Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

PROJECTE O TESINA D'ESPECIALITAT

Títol

ESTABLIMENT D'UNA METODOLOGIA DE TRACTAMENT DE CASCS DE VAIXELLS EN DESÚS PER A L'OBTENCIÓ DE FIBRA DE VIDRE RECICLADA

Autor/a

Natàlia Robusté Garcia

Tutor/a

Patrícia Pardo Trafach

Departament

Enginyeria de la Construcció

Intensificació

ETOP, CONSTRUCCIONS CIVILS

Data

Divendres, 01/07/2011

RESUM

El propòsit del present treball de final de carrera és el desenvolupament d'un tractament dissenyat per a l'obtenció de fibres de vidre equivalents a les de tipus AR a partir del residu que se'n deriva dels cascs de les embarcacions en desús.

En el context actual on la fibra de vidre en desús és un residu inert, és important trobar la manera més adient de perllongar el cicle de vida del producte, i una de les maneres més adients podria ser la seva valorització com a additiu del formigó.

Encara que el tractament està pensat per a l'obtenció d'un producte apte per al seu ús en l'àmbit de la construcció, aquest es pot adaptar segons l'àmbit on es vulgui usar la fibra reciclada de manera que, en cas de voler reutilitzar-la en altres sectors, el tractament es podria modificar eliminant-ne les fases que no fossin necessàries i implementant-ne de noves.

Així doncs, partint del residu que es genera amb el desmantellament de les embarcacions en desús, el primer pas que cal contemplar en el tractament proposat consisteix en purificar i netejar al màxim la fibra. Per a tal propòsit, s'ha procedit a realitzar un seguit de tractaments físics i químics. S'han desenvolupat una primera fase de neteja física per a eliminar la pols i les impureses i una segona fase de neteja química per tal d'eliminar la resina. A continuació, s'ha realitzat un revestiment de zirconi mitjançant un tractament superficial que protegirà les fibres davant l'atac alcalí provocat per la matriu cementícia del formigó. Finalment, s'ha establert un procés de garbellat per obtenir fibres que presentin una mida mínima.

Tant en la fase de neteja química com en la fase de impregnació, s'ha estudiat l'efecte de les variables que entren en joc i s'ha determinat quina combinació de valors d'aquestes variables estudiades reporta els millors resultats.

Amb l'objectiu d'avaluar el comportament de les fibres tractades respecte de les no tractades s'ha realitzat un estudi comparatiu de l'efecte de l'atac alcalí en les mostres obtingudes al final de cada fase. Això ens permetrà saber, a més a més, si la resina que embolcalla la fibra pot ser un bon recobriment enfront l'atac alcalí.

Tot plegat ens ha permès determinar la quantitat de fibra útil que s'obté a partir d'una determinada quantitat de fibra bruta i obtenir una estimació del temps total necessari per a executar el tractament.

ABSTRACT

The purpose of this paper is the development of a treatment designed to obtain fiber-glass equivalent to AR type, which comes from the residue that derives from useless boats hulls.

In current context where useless fiberglass is an inert residue, is important to find the best way to extend product life cycle. One of the most appropriated ways could be their appreciation as additive in concrete.

Although the treatment is thought to get a product suitable to be use in the construction field, it can be also fit, depending of the fields were recycled fiber would be use, in the way that, if it would be used in other areas, treatment could be modified cancelling the no necessary phases and incorporating new ones.

So, starting from the residue generated by useless boats dismasting, first stage we must have into account in the proposed treatment is to clean and purify the fiber as much as possible. To achieve that target, a series of physical and chemical treatment have been made. First of them is a physique cleaning phase in order to eliminate powder and impurities and a second phase is made to eliminate the resin. Following, is made a zirconium coating by a superficial treatment to protect the fibers from alkaline attack promoted by concrete cimentitious matrix. Finally, it has been established a screening process in order to get a minimum size fibers.

Such as in the chemical cleaning phase as in the impregnation phase, it has been studied the variable effect inside and it has been proved which values combination of those variables studied could report the best results.

In order to evaluate the behavior of the treated fibers compared to non-treated it has made a comparative study of the effect of alkali attack in samples obtained at the end of each phase. This would allow us to know if the resin that surrounds the fiber could be a good cover against alkaline attack.

All this has allowed us to determine the amount of useful fiber obtained from a given amount of crude fiber and obtain an estimate of the total time required to perform the treatment.

AGRAÏMENTS

En acabar el Treball de Final de Carrera un només pot sentir-se satisfet per la feina feta i agraït per l'ajuda rebuda. Aquest és un bon moment per intentar donar les gràcies a totes aquelles persones que, en un moment o altre, m'han donat suport i han fet possible que avui em trobi escrivint aquestes línies.

