l'absorció d'aigua per capil·laritat. Sèrie B-4, Proveta 5



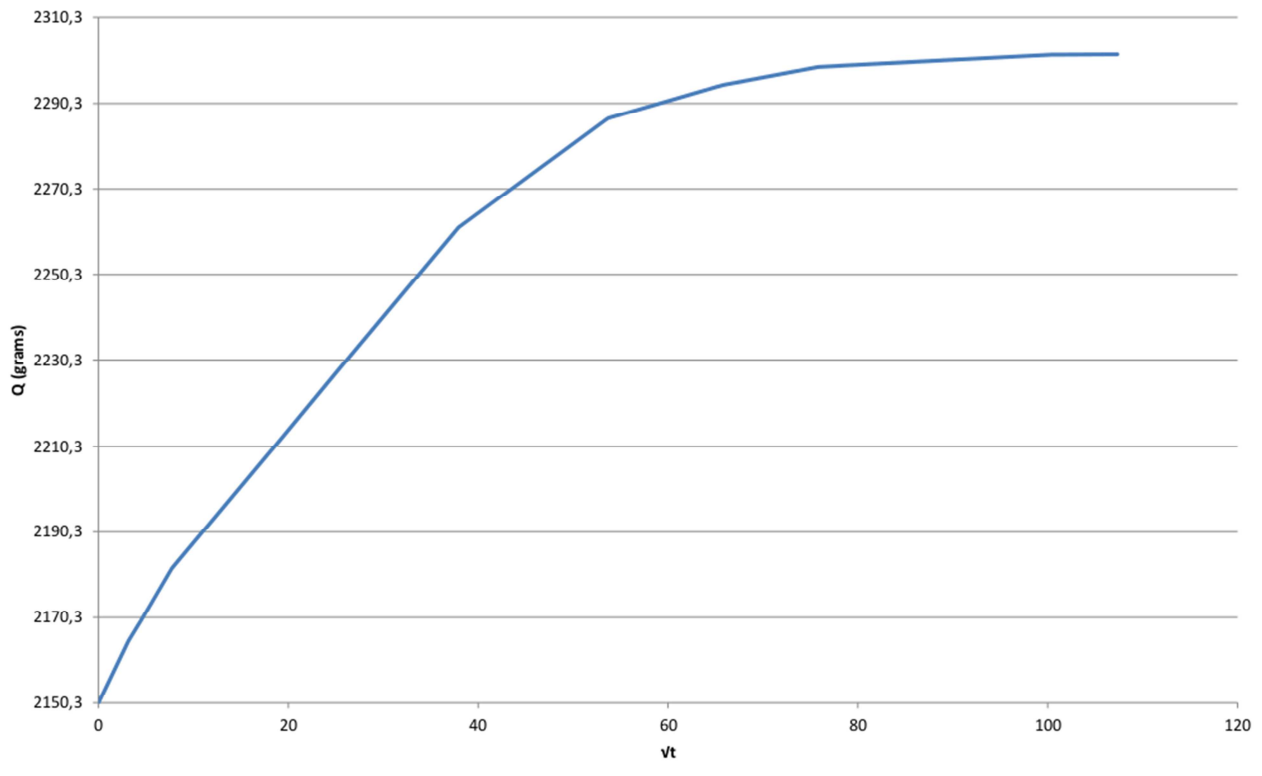
Corba de l'absorció d'aigua per capil·laritat. Sèrie B-6, Proveta 4



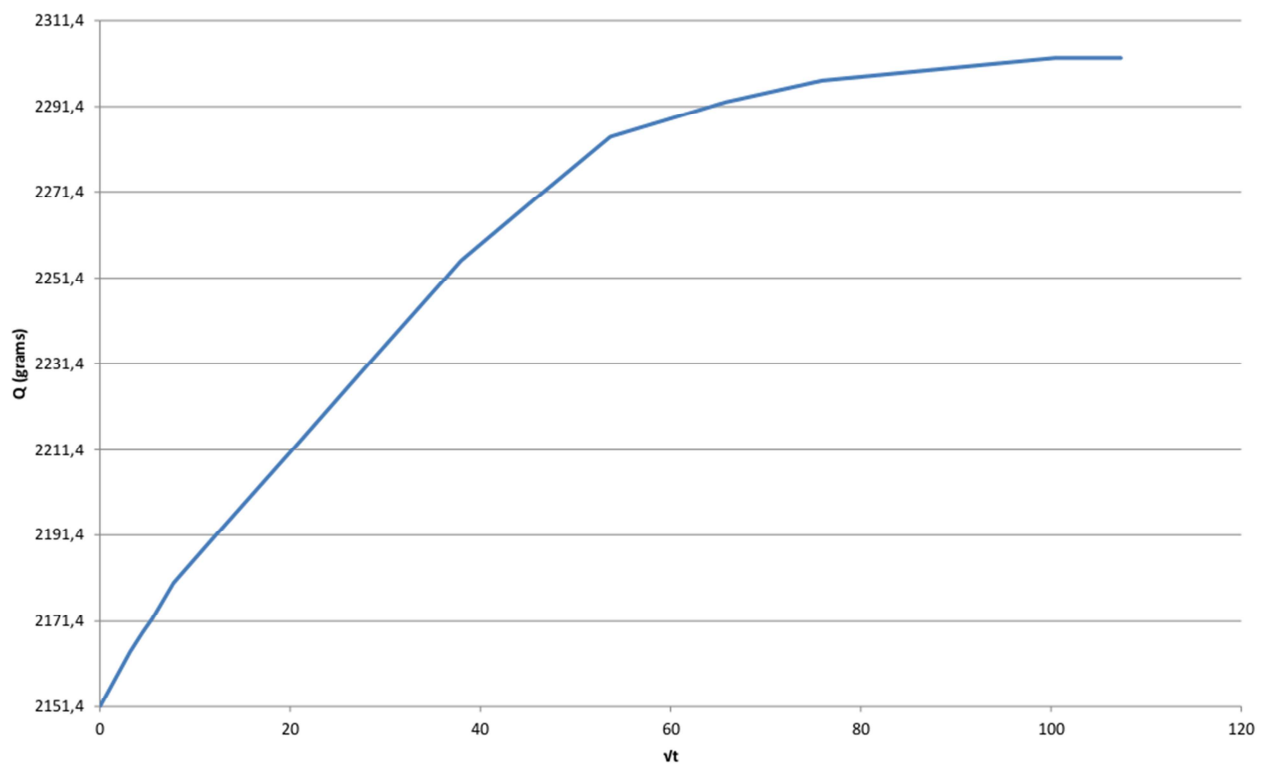
Corba de l'absorció d'aigua per capil·laritat. Sèrie B-6, Proveta 5



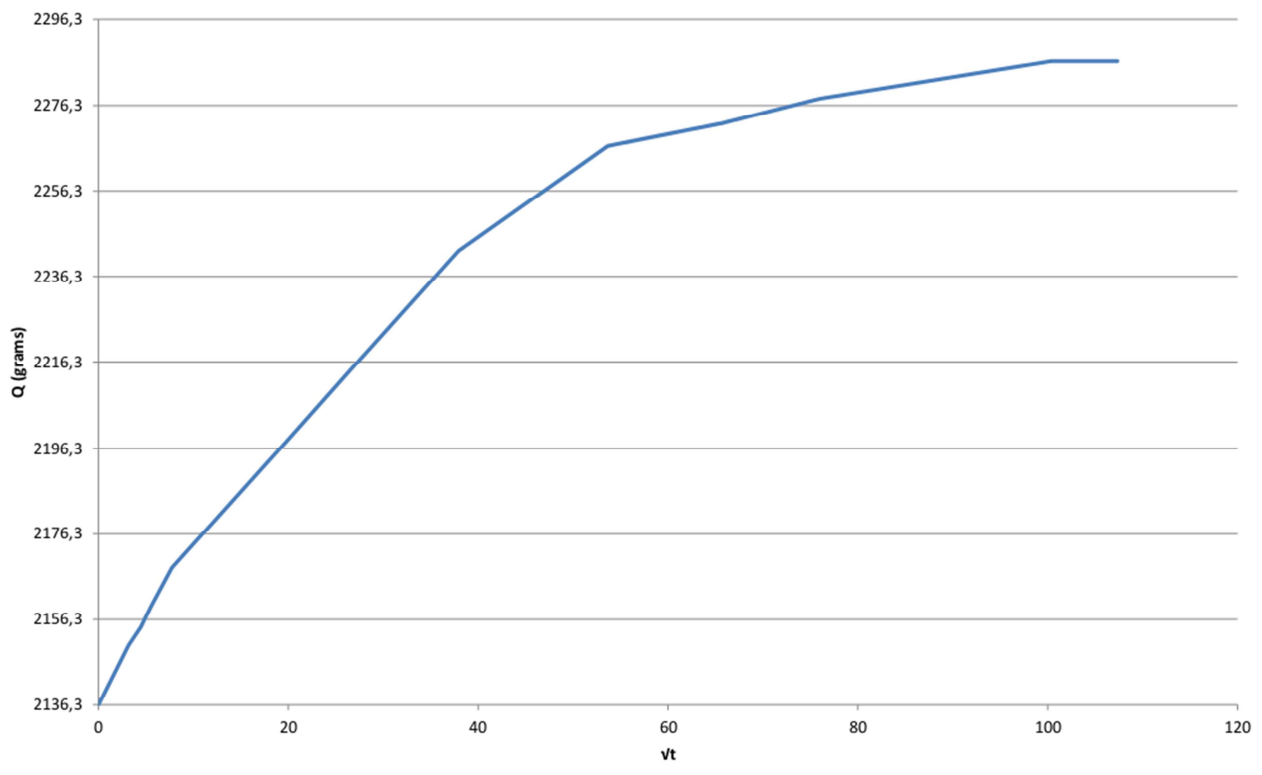
Corba de l'absorció d'aigua per capil·laritat. Sèrie B-8, Proveta 4



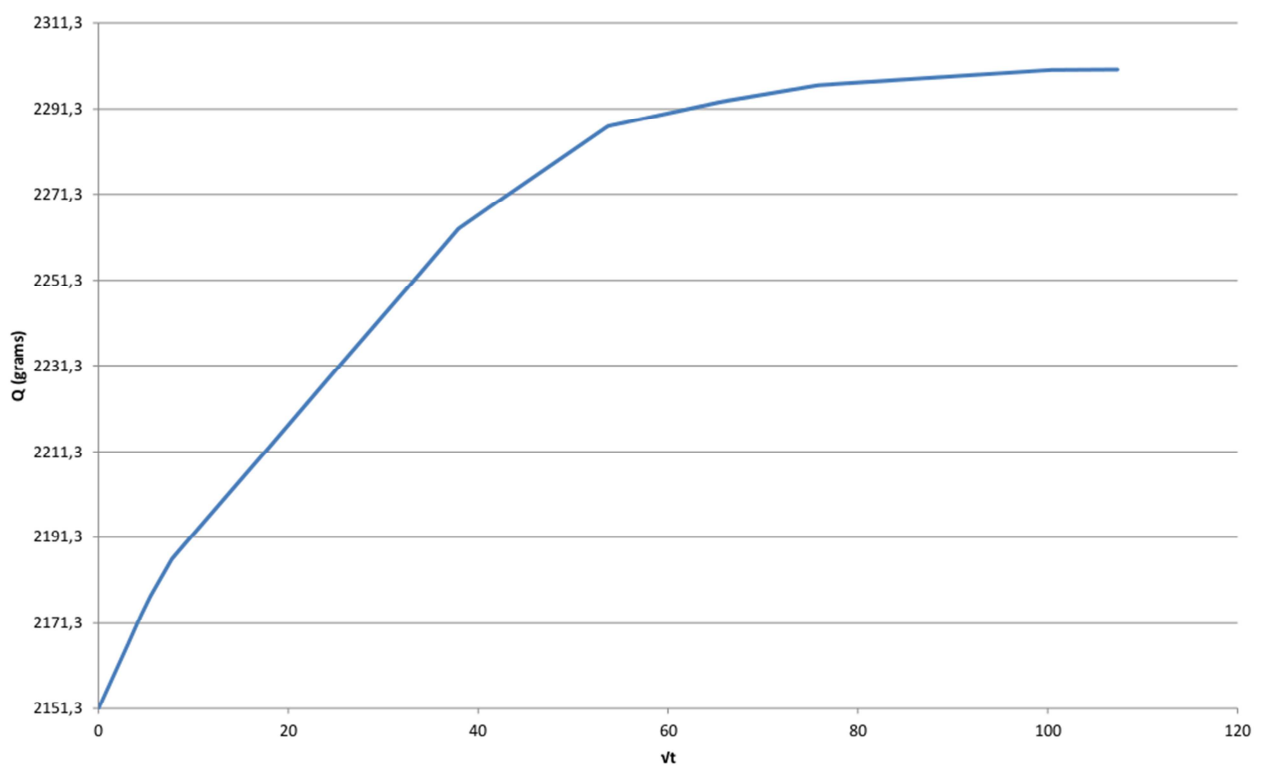
Corba de l'absorció d'aigua per capil·laritat. Sèrie B-8, Proveta 5



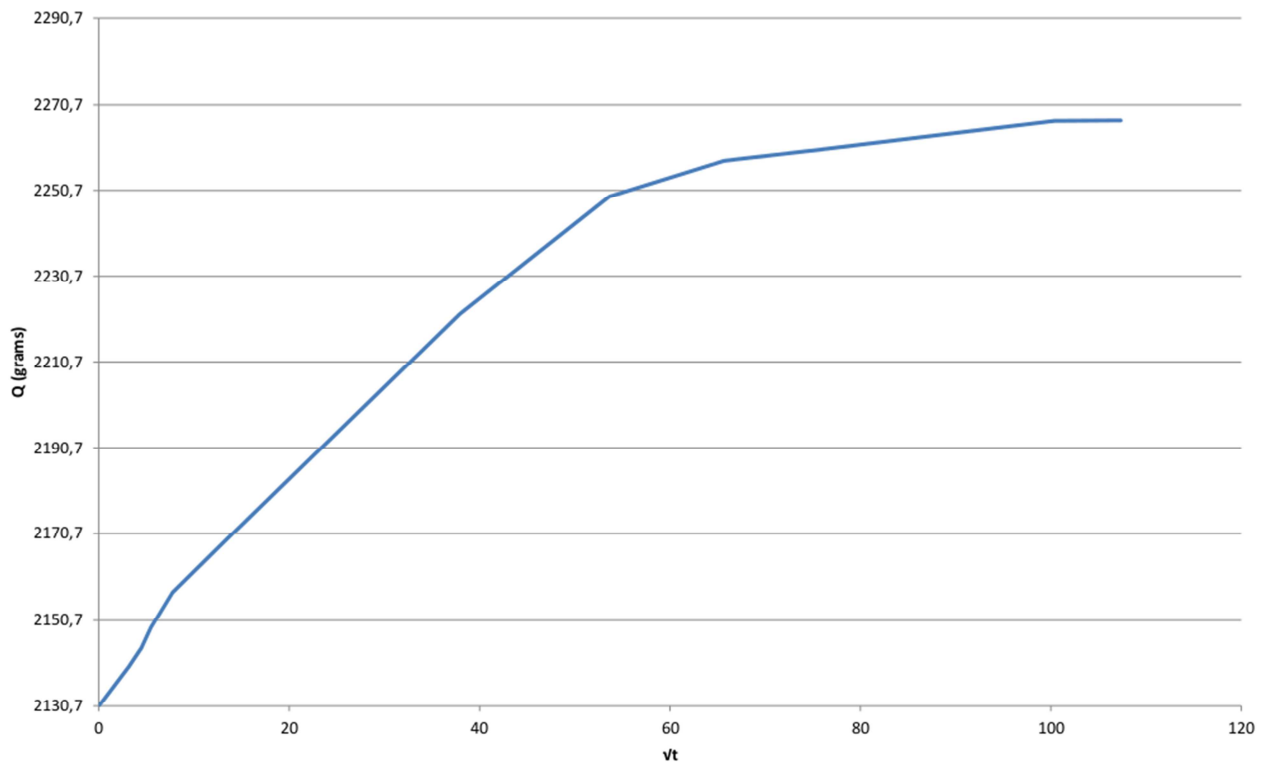
Corba de l'absorció d'aigua per capil·laritat. Sèrie B-10, Proveta 4