Aquestes planes, malgrat estar incloses entre les primeres pàgines del treball, solen ser les darreres en ser redactades. Cal assumir, per tant, que en el temps dedicat a escriure aquest apartat un pot oblidar-se d'algú que ha prestat la seva ajuda en algun moment del camí. Les meves disculpes a qualsevol que es trobi en aquest cas.

Per començar, vull agrair la inestimable ajuda que m'han brindat els meus tutors de projecte: la Patrícia Pardo i en Sergio Pialarissi. Quan tothom tancava la porta, la Patrícia va obrir-me la seva de bat a bat. Gràcies per l'oportunitat que m'has donat i per la teva paciència. També vull donar les gràcies a en Sergio per la seva dedicació i per estar sempre disposat a donar un cop de mà en qualsevol moment. Gràcies a tots dos.

No puc deixar d'agrair l'ajuda que m'ha donat el personal de laboratori i tots aquells professors que en algun moment m'han ajudat a dur a bon port aquest treball.

Per sobre de tot, vull destacar i agrair l'esforç constant i incansable que han fet durant tots aquests anys la meva mare i la meva àvia per donar-me la possibilitat d'estudiar, i per recolzar-me en els moments difícils. És el regal més valuós que he rebut mai.

Com no podria ser d'una altra manera, vull donar les gràcies a les meves germanes, Mireia i Marta, per estar al meu costat, ajudant-me sempre que us ha estat possible.

Gràcies a tots els meus amics i companys amb els que he compartit aquests anys d'universitat. En particular, vull donar les gràcies a la Pris, en Miquel i en Nonell per tots els moments que hem compartit i l'empremta que han deixat en mi.

No puc oblidar-me d'en Carles Pons i l'Enrique Jiménez. Gràcies per la vostra ajuda i per les hores de laboratori que hem compartit.

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ 11

1.1. Antecedents 11

1.2. Objectius generals 12

1.3. Objectius específics 12

1.4. Organització dels capítols 13

2. ESTAT DEL CONEIXEMENT 15

2.1. Introducció 15

2.2. La fibra de vidre 15

2.2.1. Característiques 15

2.1.2. Toxicitat 16

2.3. La fibra de vidre com a residu i el seu reciclatge 17

2.3.1. La fibra de vidre com a residu 17

2.3.2. Reciclatge de la fibra de vidre 17

2.4. Sostenibilitat en el sector naval 18

2.4.1. Legislació i problemàtica de l'abandonament de vaixells 19

2.4.2. Residus derivats de la indústria naval 19

2.4.3. Projectes en marxa Sostenibilitat en el sector naval 20

2.4.3.1. Projectes europeus 20

2.4.3.2. Projectes escandinaus 21

2.4.3.3. Projectes espanyols 22

2.5. Aplicabilitat de la fibra de vidre reciclada en el sector de la construcció 22

2.5.1. Avantatges..... 23

2.5.1.1. Avantatges tècnics 23

2.5.1.2. Avantatges econòmics i ambientals 24

2.5.2. Inconvenients 24

2.6. Tècniques per al reciclatge de GRP 25

2.6.1. Tractament físic de residus GRP nets 25

2.6.2. Tractaments químics per al reciclatge de la matriu polimèrica del GRP 25

2.6.3. Tractament químic per al reciclatge de la fibra de vidre continguda en compostos de polièster reforçats 26

2.6.3.1. Procés del llit fluïditzat 26

2.6.3.2. Resistència de les fibres de vidre reciclades 27

2.6.3.3. Preparació de la fibra recuperada 28

2.6.3.4. Fibres de vidre recuperades 29

2.6.4. Tractament químic per al reciclatge de la resina epoxi 29

2.6.5. Tractament químic per al reciclatge de la pols i de les fibres dels GRP 30

2.6.5.1. Desenvolupament de materials compostos de formigó 31

2.6.5.2. Resultats 31

2.6.5.3. Conclusions de l'estudi 32

2.6.6. Tractament per al recobriment de fibres de vidre de tipus AR 33

2.6.7. Tractament per al recobriment de fibres de vidre de tipus E 33

2.7. Discussió 34

3. MÈTODE DE TRACTAMENT 36

3.1. Introducció 36

3.2. Objectiu del tractament 36

3.3. Procediments previs 36

3.4. Proposta de tractament de les fibres 37

3.4.1. Fase 1. Neteja física 38

3.4.2. Fase 2. Neteja química 38

3.4.3. Fase 3. Impregnació 41

3.4.4. Fase 4. Garbellat 43

3.5. Descripció del mètode de tractament 45

3.5.1. Fase 1. Neteja física 45

3.5.2. Fase 2. Neteja química 46

3.5.3. Fase 3. Impregnació 47

3.5.4. Fase 4. Garbellat 50

3.6. Comprovació de l'eficàcia del tractament 50

3.7. Proposta de la campanya experimental 51

4. RESULTATS I ANÀLISI 56

4.1. Introducció 56

4.2. Discussió dels resultats 57

4.2.1. Resultats del tractament proposat 57

4.2.1.1. Resultats de la neteja física 57

4.2.1.2. Resultats de la neteja química 59

4.2.1.3. Resultats de la impregnació 64

4.2.1.4. Resultats del garbellat 68

4.2.2. Resultats de l'atac alcalí 70

4.3. Discussió 74

5. CONCLUSIONS I FUTURS ESTDIS 76

5.1. Introducció 76

5.2. Conclusions generals 76

5.3. Conclusions específiques 77

5.3.1. Relatives a la neteja física 78

5.3.2. Relatives a la neteja química 78

5.3.3. Relatives a la impregnació 78

5.3.4. Relatives al garbellat 78

5.3.5. Relatives a l'atac alcalí 79

5.4. Proposta d'estudis futurs 79

BIBLIOGRAFIA I REFERÈNCIES 82

ANNEX 1. NOMENCLATURA I CLASSIFICACIÓ DE LES MOSTRES 87

A1.1. Introducció 87

A1.2. Nomenclatura de la Fase 2 87

A1.3. Classificació de les mostres de la Fase 2 87

A1.4. Nomenclatura de la Fase 3 88

A1.5. Classificació de les mostres de la Fase 3 88

ANNEX 2. DOCUMENTACIÓ FOTOGRÀFICA 90

A1.1. Introducció 90

A2.2. Fotografies de la fibra bruta 90

A2.3. Fotografies de la pols i altres impureses 92

A2.4. Fotografies de la fibra tamisada 94

A2.5. Fotografies de la fibra neta 96

A2.6. Fotografies de la fibra tractada 113

A2.7. Fotografies de la fibra tamisada i atacada 122

A2.8. Fotografies de la fibra neta i atacada 124

A2.9. Fotografies de la fibra tractada i atacada 126

1. INTRODUCCIÓ

1. INTRODUCCIÓ

1.1. Antecedents

En els darrers anys s'ha estudiat la influència de l'addició de fibra de vidre AR en les propietats del formigó, ja que aquesta és resistent enfront l'atac alcalí. D'aquests estudis es desprèn que l'addició de fibra de vidre millora certes propietats del formigó, observant-se els següents comportaments:

- Augment de la resistència a l'impacte
- Augment de la resistència a flexió
- Minimització del fenomen de retracció plàstica i hidràulica
- Prevenció de la propagació d'esquerdes

Els formigons reforçats amb fibres pesen considerablement menys que els formigons armats donat que poden emprar-se amb gruixos inferiors. En l'actualitat, aquest tipus de formigons s'utilitzen en diversos àmbits com són la pavimentació industrial, taulells de ponts, revestiments de túnels, prefabricats de formigó, construcció de façanes exteriors, etc.

D'altra banda, segon dades d'ICOMIA (International Council of Marine Industry Association), s'estima que a la Unió Europea hi ha uns sis milions d'embarcacions d'esbarjo, amb una taxa de creixement promig d'entre el 3 i el 4%. Suposant que un 1,5% d'aquestes embarcacions cau en desús anualment, s'obté que unes 90 mil embarcacions han de ser desballestades cada any. En no existir en l'actualitat una normativa efectiva reguladora del tractament d'embarcacions en desús, la majoria de naus abandonades acaben a l'abocador o, en el pitjor dels casos, són enfonsades al mar [3].

En una embarcació d'esbarjo de 8,5 metres, el 45% del seu pes correspon a material compost de fibra de vidre i resina epoxi (dades de la Fundació Mar). Això significa que el desvastellament d'una nau d'aquestes característiques generaria aproximadament una tona de material susceptible de ser reciclat.

En aquestes circumstàncies i contemplant el marc actual —on és necessari aplicar mesures sostenibles i allargar la vida útil dels residus generats en la indústria i en altres activitats—

podia ser interessant contemplar la possibilitat d'emprar fibra de vidre reciclada en comptes de fibra de vidre industrialitzada en aquest tipus l'addició. Per tal que aquesta proposta sigui viable, és necessari tractar el material amb el propòsit de separar la resina de la fibra, i a continuació, tractar la fibra per donar-li propietats àlcali-resistents similars a les de les fibres industrialitzades que s'utilitzen en la fabricació de formigons amb fibres (GFC).

1.2. Objectius generals

El present treball persegueix assolir uns objectius principals centrats en:

- Determinar els procediments i la metodologia a seguir per tal d'obtenir fibra reciclada d'origen naval per a la seva posterior addició en formigons.
- Realitzar una comprovació de l'eficàcia del tractament comparant l'efecte de l'atac alcalí en les fibres obtingudes al final de cada fase del tractament proposat.
- Determinar la quantitat de fibra útil que s'obté a partir d'una determinada quantitat de fibra bruta.
- Obtenir una estimació del temps total necessari per executar el tractament.