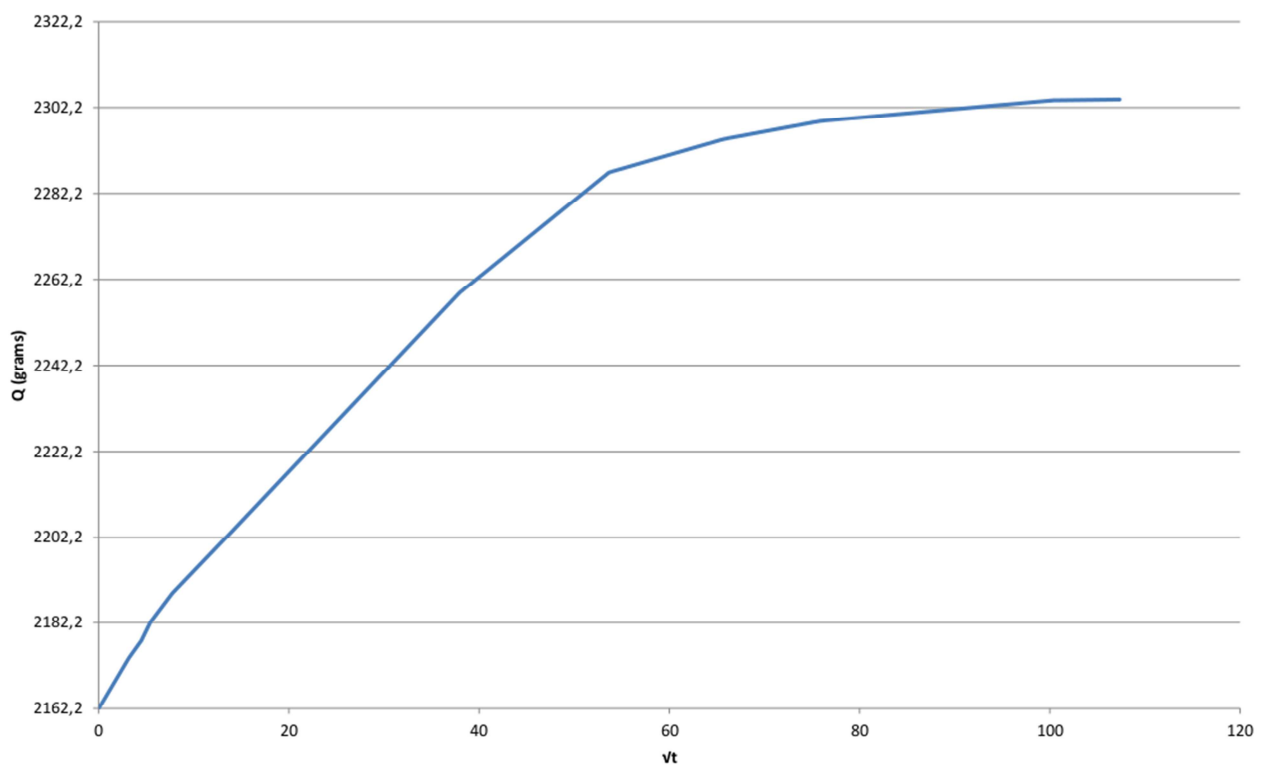
Corba de l'absorció d'aigua per capil·laritat. Sèrie B-10, Proveta 5



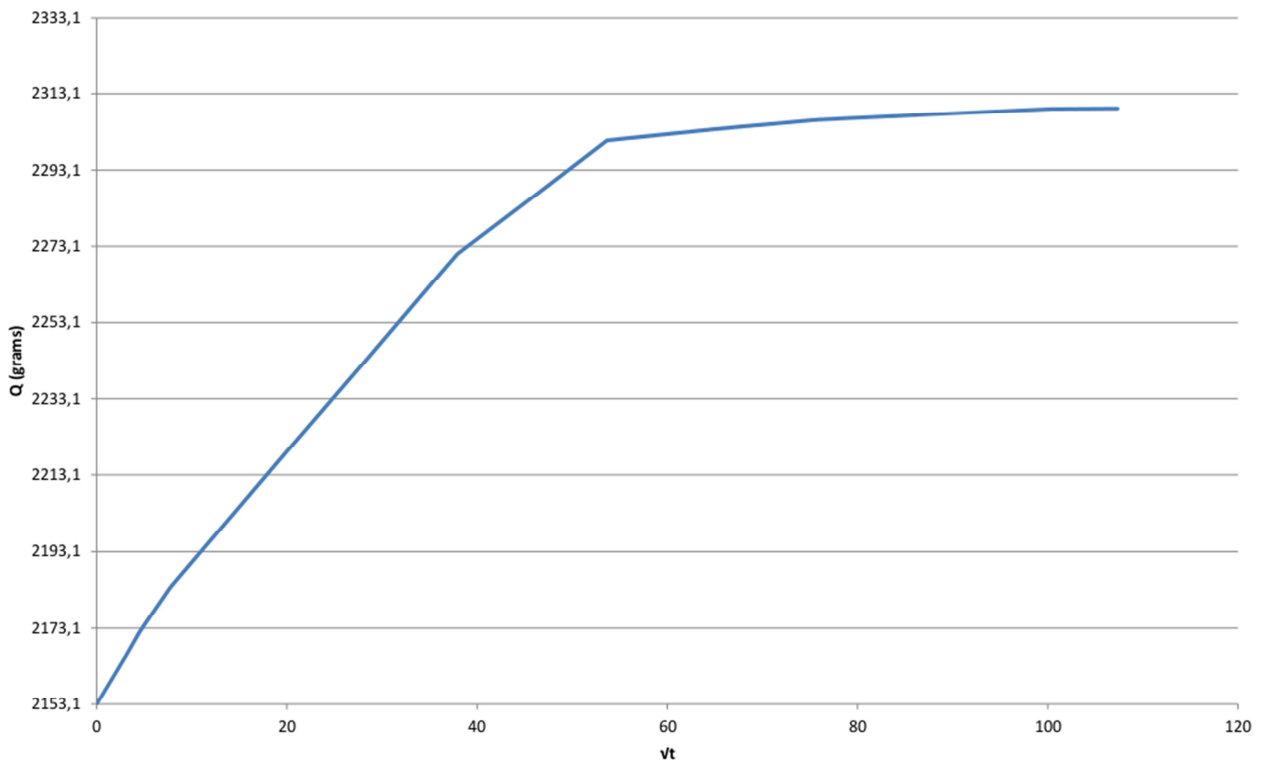
Corba de l'absorció d'aigua per capil·laritat. Sèrie C-2, Proveta 4



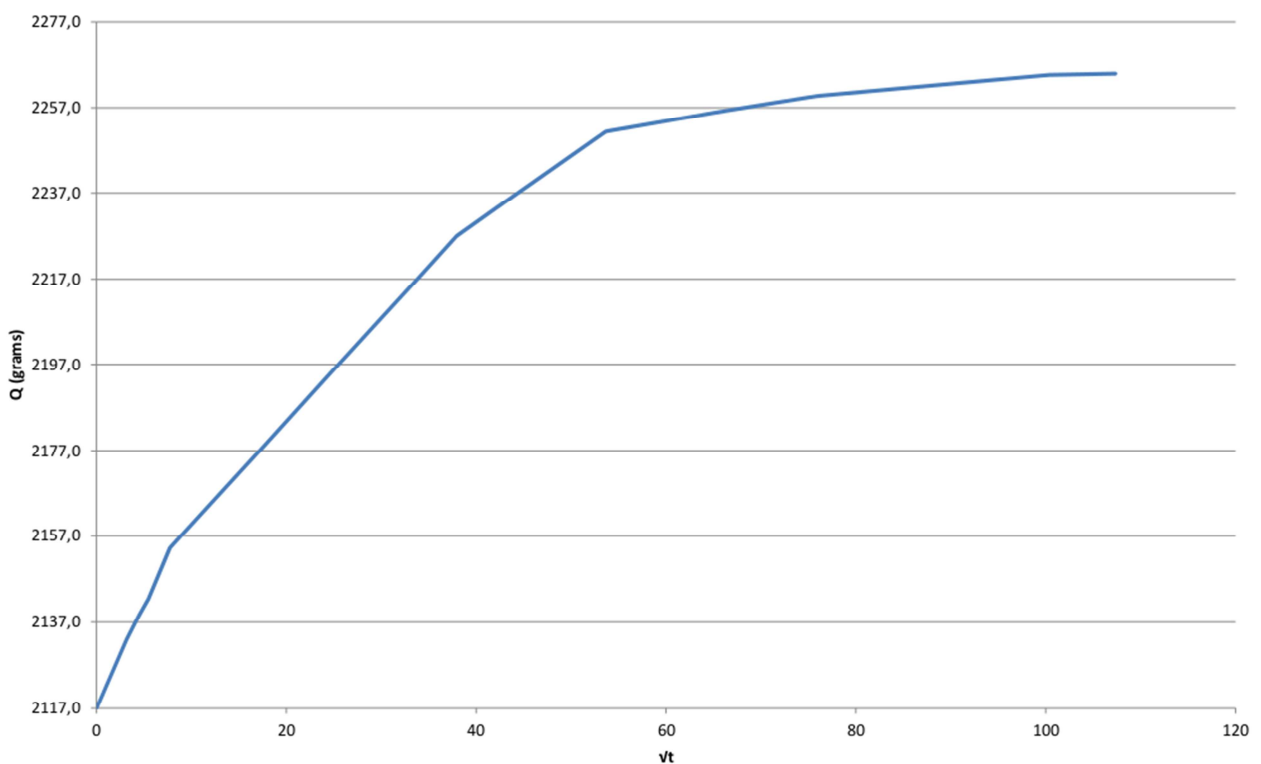
Corba de l'absorció d'aigua per capil·laritat. Sèrie C-2, Proveta 5



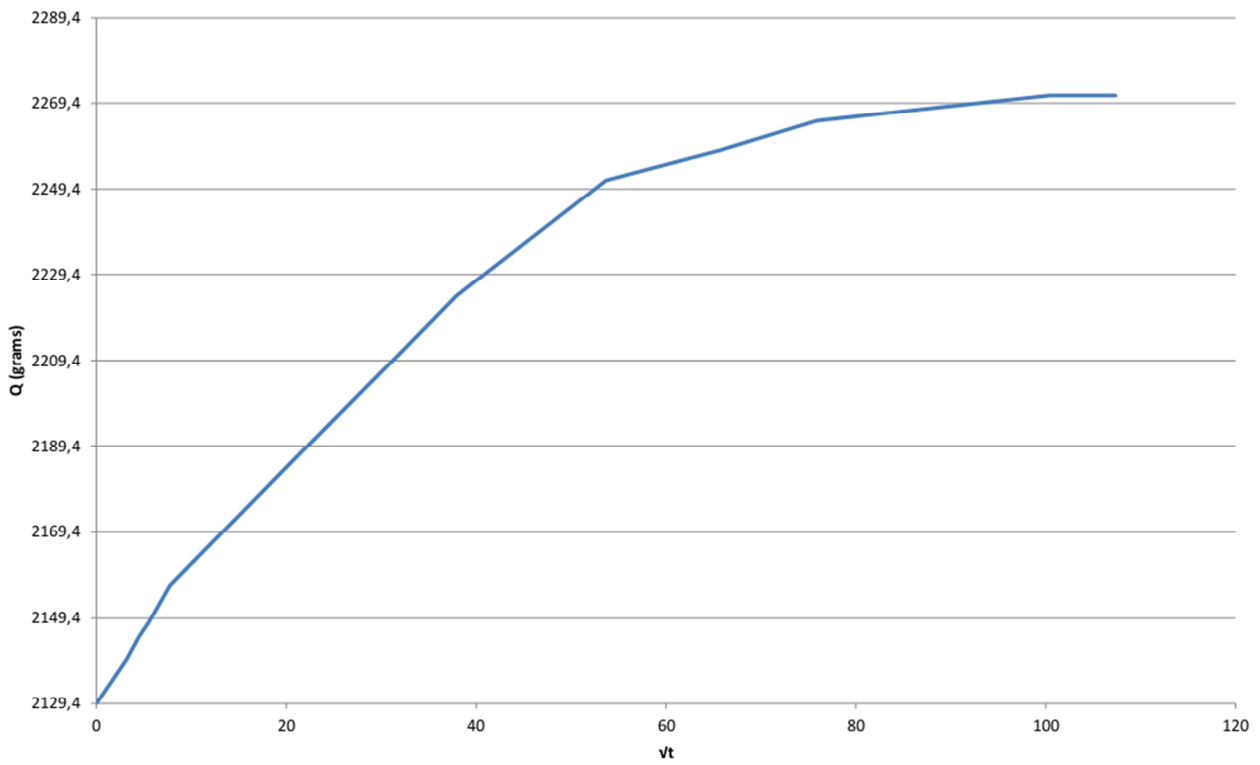
Corba de l'absorció d'aigua per capil·laritat. Sèrie C-4, Proveta 4



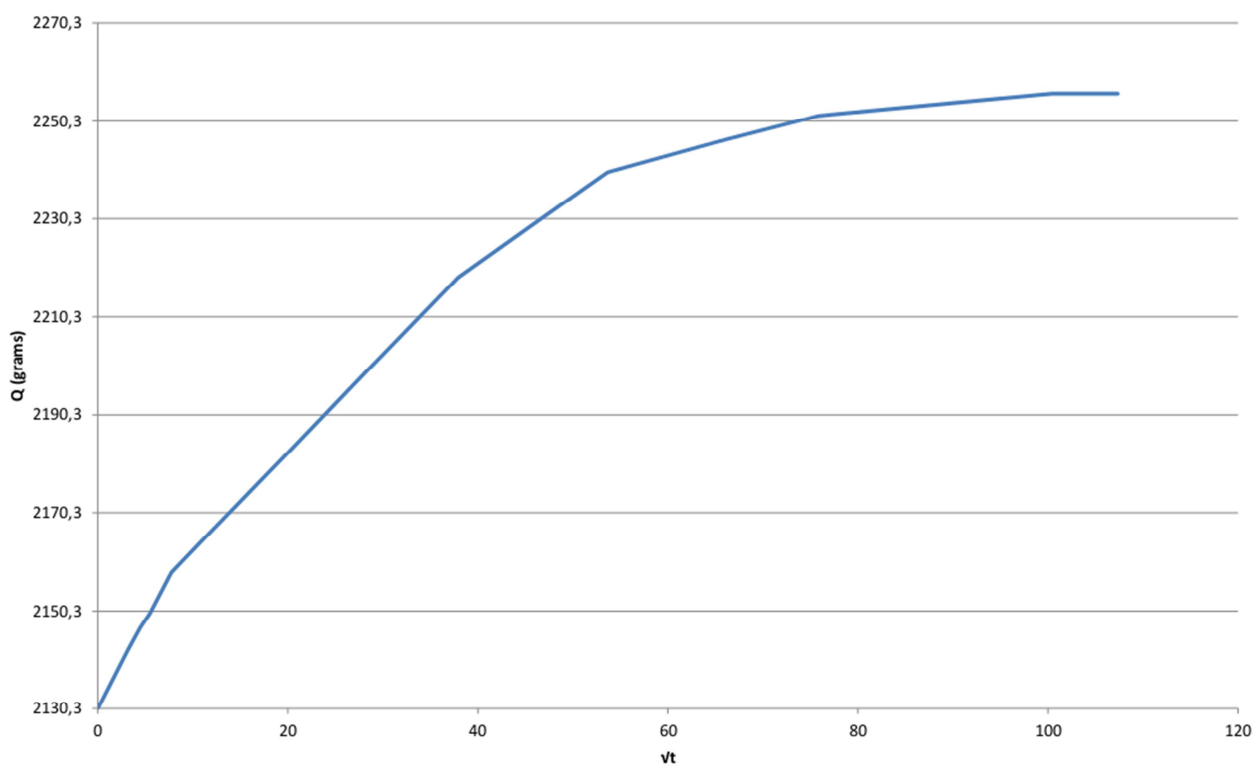
Corba de l'absorció d'aigua per capil·laritat. Sèrie C-4, Proveta 5