1.3. Objectius específics

Les conclusions específiques estan enfocades a:

- Determinar el percentatge de fibra i de pols que s'obté després del tamisat.
- Estudiar l'efecte de les diferents variables que entren en joc en la fase de neteja química i determinar quina combinació de valors reporta una adequada eliminació de la resina adherida a la superfície de les fibres.
- Estudiar l'efecte de les diferents variables que influeixen en la Fase 3, corresponent la impregnació, i determinar amb quina combinació s'obté el millor recobriment de les fibres.
- Determinar el percentatge de fibra útil que s'obté després del garbellat.
- Determinar la pèrdua de pes provocada per l'atac alcalí en les fibres obtingudes al final de cada fase del tractament proposat.

1.4. Organització dels capítols

El present treball es divideix en diversos capítols. A continuació es descriu breument el contingut de cadascun d'ells.

En el Capítol 1 es defineix el marc general de l'ús i reciclatge de la fibra de vidre. Alhora, s'hi defineixen els objectius principals i per últim s'indica l'organització del contingut del present treball.

En el Capítol 2 es presenta una àmplia panoràmica sobre les característiques de la fibra de vidre, la gestió dels residus procedents dels desguàs d'embarcacions i l'estat actual de la investigació i desenvolupament en l'àmbit del reciclatge de la fibra de vidre la incorporació de fibres al formigó projectat, tant metàl·liques com sintètiques.

El Capítol 3 conté els aspectes relatius a la campanya experimental així com una descripció detallada dels procediments desenvolupats.

Al Capítol 4 es presenten les mesures i els resultats obtinguts a la campanya experimental a més del seu anàlisi.

Al Capítol 5 s'exposen les conclusions derivades dels diferents estudis realitzats. Aquestes conclusions s'exposen en forma de conclusions generals, que responen als objectius principals exposats, i una sèrie de conclusions específiques que incideixen sobre els aspectes concrets dels treballs realitzats. En aquest capítol també s'inclou un seguit de directrius per al desenvolupament de futurs estudis que contribueixin a l'aprofundiment del reciclatge de la fibra de vidre.

2. ESTAT DEL CONEIXEMENT

2. ESTAT DEL CONEIXEMENT

2.1. Introducció

Aquest capítol pretén donar un repàs general dels aspectes més rellevants que incideixen en el reciclatge de la fibra de vidre, emfatitzant en el desenvolupament de noves tècniques que permetin la valorització d'un residu, així com la proposta de possibles aplicacions.

Finalment, es descriu el panorama actual dins del camp del reciclatge de la fibra de vidre, per tal d'assentar les bases per dissenyar un tractament amb el que obtenir fibres de vidre aptes per a l'addició o substitució en formigons a partir dels residus que s'obtenen dels cascos de les embarcacions desguassades.

2.2. La fibra de vidre

2.2.1. Característiques

La fibra de vidre és un material compost consistent en fibres contínues o discontínues de vidre concentrades en una matriu plàstica (GRP). El GRP (Glass Reinforced Plastic) també pot ser denominat GFRP (Glass-Fiber Reinforced Plastic) [1]. Emprada des de 1930, és útil perquè:

- És fàcilment filable en fibres d'alta resistència.
- Es pot disposar d'ella fàcilment i es pot aplicar en la producció de plàstic reforçat amb vidre fent servir gran varietat de tècniques de fabricació de materials compostos.
- Concentrada en una matriu plàstica produeix un compost amb alta resistència específica.
- Quan s'uneix a diferents plàstics, s'obtenen materials compostos químicament inerts molt útils per a ambients corrosius.
- Degut a la seva propietat dielèctrica, permet l'aïllament de conductors elèctrics a altes temperatures.

El plàstic reforçats amb fibra de vidre (GRP) és un material compost ben conegut que té un ampli valor de mercat, per les seves característiques superiors en termes de pes i durabilitat.

2.2.2. Toxicitat

Els efectes de la fibra de vidre (vidre de filament continu o tèxtil de vidre, vidre de filament fi continu o microfibres, i llana de vidre) sobre la salut –la pell, irritació d'ulls i vies respiratòries– estan ben documentats. Els riscos crònics estan menys definits. Animals artificialment exposats a la llana de vidre i a les microfibres de vidre han desenvolupat fibrosi, càncer pulmonar i mesotelioma.

Els estudis d'inhalació fins ara no han mostrat cap evidència de la carcinogenicitat de les fibres de vidre de filaments continus. En general, la fibra de vidre és molt menys cancerígena que l'amiant crisòtil i crocidolita absents de controls que s'utilitzen en estudis amb animals.

Els estudis in vitro han demostrat que les microfibres de vidre causen aberracions cromosòmiques i són citotòxiques.

Les dades epidemiològiques es basen principalment en les plantes de fabricació de la fibra de vidre:

Per a la fibra de vidre contínua, no hi ha evidència de càncer de pulmó o de malalties respiratòries no malignes. Les dades de llana de vidre mostren un augment del risc de càncer de pulmó, encara que el risc no sembla estar vinculat directament ni a la durada de l'exposició ni a l'acumulació de l'exposició. També hi ha evidència de l'augment del risc de patir malalties respiratòries no malignes (per exemple, rinitis, faringitis, bronquitis i obstruccions pulmonars) per part dels treballadors en la producció d'aquest material i dels usuaris finals.

Els resultats reportats per l'exposició del personal en la industria de la manufacturació i la fabricació de fibres de vidre tèxtils i llana han estat inferiors a 1,5 fibres per centímetre cúbic d'aire (f/cc). La fabricació de vidre fi comporta altes exposicions, fins 4,38 f/cc. L'exposició de l'usuari final que s'han reportat es de fins a 3,62 f/cc. [2]

2.3. La fibra de vidre com a residu i el seu reciclatge

2.3.1. La fibra de vidre com a residu

Segons el catàleg europeu de residus, la fibra de vidre s'emplaça entre els residus de fabricació del vidre i derivats [3]. La normativa actual determina que la fibra de vidre ha de ser llençada en abocadors controlats per tota la UE, però no determina un ús final. És un residu inert, estable i poc inflamable.

Actualment, es produeixen prop de 55 mil tones de residus de GRP cada any al Regne Unit i s'estima que la producció s'incrementarà un 10% anual [4]. A la Unió Europea, així com arreu del món, la fabricació de materials compostos de polímer termoplàstic és major que la de compostos termoestables. Els abocadors i la incineració són els mètodes més comunament adoptats per a l'eliminació de compostos polimèrics termoestables [5-7]. Al Regne Unit, aproxi-madament el 90% dels residus de GRP s'envien a abocadors. Les innovacions tecnològiques, l'ampli valor de mercat i la demanda de compostos de GRP a tot el món han despertat l'interès en l'optimització de la recuperació de residus de GRP. Tanmateix, existeixen poques solucions per al seu reciclatge en productes valoritzables per a la construcció.

2.3.2. Reciclatge de la fibra de vidre

En l'actualitat, el reciclatge de residus plàstics reforçats amb fibra de vidre (GRP) a tot el món és molt limitat degut a les seves propietats intrínseques termoestables, la manca de dades de caracterització i la falta de rutes de recuperació i reciclatge viables.

Amb l'augment de la producció i de l'aplicació dels plàstics durant les últimes dècades, els residus plàstics han estat la causa de molts dels problemes ambientals. És per això que en els darrers anys, s'han posat en marxa investigacions en el camp de l'eliminació de plàstics, sobretot de resina termoendurible, la qual és difícil d'eliminar degut a la seva estructura en xarxa. El reciclatge químic és una nova i prometedora via per a la transformació de residus plàstics en components originals, és a dir, en els monòmers o matèria primera petroquímica [7-9].

Tanmateix, la investigació i el desenvolupament del reciclatge químic és un esforç de llarg abast. Encara que en les últimes dècades s'han obtingut considerables avenços en aquest camp, el reciclatge químic es troba encara en fase de desenvolupament o etapa pilot [10]. Entre les dificultats tècniques que existeixen, l'alt cost i baixa qualitat dels productes encara son els principals problemes [11,12]. Ara per ara, existeixen alguns materials reciclats que poden satisfer les necessitats del mercat però cal millorar la tecnologia del reciclatge perquè puguin ser emprats en una àmplia gamma d'aplicacions i que la recuperació de recursos representi un actiu en lloc d'una càrrega costosa per tal de disminuir l'estrès del medi ambient.

2.4. Sostenibilitat en el sector naval

Els compostos a base de plàstics termoestables són materials força atractius per a la indústria automotriu (automobilística, aeronàutica i naval). Existeix, però, una barrera que dificulta l'extensió del seu ús: la dificultat en el reciclatge que presenta. Els elevats costos dels abocadors i l'imminent modificació de la legislació europea requerint un correcte reciclatge dels material derivats del desguàs de vehicles de motor, obliguen a desenvolupar urgentment tècniques per al reciclatge de materials compostos.

A Espanya, no existeixen centres especialitzats on desballestar les embarcacions esportives en desús. Per això, alguns dels seus propietaris opten per deixar-les abandonades en l'amarrament, al taller nàutic, o enmig de la platja o del camp. Les lleis internacionals esmenten: "... s'ha d'impedir qualsevol enfonsament deliberat al mar de vaixells, aeronaus, plataformes o altres construccions en el mar ".