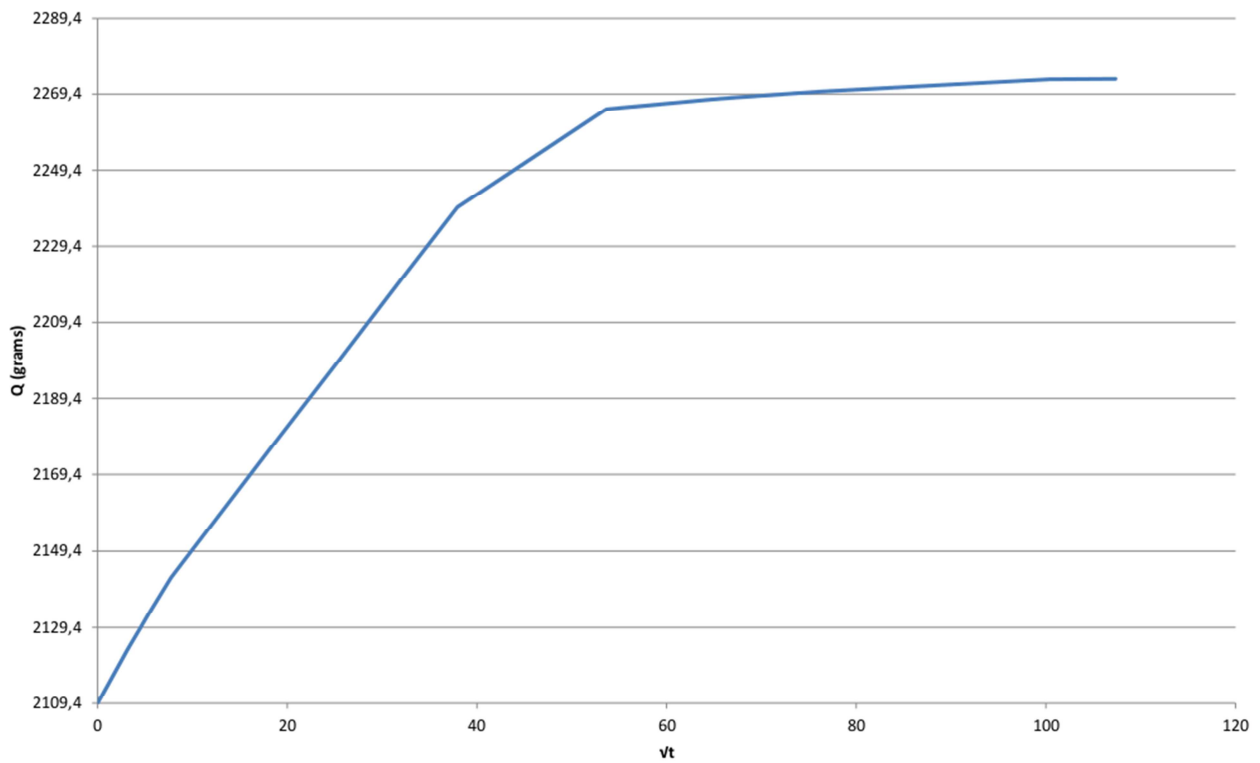
Corba de l'absorció d'aigua per capil·laritat. Sèrie C-6, Proveta 4



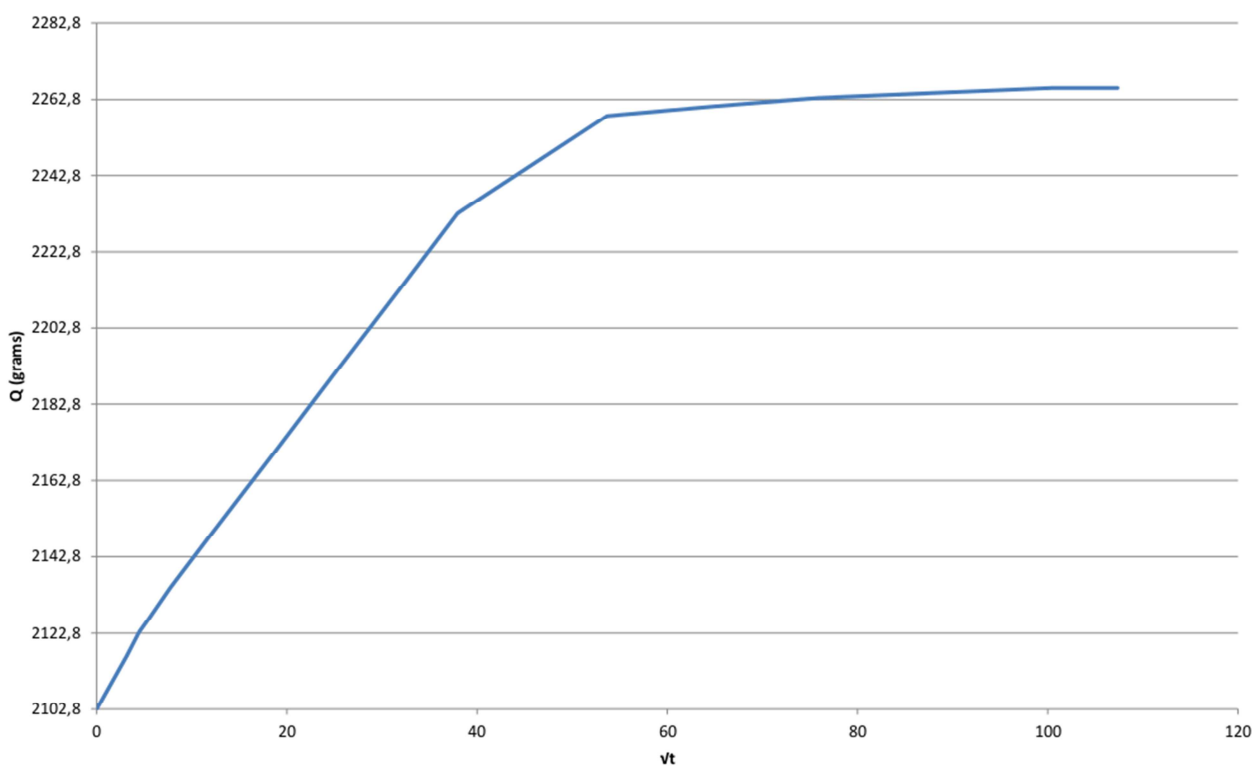
Corba de l'absorció d'aigua per capil·laritat. Sèrie C-6, Proveta 5



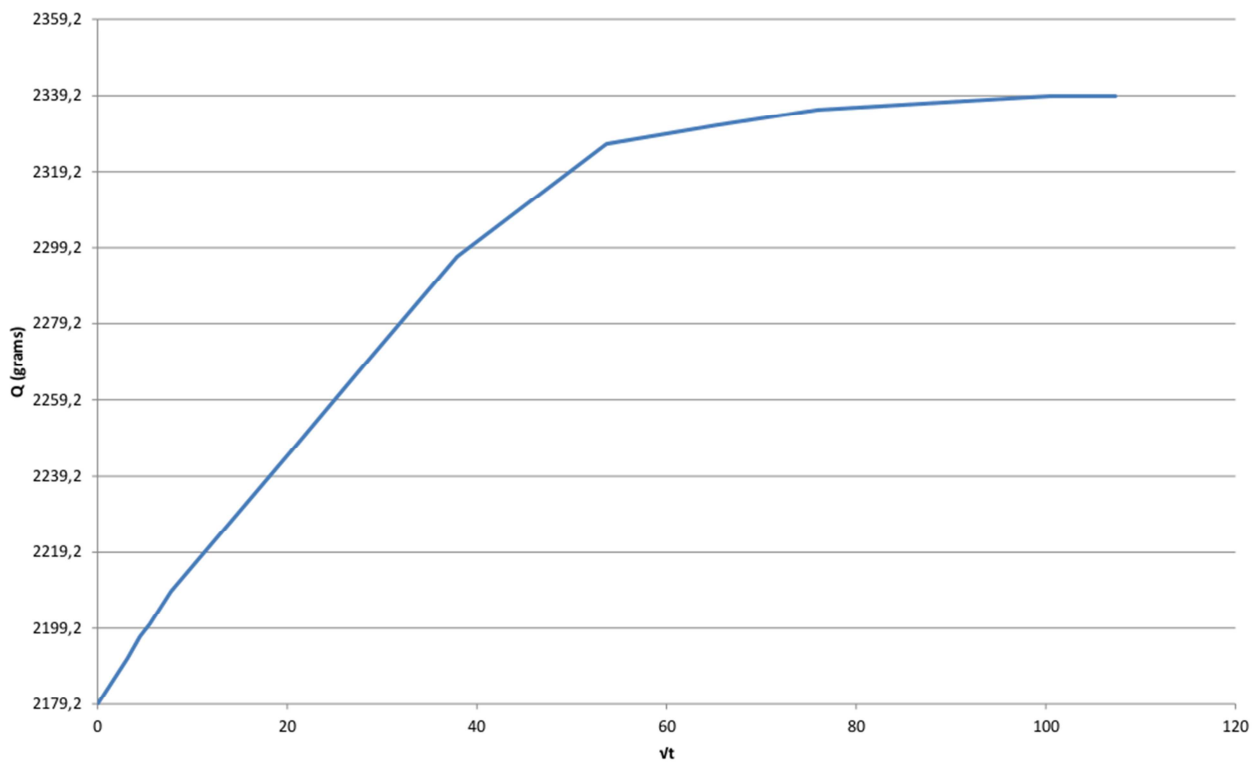
Corba de l'absorció d'aigua per capil·laritat. Sèrie C-8, Proveta 4



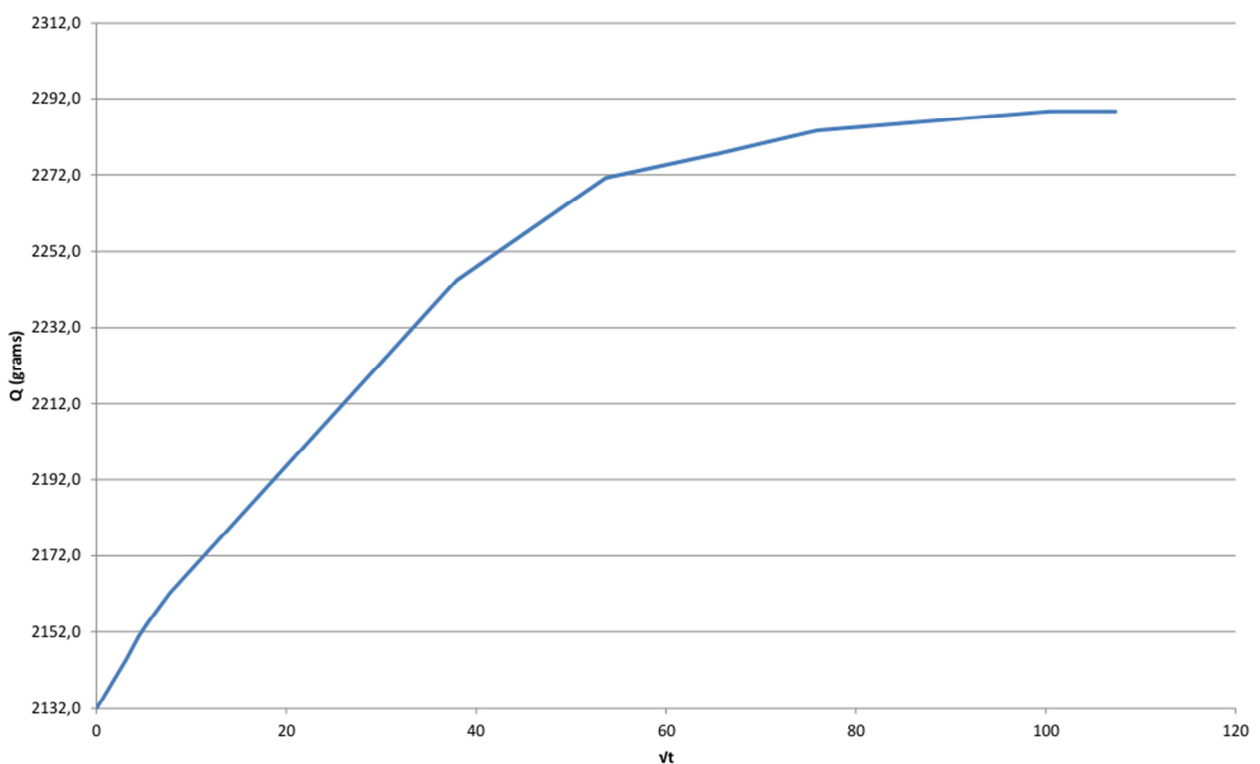
Corba de l'absorció d'aigua per capil·laritat. Sèrie C-8, Proveta 5