Les embarcacions abandonades (tant a terra com al mar), així com en els ports, tenen un gran impacte ambiental associat, per exemple, a les fuites o vessaments dels residus sòlids o líquids (hidrocarburs, oli, líquid de bateries, etc) o a altres tipus de residus (fibra de vidre, plàstic, metalls, etc.) que produeixen, entre altres impactes, problemes de salut i de contaminació del sòl.

Aquests vaixells abandonats no només contaminen el medi ambient, també degraden el paisatge. És complicat dimensionar el problema de les embarcacions obsoletes abandonades ja que és impossible ara per ara conèixer la seva xifra exacta.

2.4.1. Legislació i problemàtica de l'abandonament de vaixells

En l'actualitat, no existeixen ni instruments jurídics ni una normativa vigent aplicable en el procés de donar de baixa un vaixell.

Les autoritats portuàries no estan autoritzades a retirar els vaixells abandonats a menys que obtinguin un certificat del propietari del vaixell, cosa que sovint resulta ser un procés legal llarg i difícil. A més, el registre de vaixells és incomplet o directament no existeix i, per tant, el rastreig dels propietaris i del tipus d'embarcació (de lleure, pesca, etc) és difícil. Una situació similar passa amb els vaixells abandonats en les instal·lacions de reparació o d'hibernació. En ambdós casos, el procés més comú, una vegada que el propietari de l'embarcació es tramet a l'autoritat, és dur l'embarcació a un abocador controlat, on es descontamina apropiadament el vaixell fora de servei. Un vaixell no registrat abandonat en qualsevol ubicació de la costa és la pitjor situació que es pot donar, ja és molt difícil de detectar.

Tot i que actualment la legislació no exigeix un reciclatge dels vehicles nàutics, és important tenir en compte el fet que en aquests dies la política de medi ambient està donant força importància al desenvolupament de noves legislacions, que, tard o d'hora, es traduirà en la creació d'una legislació per a l'eliminació i gestió de vaixells en desús

El Real Decreto 1027/1989, sobre abanderament, matriculació d'embarcacions i registre marítim, apunta en el seu article 6 que "El titular de una nave, embarcación o artefacto naval de cualquier lista tiene la obligación tanto de solicitar su matriculación como de su baja en la lista correspondiente". Això dóna peu a entendre que en cas de baixa d'una embarcació un gestor autoritzat podrà fer-se càrrec de la aquesta i gestionar el residu.

2.4.2. Residus derivats de la indústria naval

Durant la fabricació de productes de GRP, la resina de polièster és reforçada amb fibra de vidre per obtenir la durabilitat necessària en termes rigidesa, resistència i d'absorció d'aigua. El procés de fabricació de GRP produeix una considerables quantitat de material de rebuig. A més, els residus de GRP sovint s'obtenen del sector de la construcció i de la indústria automobilística i aeroespacial un cop finalitzada la seva vida útil [5, 6 i 13]. Els residus de GRP són bàsicament una combinació de fibra de vidre i polímer. Aquests residus sòlids que es llencen en abocadors representen un risc ambiental important.

D’altra banda, segon dades d’ICOMIA (International Council of Marine Industry Association), s’estima que a la Unió Europea hi ha uns sis milions d’embarcacions d’esbarjo, amb una taxa de creixement promig d’entre el 3 i el 4%. Suposant que un 1,5% d’aquestes embarcacions cau en desús anualment, s’obté que unes 90 mil embarcacions han de ser desballestades cada any.

En una embarcació d’esbarjo de 8,5 metres, el 45% del seu pes correspon a material compost de fibra de vidre i resina epoxi (dades de la Fundació Mar). Això significa que el desvastellament d’una nau d’aquestes característiques generaria aproximadament una tona de material susceptible de ser reciclat.

A Catalunya anualment es matriculen prop de 900 embarcacions d'esbarjo a motor les quals s’hi ha d'afegir un centenar de velers construïts amb fibra de vidre [8]. Al final de la seva vida útil, es poden reciclar alguns elements com els metalls, però encara quedarien unes mil tones de residus provinents dels cascos, i que actualment van a l'abocador. Un 40% d'aquest residu correspon a la fibra de vidre, que es pot reutilitzar per reforçar fins a 8 mil tones de formigó i morter. La resta correspon a les resines, que poden ser separades i emprades en la fabricació d'altres materials. En qualsevol cas, la reducció del volum dels residus que s’assoliria és força significativa.

2.4.3. Projectes en marxa

2.4.3.1. Projectes europeus

“BOATCYCLE” és un projecte del programa europeu LIFE+ emmarcat en la línia d’acció de Política Ambiental i Governança 2008 a implementar durant el període 2010-2012. L’objectiu principal del projecte és reduir l’impacte ambiental de la indústria nàutica a través del desenvolupament de noves metodologies de tractament de les embarcacions enteses com a residus a nivell de gestió i valorització. En el marc del BOATCYCLE es promou i es treballa la producció basada en l’Anàlisi de Cicle de Vida i l’eco-disseny d’embarcacions.

Com a objectius específics, BOATCYCLE pretén:

- Desenvolupar un sistema de reciclatge i valorització de 4 de los residus més rellevants de les embarcacions: fibra de vidre, neoprè, fusta i PVC.

- Implementar les millors pràctiques de reciclatge i valorització dels quatre residus esmentats a través d'experiències demostratives.
- Desenvolupar una guia comprensible per a la producció sostenible i l'eco-disseny d'embarcacions de fibra de vidre/fusta així como d'embarcacions inflables de neoprè/PVC.
- Desenvolupar recomanacions administratives i tècniques de la gestió i valorització de residus d'embarcacions.
- Difondre i incrementar la consciència entre totes les parts implicades en el cicle de vida d'una embarcació, començant per l'eco-disseny i la producció sostenible i acabant en la correcta gestió de residus.

2.4.3.2. Projectes escandinaus

En els països escandinaus s'està estudiant des de fa temps el reciclatge dels residus de fibra de vidre reforçada (GRP) ja que, com s'ha explicat abans, pot representar una important font de matèria primera.

Un projecte realitzat per la Fundació Nòrdica Industrial va estudiar la possibilitat d'intercalar fibra de vidre reciclada en els materials utilitzats en la fabricació de vaixells. Un dels participants del projecte, OMC Rydsfabriken de Suècia, ja ha fabricat diversos vaixells de diferents mides a partir de materials reciclats, als que ha batejat com a Ecoboats.

En els prototips, els laminats convencionals s'han reduït al voltant del 50% i s'han combinat amb una barreja de materials que conté 30-40% de GRP reciclats. Aquesta barreja també serveix per reemplaçar els materials bàsics com ara el contraxapat. Els materials reciclats dels prototips representen aproximadament el 20% del pes del vaixell.

Proves de flexibilitat han demostrat que els laminats amb una base reciclada de GRP pot fer front a les mateixes càrregues que els laminats convencionals.

Actualment s'està treballant en el desenvolupament de tecnologies que permetran l'ús de fins a un 40% de material reciclat en les embarcacions.

Noruega és pionera en l'àrea de reciclatge d'embarcacions. Els càlculs mostren que, només a Noruega, entre 15 mil i 40 mil embarcacions d'esbarjo construïdes amb GRP cauran en desús anualment.

D'altra banda, per recuperar el GRP, el vaixell ha de ser desmantellat i separat d'altres materials com la fusta, cautxú, metall,etc. Aquest és un procés costós i en el futur els constructors de vaixells hauran d'estar preparats per a la construcció d'embarcacions que puguin ser més fàcilment desmuntades i reciclades.

2.4.3.3. Projectes espanyols

El projecte "Blau: Mar i sostenibilitat", emprès per la Fundació Mar, estudia la viabilitat d'un centre de reciclatge d'embarcacions. El futur centre de tractament d'embarcacions reciclarà els diversos materials, que podran ser reutilitzats posteriorment. Un dels materials més complicats de tractar és la fibra de vidre. Per ara, la via adoptada és triturar-la i llançar-la a l'abocador. Aquesta no és, tanmateix, la millor opció.

2.5. Aplicabilitat de la fibra de vidre reciclada en el sector de la construcció

Els formigons reforçats amb fibra (FRC) tenen moltes aplicacions (construcció de túnels, revestiment de parets, sostres estructurals) on les fibres s'utilitzen com a material de reforç. La funció del reforç és determinant en formigons autocompactants, formigons lleugers i formigons de poliestirè expandit [9,10]. Treballs anteriors han mostrat que el formigó polimèric és més fort que el formigó a base de ciment [11], però, el formigó polimèric tendeix a ser més car i només s'utilitza en aplicacions restringides com ara en el clavegueram, l'emmagatzematge de residus perillosos, rases, desguassos, paviments i ponts. Ara per ara, s'estan emprant epoxi, metil metacrilat i polièster insaturat com aglutinants en els formigons polimèrics.