Corba de l'absorció d'aigua per capil·laritat. Sèrie C-10, Proveta 4



Corba de l'absorció d'aigua per capil·laritat. Sèrie C-10, Proveta 5



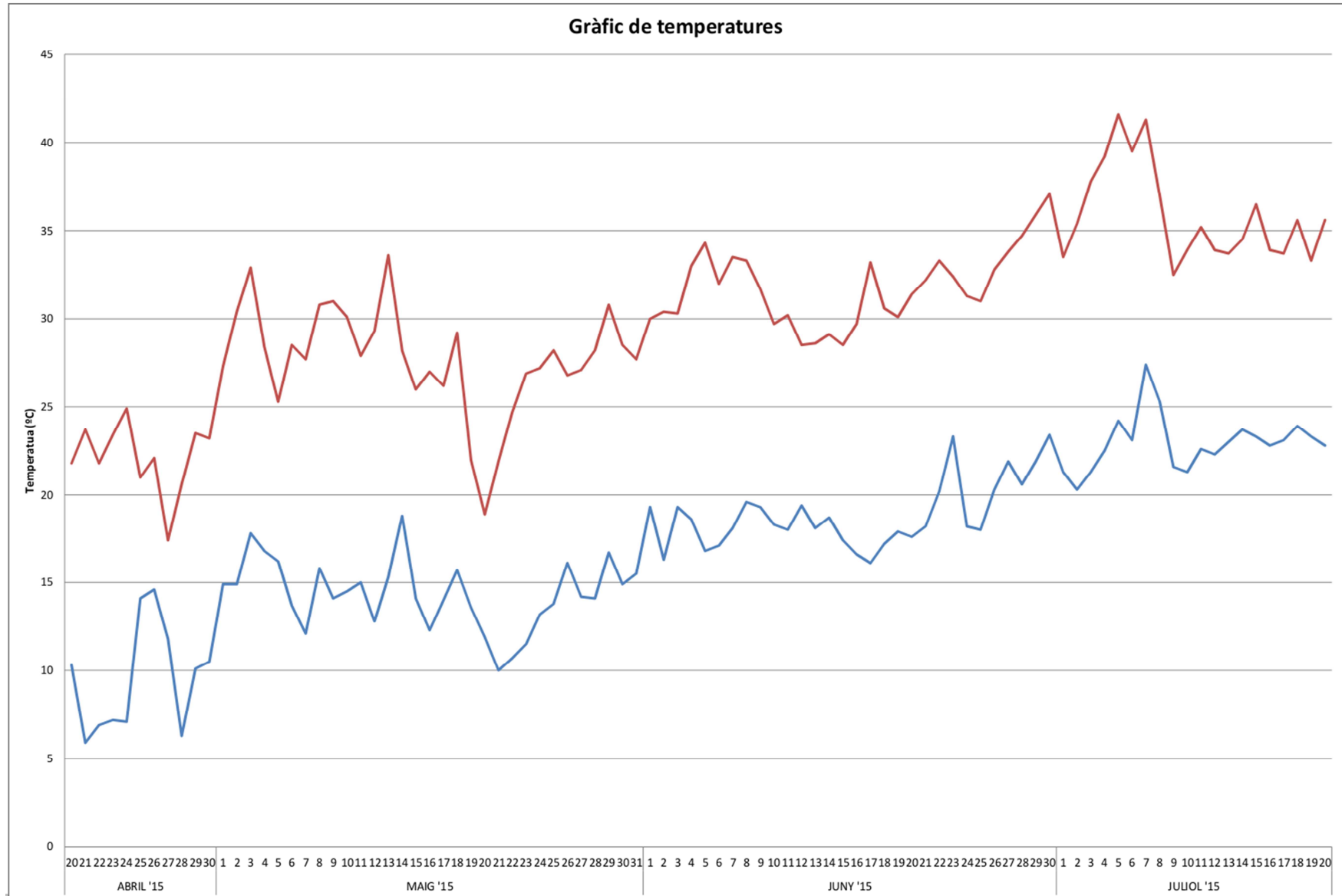
12.4. ANNEX 4: DETERMINACIÓ DE LA VELOCITAT DE PENETRACIÓ DE LA CARBONATACIÓ

Font	MESURA	UNITAT	ABRIL '15																																																													
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30																																
Estació meteorològica	Temperatura MÀx.	°C																																			21,8	23,7	21,8	23,4	24,9	21	22,1	17,4	20,6	23,5	23,2																	
	Temperatura MÍN.	°C																																																10,3	5,9	6,9	7,2	7,1	14,1	14,6	11,8	6,3	10,1	10,5				
	Humitat Relativa MÀx.	%																																																			88	91	86	86	76	87	92	94	72	86	88	
	Humitat Relativa MÍN.	%																																																					42	35	38	50	45	61	53	74	51	37

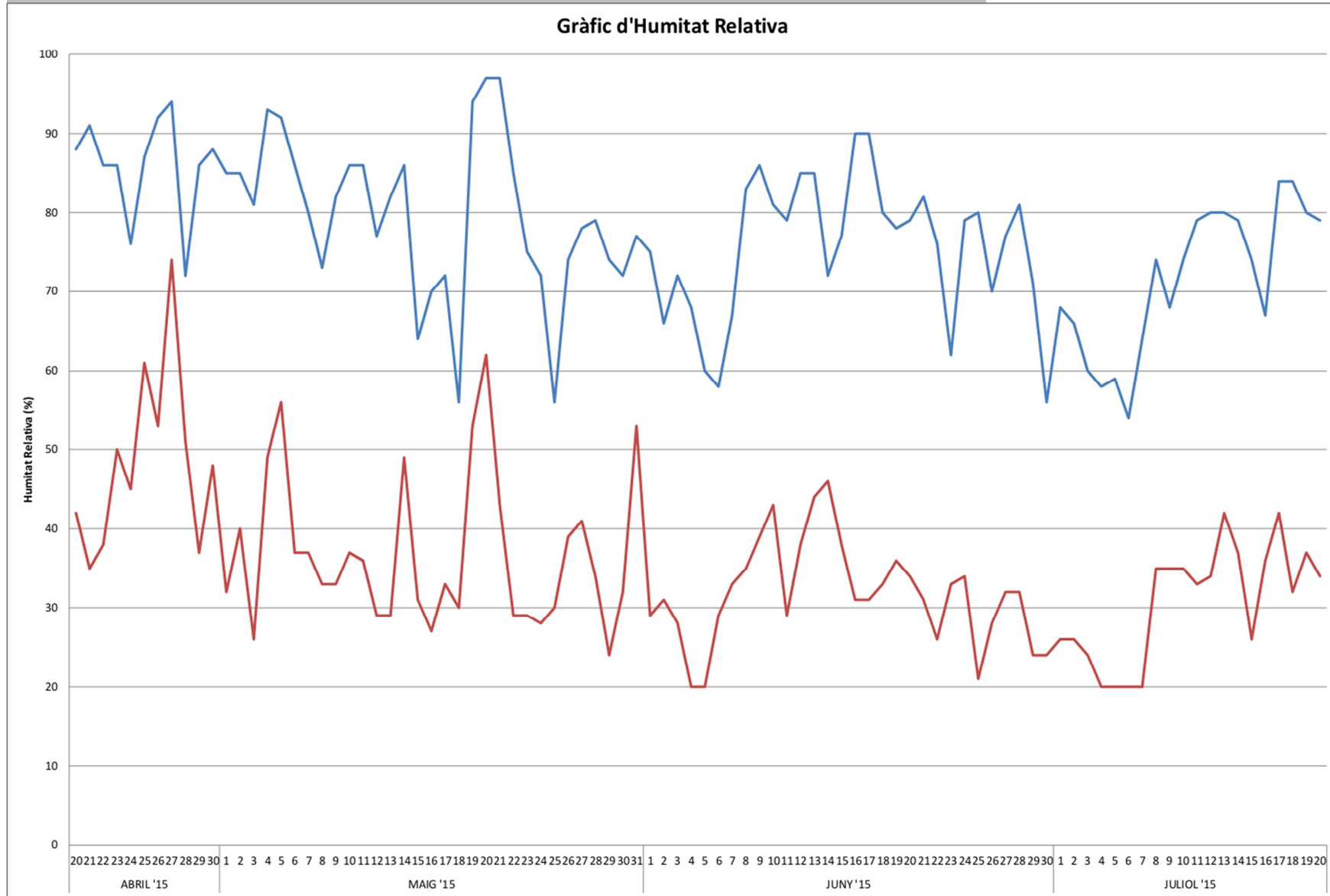
Font	MESURA	UNITAT	MAIG '15																														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Estació meteorològica	Temperatura MÀx.	°C	27,3	30,4	32,9	28,4	25,3	28,5	27,7	30,8	31,0	30,1	27,9	29,3	33,6	28,2	26,0	27,0	26,2	29,2	22,0	18,9	21,9	24,7	26,9	27,2	28,2	26,8	27,1	28,2	30,8	28,5	27,7
	Temperatura MÍN.	°C	14,9	14,9	17,8	16,8	16,2	13,7	12,1	15,8	14,1	14,5	15,0	12,8	15,3	18,8	14,1	12,3	14,0	15,7	13,6	11,9	10,0	10,7	11,5	13,2	13,8	16,1	14,2	14,1	16,7	14,9	15,5
	Humitat Relativa MÀx.	%	85	85	81	93	92	86	80	73	82	86	86	77	82	86	64	70	72	56	94	97	97	85	75	72	56	74	78	79	74	72	77
	Humitat Relativa MÍN.	%	32	40	26	49	56	37	37	33	33	37	36	29	29	49	31	27	33	30	53	62	43	29	29	28	30	39	41	34	24	32	53

Font	MESURA	UNITAT	JUNY '15																													
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Estació meteorològica	Temperatura MÀx.	°C	30,0	30,4	30,3	33,0	34,3	32,0	33,5	33,3	31,7	29,7	30,2	28,5	28,6	29,1	28,5	29,7	33,2	30,6	30,1	31,4	32,2	33,3	32,4	31,3	31,0	32,8	33,8	34,7	35,9	37,1
	Temperatura MÍN.	°C	19,3	16,3	19,3	18,6	16,8	17,1	18,1	19,6	19,3	18,3	18,0	19,4	18,1	18,7	17,4	16,6	16,1	17,2	17,9	17,6	18,2	20,2	23,3	18,2	18,0	20,3	21,9	20,6	21,9	23,4
	Humitat Relativa MÀx.	%	75	66	72	68	60	58	67	83	86	81	79	85	85	72	77	90	90	80	78	79	82	76	62	79	80	70	77	81	71	56
	Humitat Relativa MÍN.	%	29	31	28	20	20	29	33	35	39	43	29	38	44	46	38	31	31	33	36	34	31	26	33	34	21	28	32	32	24	24

Font	MESURA	UNITAT	JULIOL '15																			
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Estació meteorològica	Temperatura MÀx.	°C	33,5	35,4	37,8	39,2	41,6	39,5	41,3	37,0	32,5	33,9	35,2	33,9	33,7	34,5	36,5	33,9	33,7	35,6	33,3	35,6
	Temperatura MÍN.	°C	21,3	20,3	21,3	22,5	24,2	23,1	27,4	25,3	21,6	21,3	22,6	22,3	23,0	23,7	23,3	22,8	23,1	23,9	23,3	22,8
	Humitat Relativa MÀx.	%	68	66	60	58	59	54	64	74	68	74	79	80	80	79	74	67	84	84	80	79
	Humitat Relativa MÍN.	%	26	26	24	20	20	20	20	35	35	35	33	34	42	37	26	36	42	32	37	34



12. ANNEXOS



**UTILITZACIÓ DE VIDRE RECICLAT COM A SUBSTITUT DE LA SORRA
EN L'ELABORACIÓ DE FORMIGONS**

12. ANNEXOS

Sèrie	Tipus de vidre	Meitat	% de vidre com a substitut de la sorra	Penetració de la carbonatació (mm)															Mitjana de cada mostra mm	Mitjana de cada dosificació mm	Velocitat de penetració de la carbonatació mm/any½	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15				
BLANC	-	1	0	6	6	7	7	6	7	6	7	8	7	7	7	6	7	8	6,80	6,87	13,73	
		2		8	7	6	7	7	6	7	6	6	7	7	7	7	8	8				
A	Pols	1	2	4	5	5	5	5	5	5	6	5	6	5	6	4	5	6	5,13	5,40	10,80	
		2		5	5	6	5	5	6	6	7	6	5	6	5	5	6	7				
		1	4	5	4	4	4	4	6	4	4	4	4	5	5	5	6	6	4,67	4,77	9,53	
		2		6	6	4	6	5	5	4	5	5	4	5	4	4	5	5				
		1	6	5	5	5	6	6	6	5	5	5	5	5	6	5	5	5	5,27	5,00	10,00	
		2		5	5	5	5	4	4	4	5	5	5	5	5	5	4	4				
		1	8	6	6	6	7	7	7	7	5	5	5	5	6	6	6	7	6,07	6,00	12,00	
		2		7	6	6	7	6	7	7	6	6	5	5	5	5	5	6				
		1	10	6	6	6	6	7	6	7	6	6	5	6	6	5	6	5	5,93	6,07	12,13	
		2		6	6	7	5	5	6	6	6	7	7	6	6	6	6	8				
		B	Mòlt de mida inferior a 4 mm	1	2	5	5	5	5	7	6	6	5	5	6	6	6	6	6	5,67	5,57	11,13
				2		6	6	6	6	6	6	6	6	5	6	5	4	4	4			
1	4			6	5	5	6	6	5	5	5	5	6	6	5	5	6	5,40	5,23	10,47		
2				7	6	6	7	6	5	5	4	5	4	4	4	5	4				4	
1	6			6	6	5	5	5	5	6	6	6	6	6	5	6	5	5	5,53	5,73	11,47	
2				5	8	7	6	6	6	6	5	5	5	6	6	6	6	6				
1	8			6	6	6	6	6	5	6	7	6	6	6	7	7	7	7	6,27	5,93	11,87	
2				5	6	5	6	5	6	6	7	5	4	5	5	8	6	5				
1	10			6	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	7	7	6	5	5,73	5,47	10,93	
2				5	4	6	6	5	5	6	6	6	6	5	5	5	4	4				
C	Mòlt de mida entre 4 i 8 mm			1	2	7	6	6	8	8	7	7	7	5	5	5	6	6	5	6,27	6,27	12,53
				2		6	6	6	6	5	6	6	6	8	6	8	7	6	6			
		1	4	6	6	7	7	6	6	6	6	5	5	6	7	7	6	6	6,13	6,00	12,00	
		2		6	7	6	6	6	5	5	5	5	7	6	6	6	6	6				
		1	6	5	7	8	6	5	5	4	3	3	4	6	5	5	4	4	4,93	4,83	9,67	
		2		5	5	6	8	7	3	4	4	4	3	4	5	5	5	3				
		1	8	8	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6	5	6	5	6,27	5,83	11,67	
		2		5	5	4	4	5	5	6	6	6	6	6	6	5	6	6				
		1	10	4	5	5	5	5	6	6	5	5	5	5	6	6	5	6	5,27	5,33	10,67	
		2		5	6	5	5	5	5	5	6	6	6	5	6	6	5	5				

BLANC



A-2



A-4



A-6



A-8



A-10



B-2



B-4



B-6



B-8



B-10



C-2



C-4



C-6



C-8

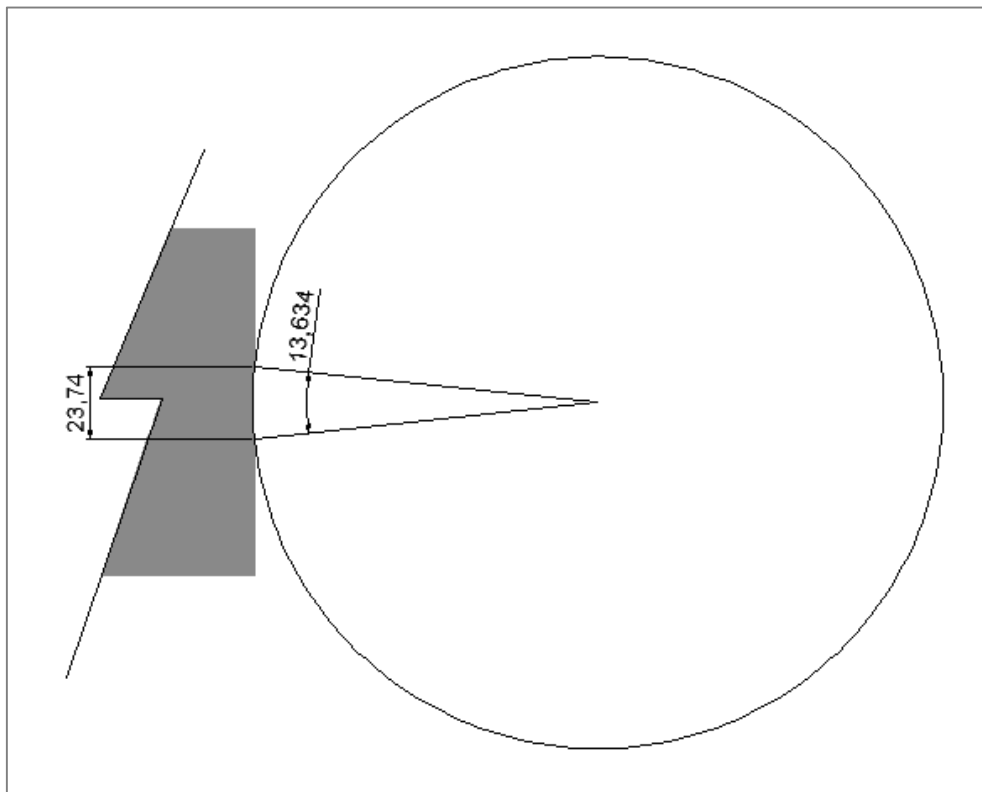


C-10

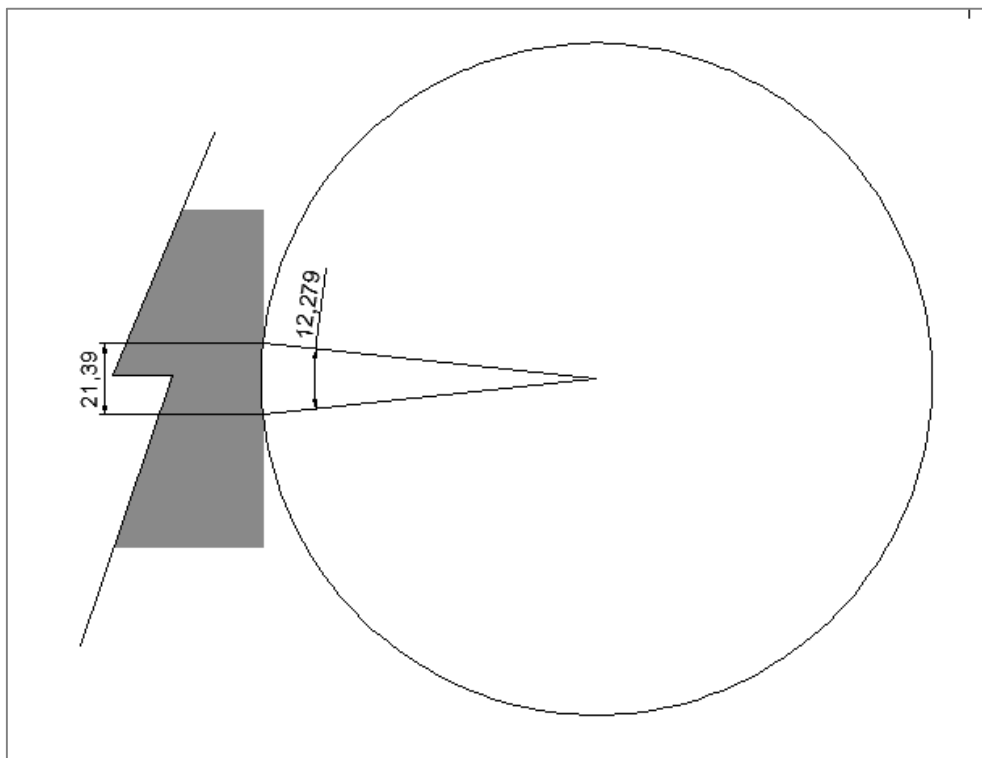
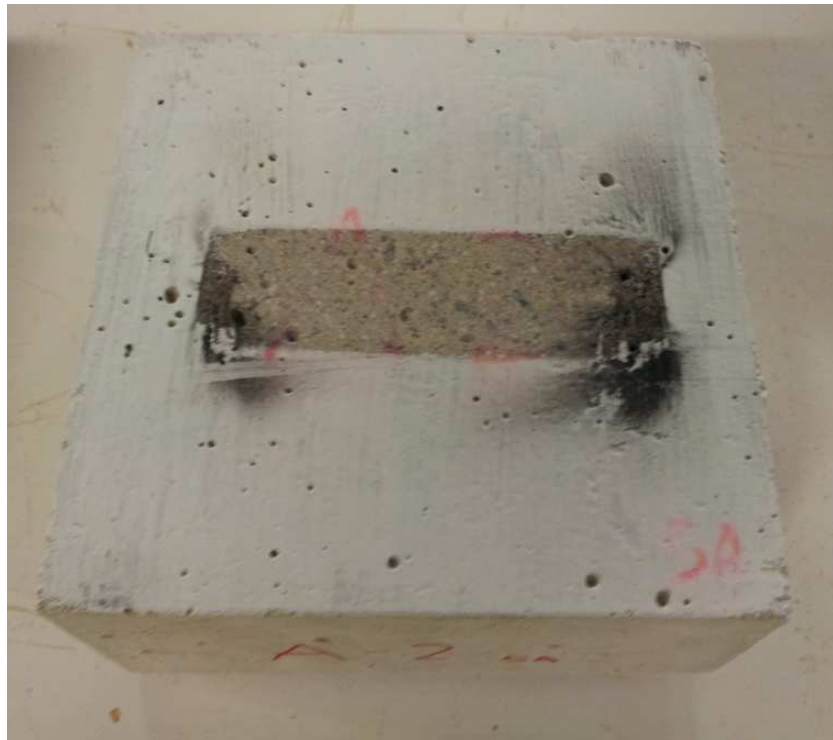


12.5. ANNEX 5: DETERMINACIÓ DE LA RESISTÈNCIA A L'ABRASIÓ PROFUNDA

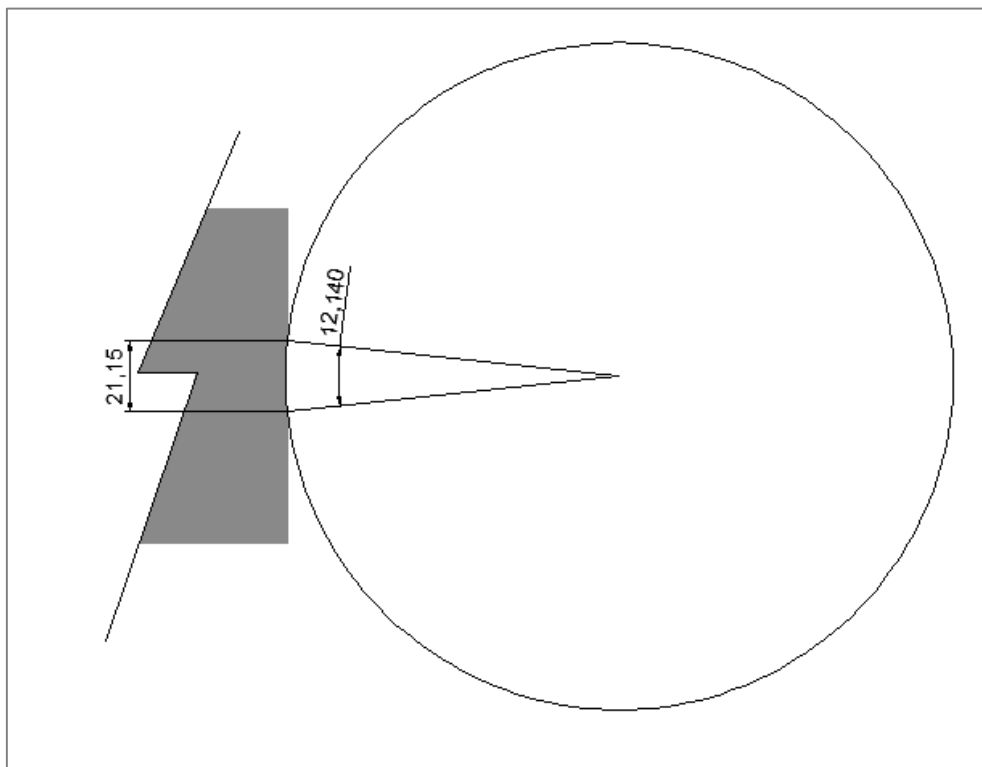
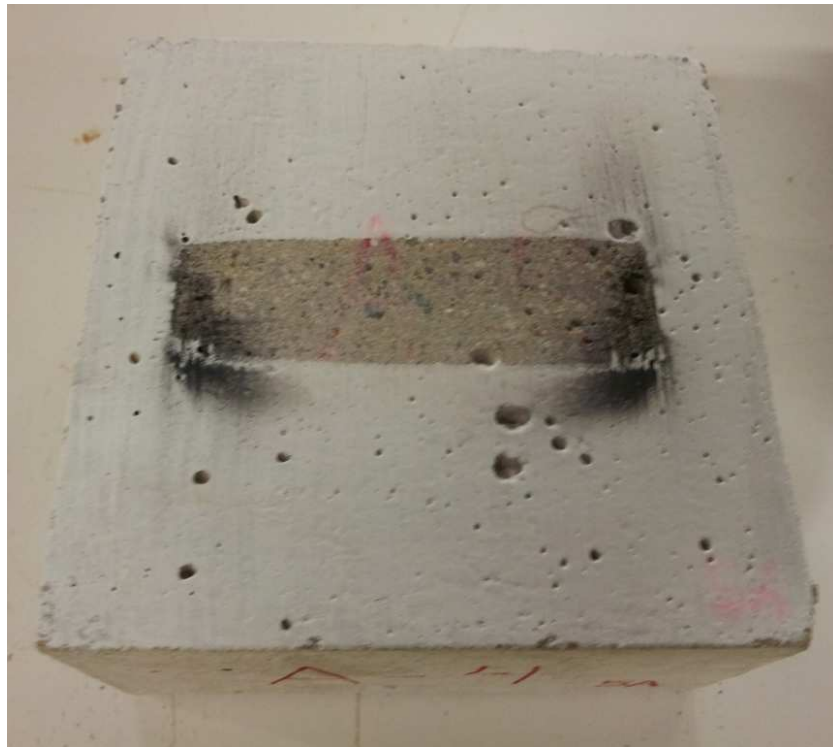
BLANC



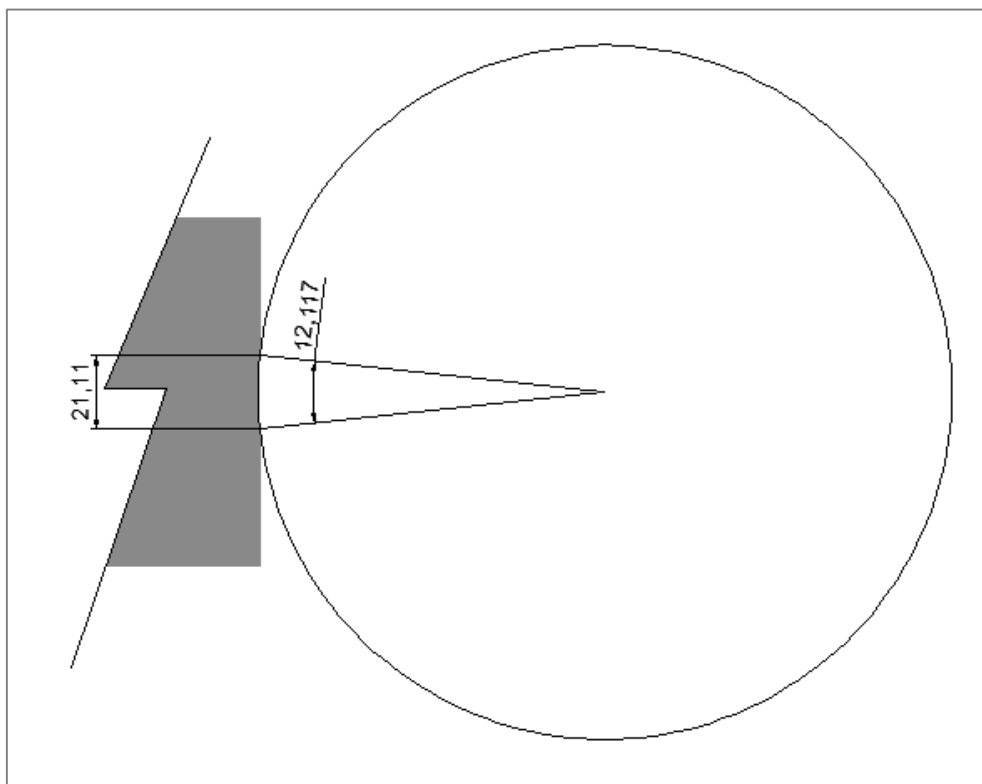
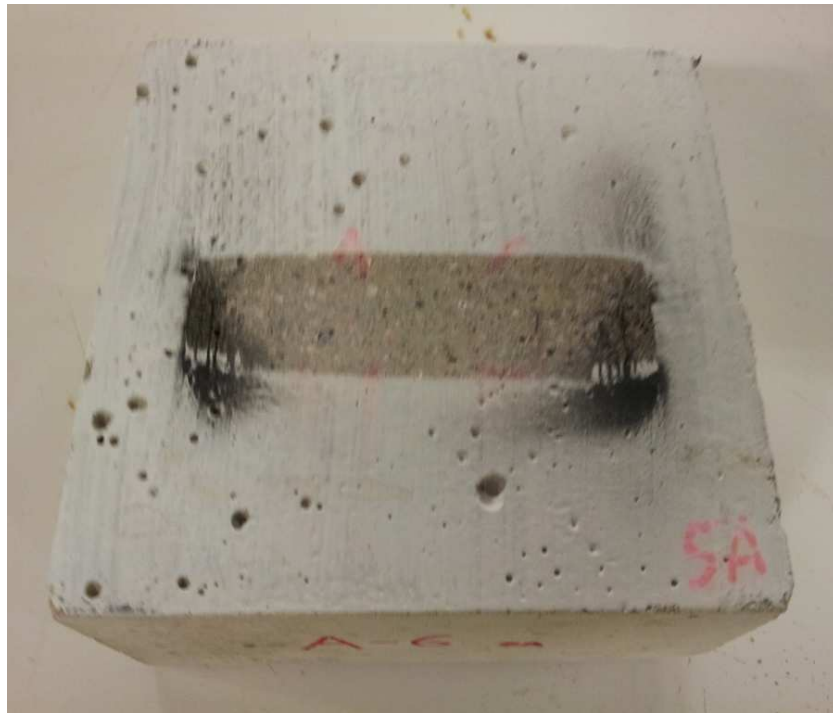
A-2



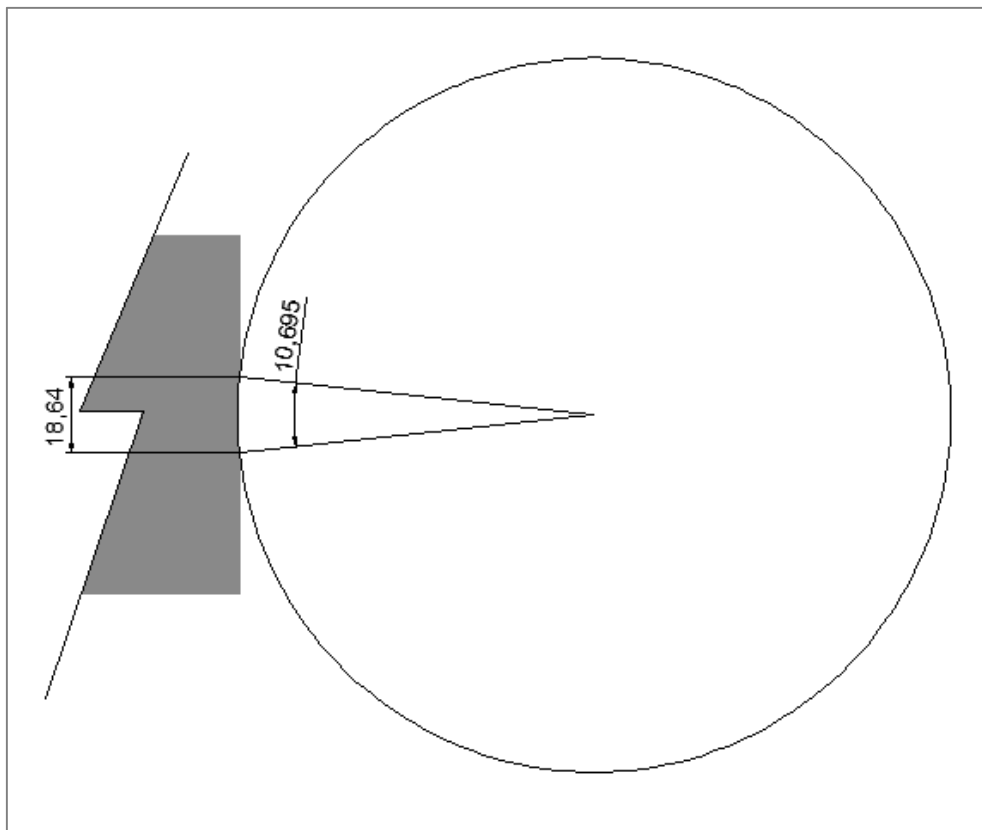
A-4



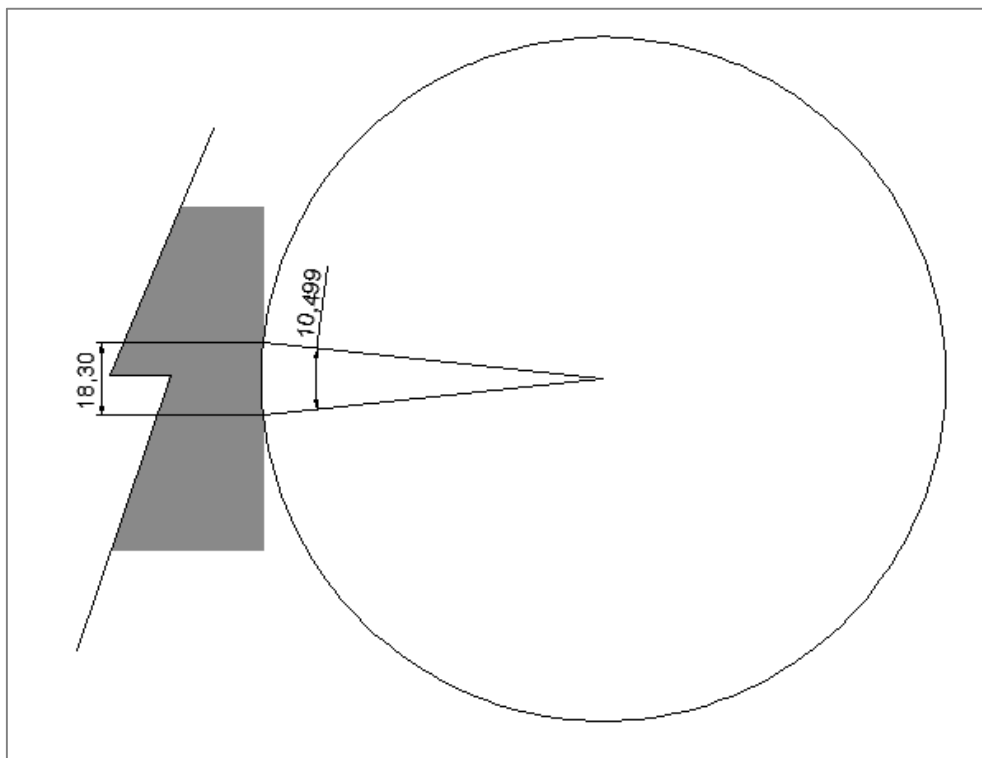
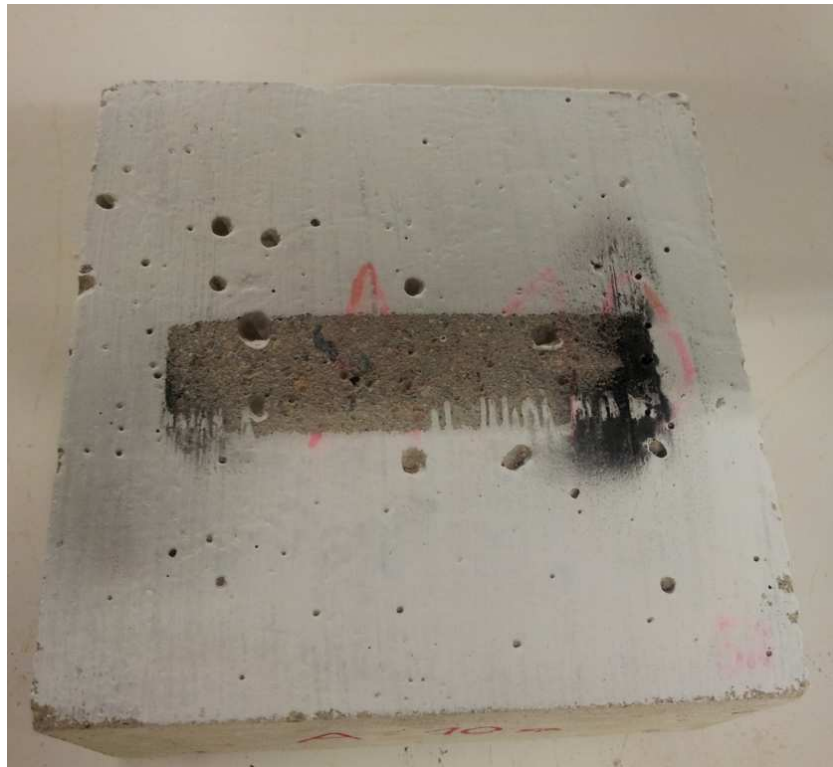
A-6



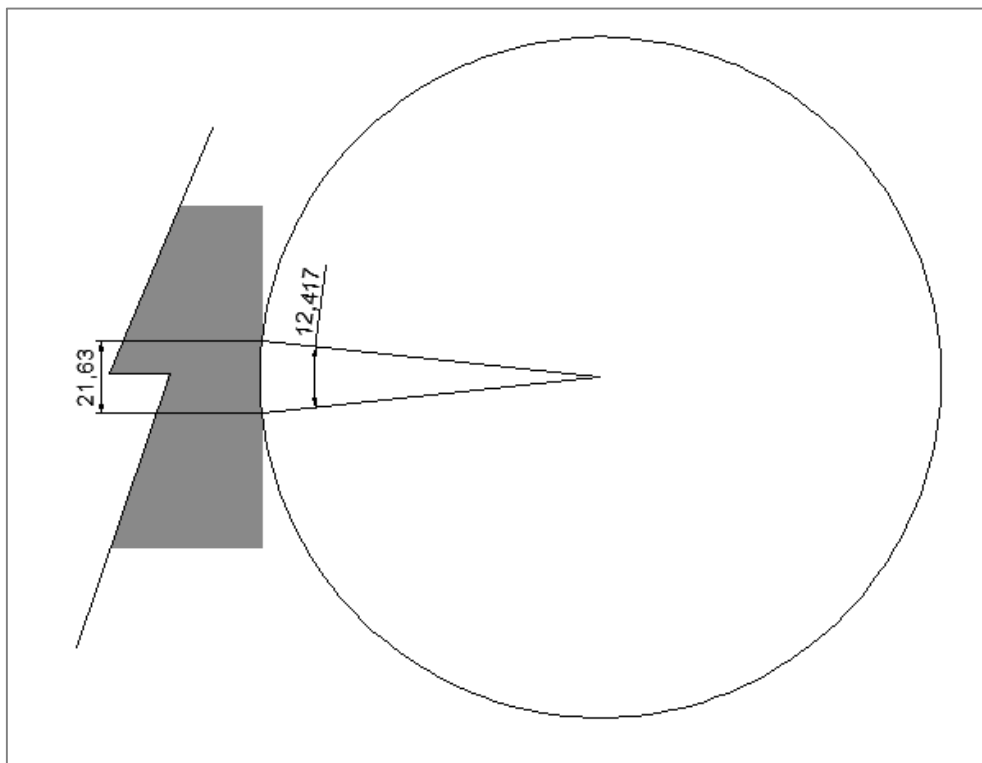
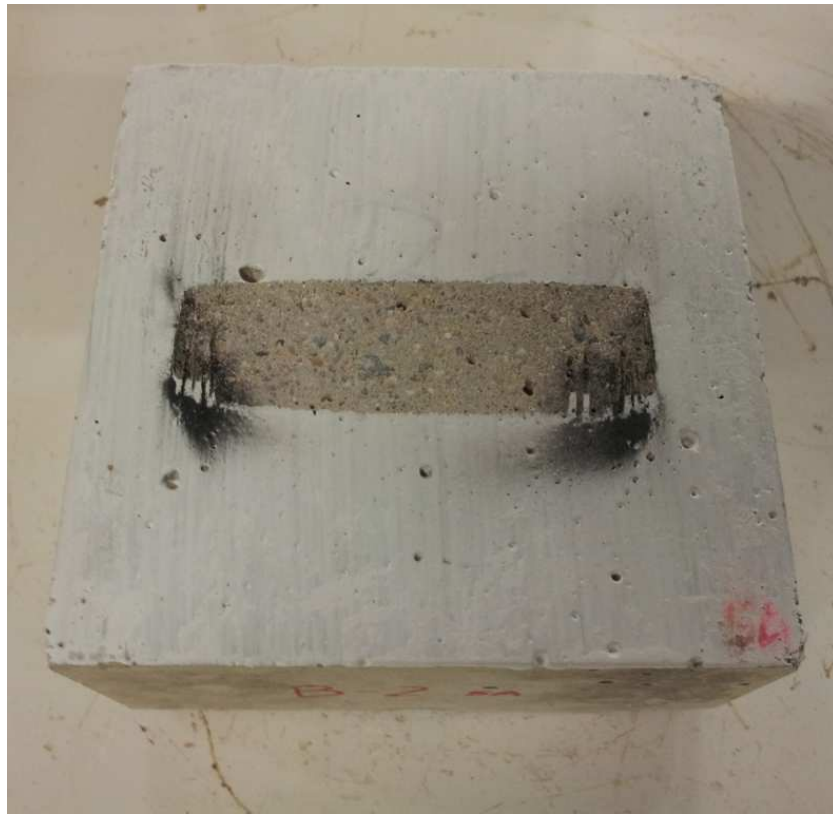
A-8



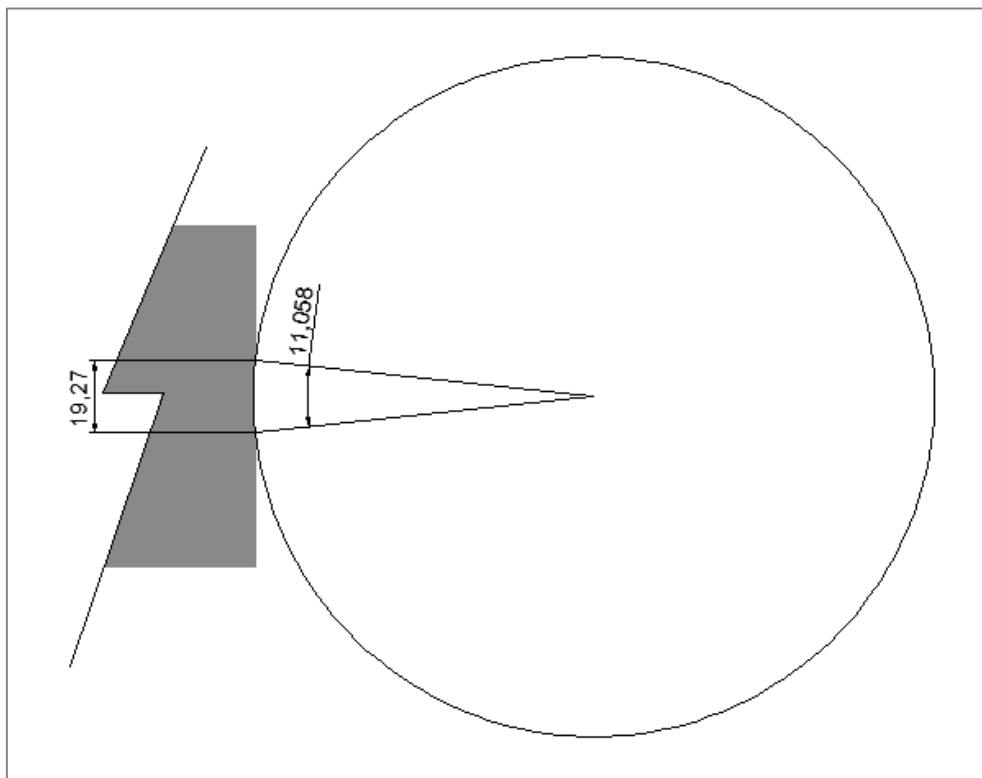
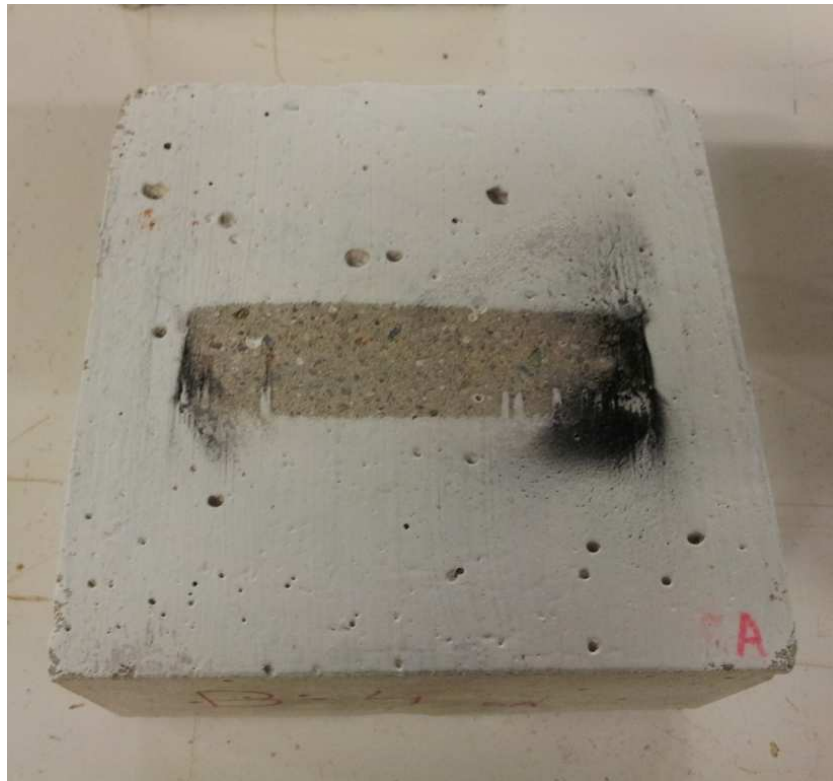
A-10



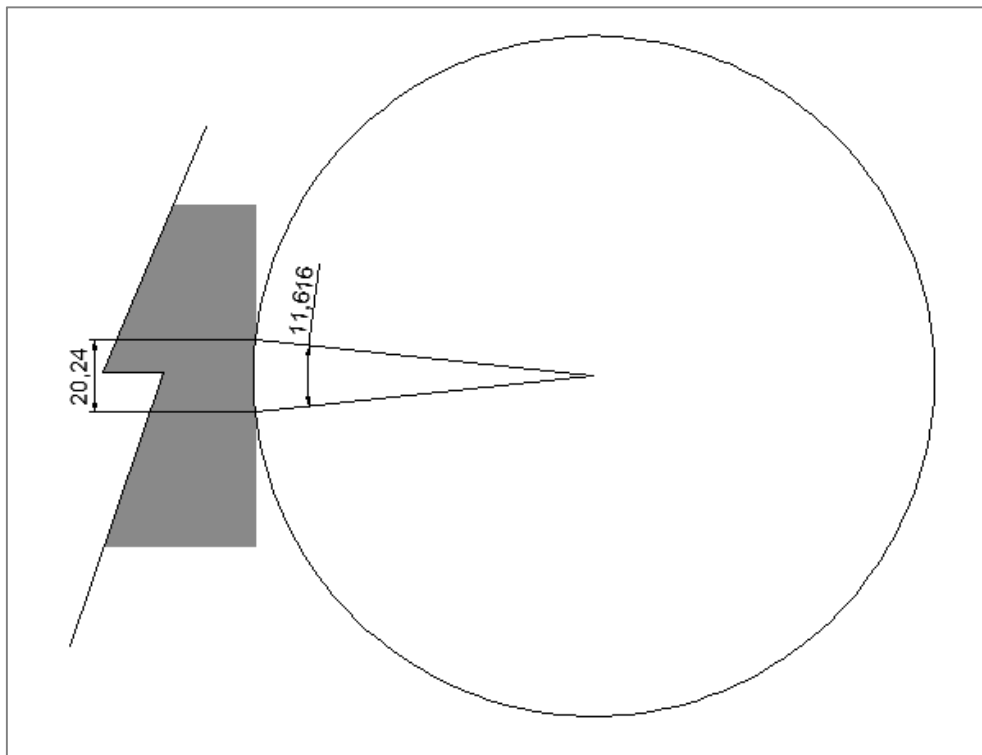
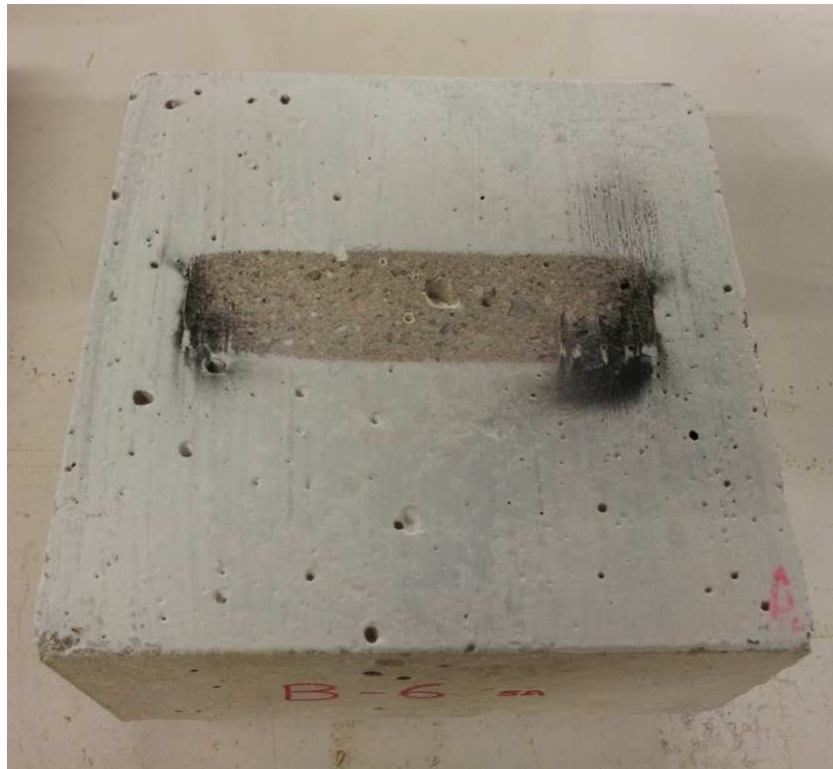
B-2



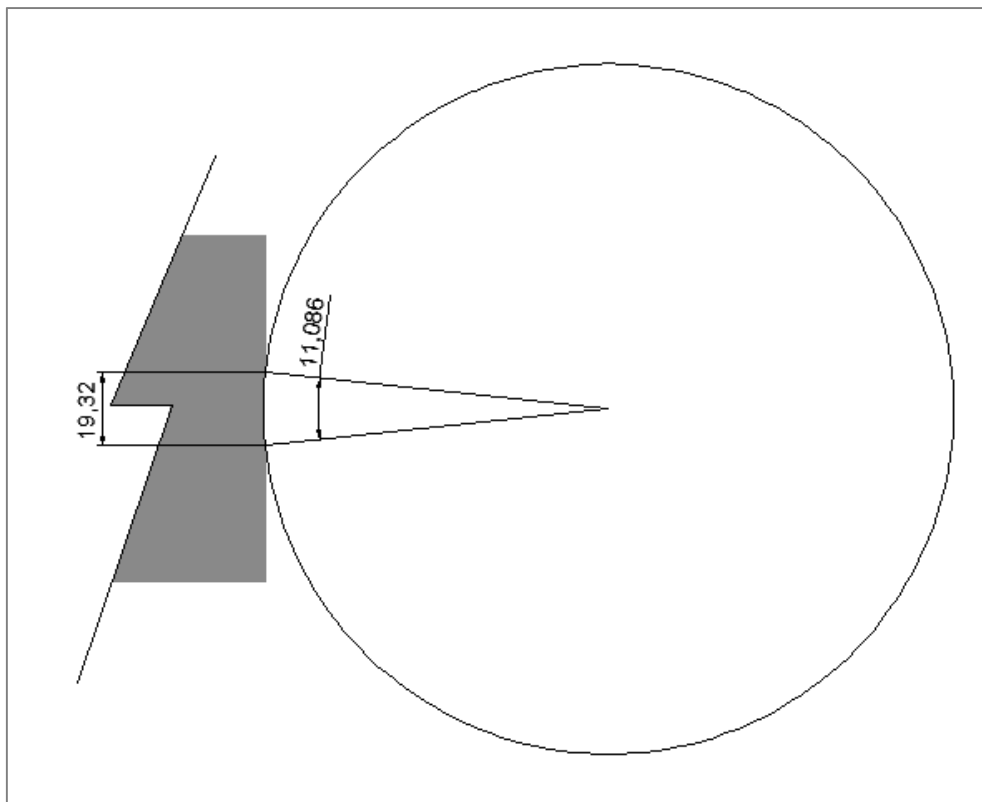
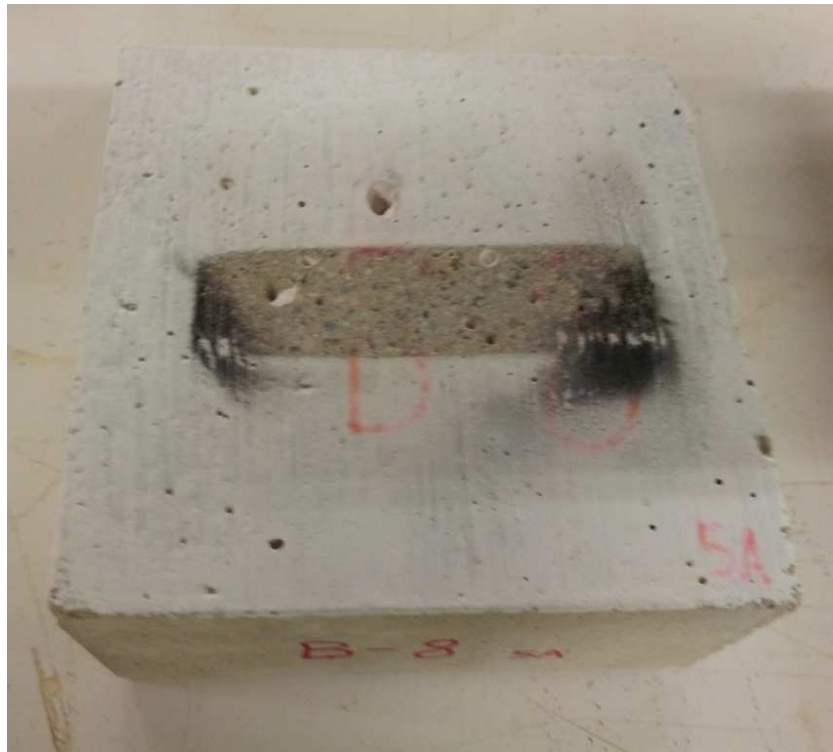
B-4



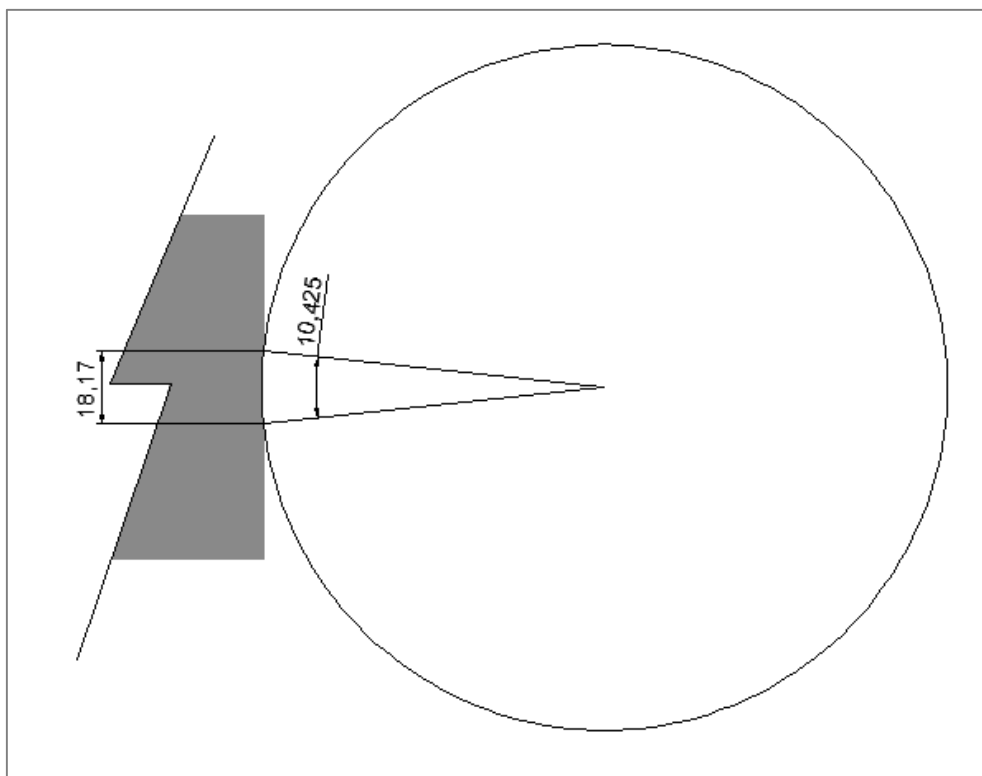
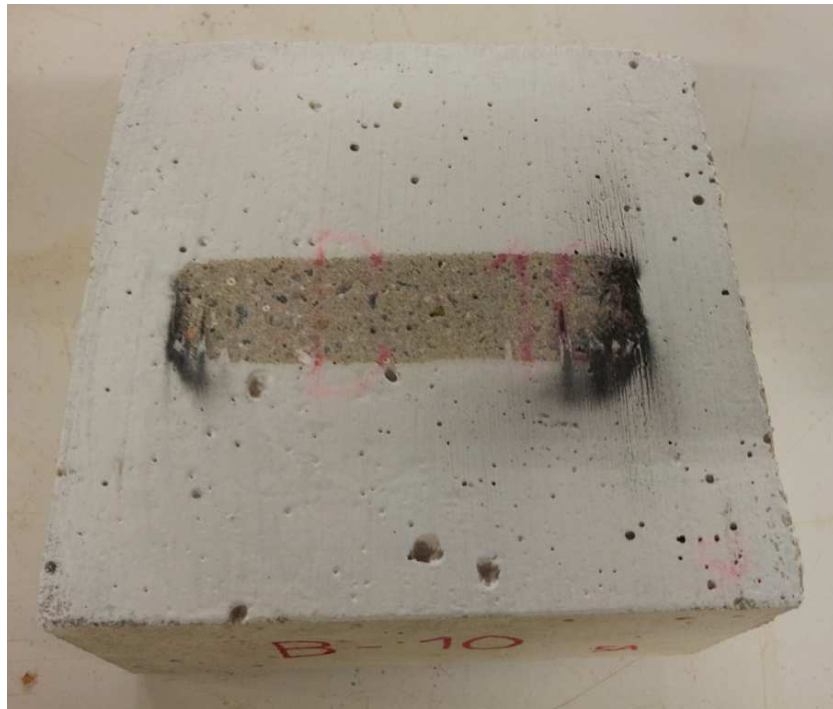
B-6



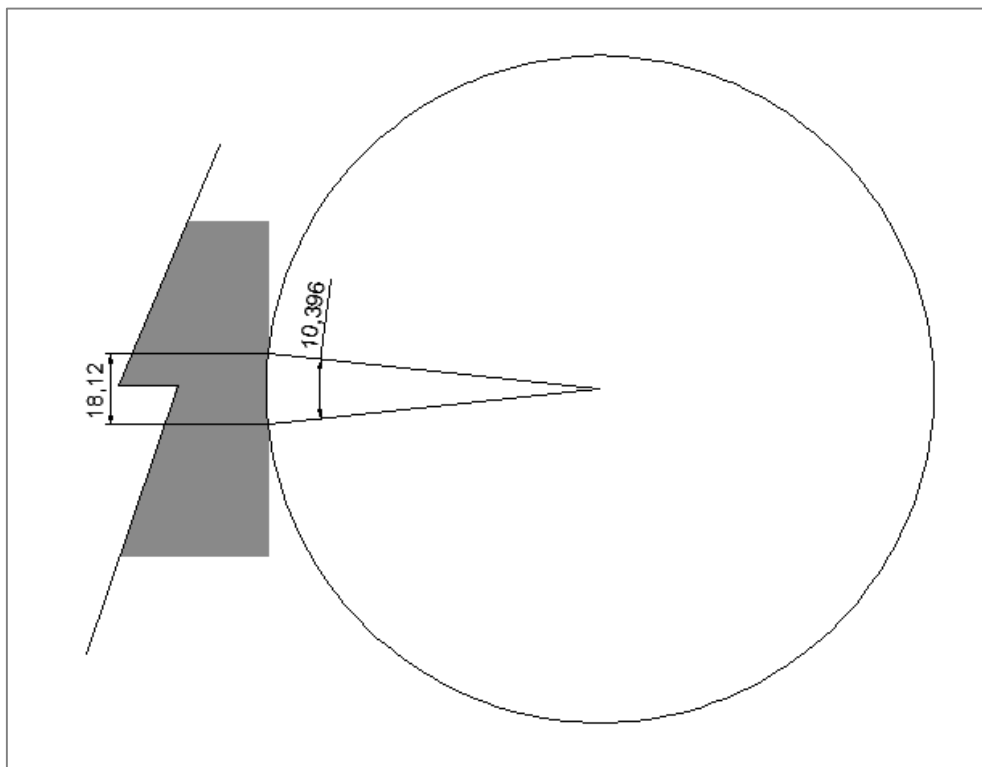
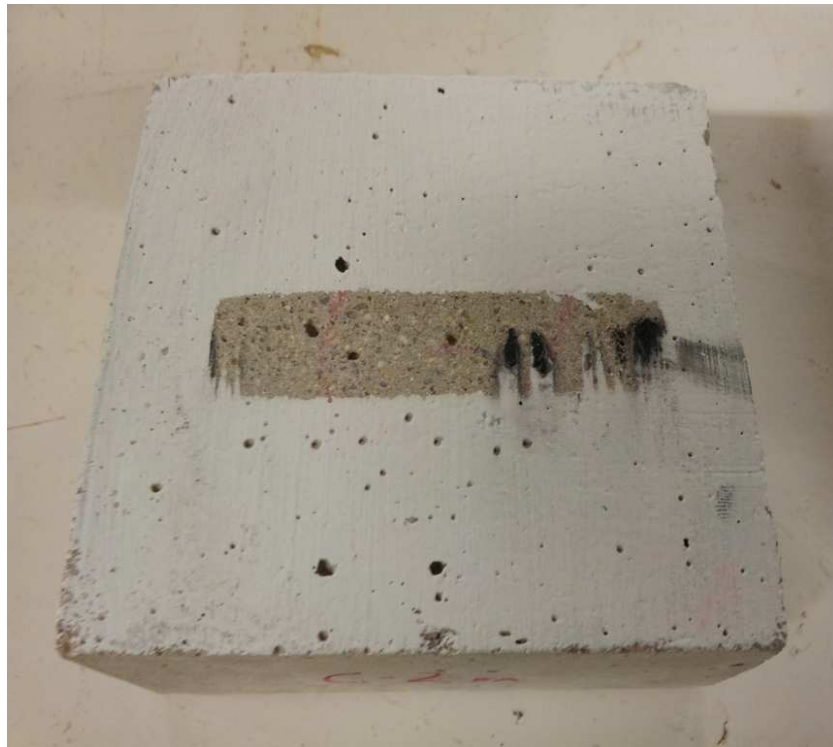
B-8



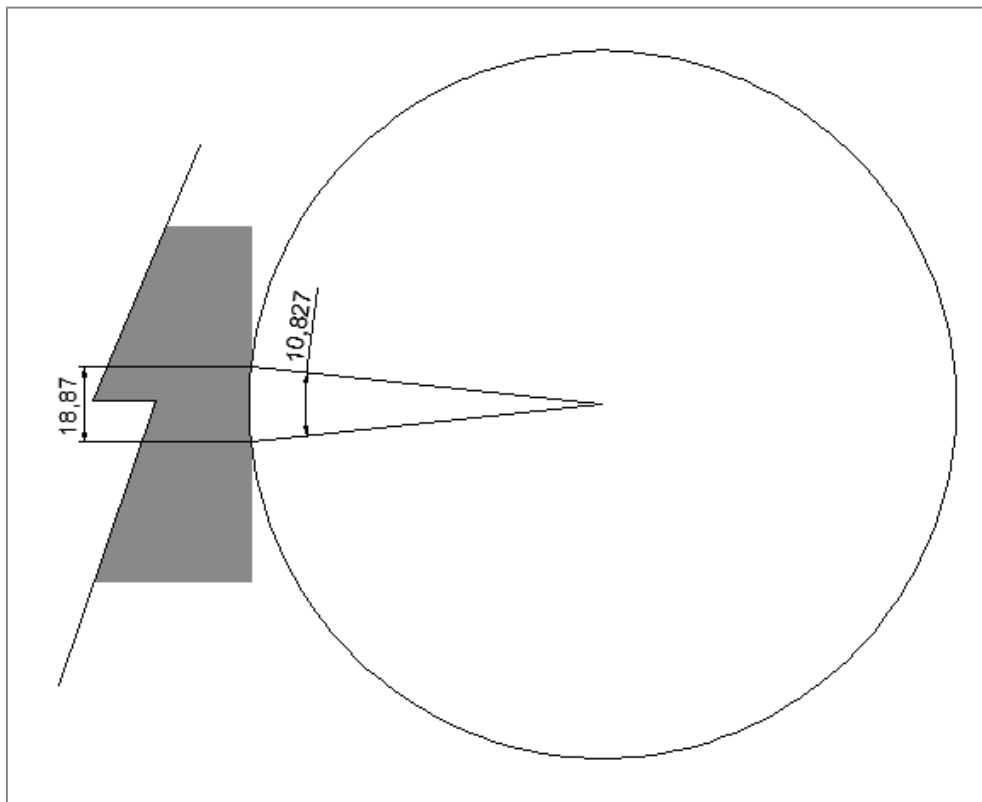
B-10



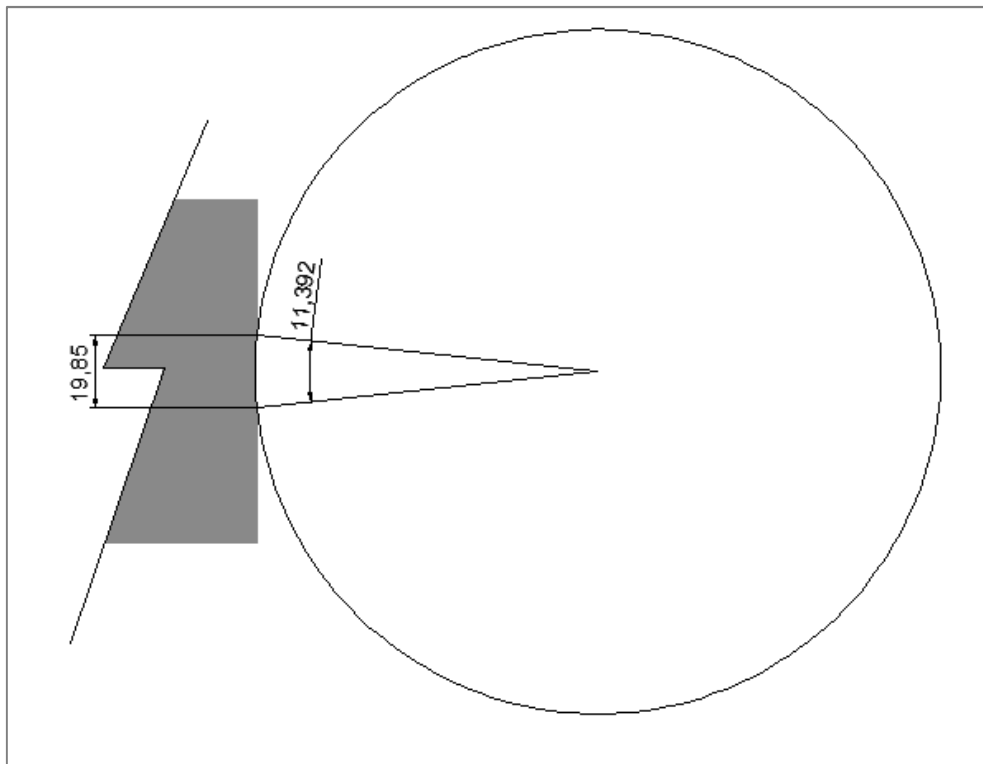
C-2



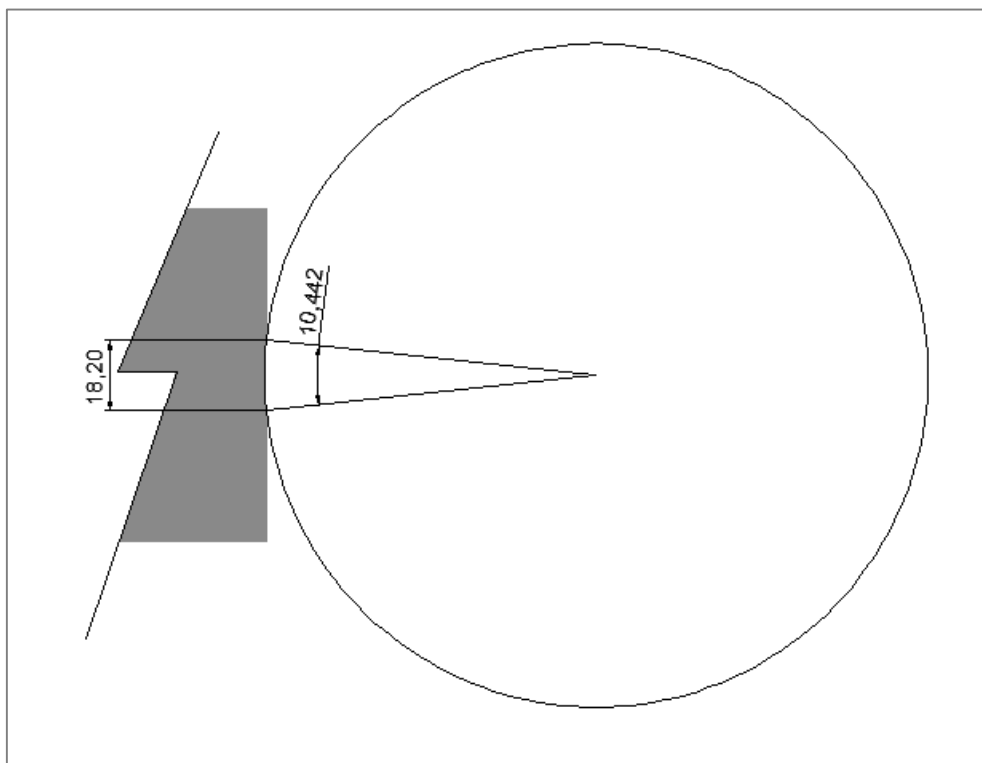
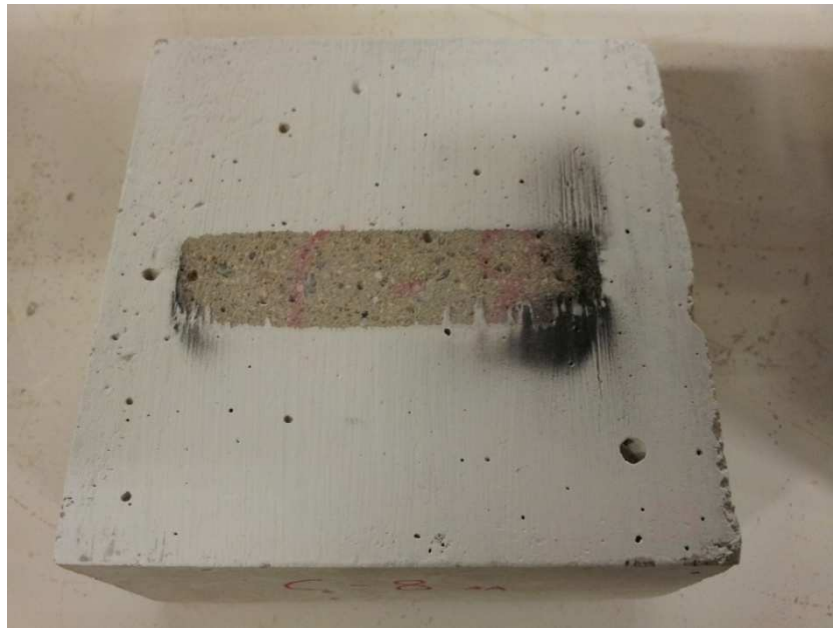
C-4



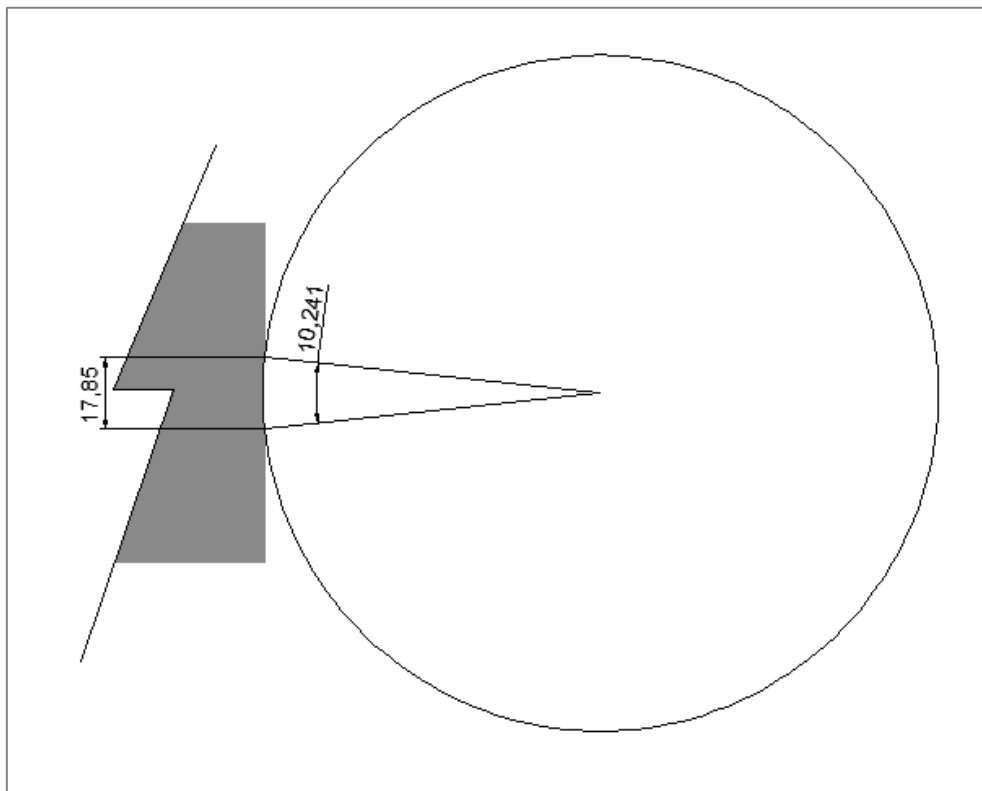
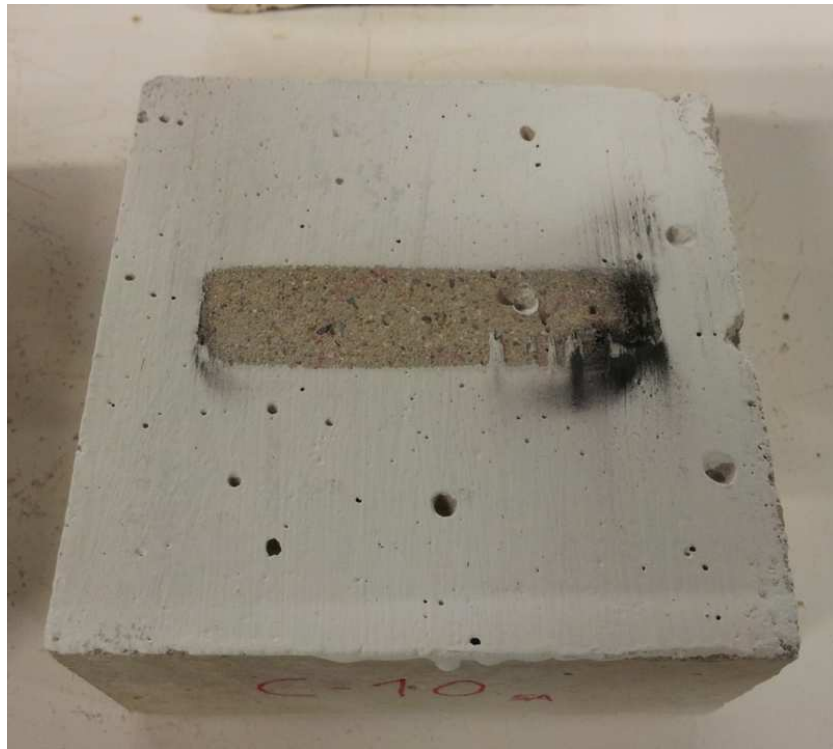
C-6



C-8



C-10



12.6. ANNEX 6: MÀQUINARIA UTILITZADA



Formigonera	
Empresa	M.Z. IMER, S.A.
Model	MZ-100-NB
Nº sèrie	110731
Any fabricació	1997
Potència	0,25 kW
Revolucions	1430 r.p.m.



Estufa	
Empresa	PROETI, S.A.



Cambrà humida	
Empresa	KIDZ-FRED INDUSTRIAL



Premsa Universal de 60T



Balança Cobos	
Empresa	COBOS PRECISIÓN
Model	D-600-SX
Nº sèrie	B-320
Pes	Màxim 6000 grams
	Mínim 5 grams
Precisió	0,1 grams



Balança Controls	
Empresa	CONTROLS
Model	11-D0643/B
Nº sèrie	07061966
Pes	Màxim 30 kg
	Mínim 20 grams
Precisió	0,1 grams
Potència	5W



Congelador	
Empresa	PROETI, S.A.
Referència	2101040
Nº sèrie	0402831
Tensió	220V
Potència	500W



Màquina abrasió profunda	
Empresa	GABBRIELLI technology
Tipus	GT0112
Nº Sèrie	2148
Potència	200W



Placa tèrmica	
Empresa	HAEGER
Model	HP-01W.C02A
Nº Sèrie	1311653100271
Potència	1500W
Mida	18 cm de diàmetre



Líquid desencofrant	
Empresa	CASA MADEI
Model	DISARMANTE DMA 2000



Grup aire comprimit	
Model	SF 2500
Revolucions	2850 r.p.m.
Potència	1500 W
Pistola	KRIPXE MOD SP



Mesclador de morters	
Empresa	BOSCH
Model	GSB13RE
Revolucions	2600 r.p.m.
Potència	550 W



Balança hidrostàtica	
Empresa	CONTROLS
Model	11-D0612/A
Nº sèrie	01004285



Màquina de tall de formigó	
Empresa	TOMENCANIC
Model	LOUPECO 3CV
Nº sèrie	10123H
Revolucions	2800 r.p.m.