S'ha constatat que l'ús de formigons en el que s'ha reemplaçat part de l'agregat fi per fibra augmenta la resistència reduint el pes [12]. D'altra banda, l'estudi va revelar que la resistència al foc dels formigons addicionats amb GRP són adequats per aplicacions estructurals i semi-estructural en envans. No obstant això, encara s'han de trobar alternatives de recuperació per al compost polimèric i la fibra de vidre dels residus de GRP. En el procés químic de reciclatge

dels residus derivats del poliester reforçat amb fibra mitjançant un procés de pirròlisi a 450 °C es va obtenir CO, CO_2, H_2, CH_4, gasos d'hidrocarburs, juntament amb l'oli pirolític d'alt valor calorífic per al seu ús com a combustible [5]. El procés d'incineració pot ser una de les solucions per a l'eliminació dels residus de base plàstica reforçada amb fibra, però contribueix en les emissions de substàncies tòxiques a l'atmosfera, cosa que implicaria un major cost [13].

En els primers intents que es van dur a terme per reciclar formigons i maçoneria juntament amb resines de polièster insaturat i de polietilè tereftalat (PET) dels residus plàstics es va observar que la resina augmenta la resistència del formigó polimèric [11]. D'altra banda, es va constatar que els elements àcids i bàsics no afecten el formigó polimèric. També es van dur a terme grans esforços per caracteritzar les propietats del reciclatge de la poliamida reforçada amb fibra de vidre, però la conveniència i les seves possibilitats de reciclatge encara no estan ben establerts [14,15]. Els treballs realitzats fins al moment són molt limitats i no aporten aplicacions viables per al reciclatge de residus de GRP en formigons.

En el treball [16] es proposen i s'estudien certes propostes en aquesta direcció.

2.5.1. Avantatges

2.5.1.1. Avantatge tècnics

La presència de les fibres de reforç en el formigó modifica les propietats de la matriu original mitjançant dos efectes importants com són la millora de les propietats resistents davant de qualsevol tipus de sol·licitació que indueixi tensions de tracció al formigó i la millora de la capacitat de deformació i control del procés en una matriu fràgil.

L'addició de fibres al formigó millora les propietats del material pel què fa a la ductilitat, tenacitat, resistència a flexió, resistència a l'impacte, resistència a la fatiga i resistència a compressió. La millora de les propietats va directament relacionada amb el tipus, mida, geometria i quantitat de fibres incorporades a la mescla.

Les fibres controlen el procés de fissuració no tant en la seva formació sinó en el seu desenvolupament posterior, treballant com a elements de cosit de les fissures, permeten una transmissió d'esforços que proporciona al material una resistència addicional.

A més a més, l'ús de la pols dels residus de GRP en formigons millora l'adherència del formigó a causa de la presència de CaO, Al_2O_3 i SiO_2 en els residus dels compostos polimèrics del GRP [16].

2.5.1.2. Avantatges econòmic i ambientals

L'ús de residus de GRP en el formigó contribueix a reduir costos relacionats amb el pagament dels impostos sobre el maneig, transport, emmagatzematge de residus, i l'abocador. La substitució d'àrids fins per residus de GRP en el formigó comporta l'estalvi d'aproximadament un 15% del cost de l'agregat fi (sorra substituïda). En l'actualitat, al Regne Unit gairebé tots els residus derivats del GRP s'envia als abocadors i l'impost sobre l'abocament de residus no perillosos ha augmentat fins a la taxa actual de 32 lliures/tona per 8 lliures/any el 2010/2011 [17].

D'altra banda, els formigons reforçats amb fibres pesen considerablement menys que els formigons armats donat que poden emprar-se amb gruixos inferiors.

La reacció química del ciment sobre els plàstic reforçat amb fibra no està ben establerta i cal definir la seva durabilitat a llarg termini. No obstant, els estudis sobre les interaccions químiques entre la fibra de vidre i el ciment , demostren que la fibra de vidre produïda a partir d'òxid de sodi, òxid de sílice i òxid de zirconi en forma de pols són inherentment resistent als àlcalis i, per tant, adequades per al reforç de materials compostos per ciment [18]. Aquests tipus de fibres de vidre estan sent utilitzats comercialment i no s'espera que presentin cap efecte advers en la durabilitat a llarg termini. L'aplicació de la fibra dels residus de GRP millora la resistència a flexió i redueix la propagació d'esquerdes respecte de les mostres de control (sense fibra).

2.5.2. Inconvenients

En el cas de l'ús de fibra de vidre reciclada d'origen naval en morters i formigons, la seva durabilitat en ambients alcalins es veu disminuïda degut a la tipologia de la fibra. Les fibres tipus E emprades en el sector naval no són àlcali-resistents i això suposa un inconvenient en l'aplicabilitat d'aquest residu en l'àmbit de la construcció.

En cas de resoldre aquest problema, es podria justificar l'ús de la fibra reciclada d'origen naval en morters i formigons.

2.6. Tècniques per al reciclatge de GRP

2.6.1. Tractament físic de residus GRP nets

Els processos desenvolupats [19,20] estan basat en tècniques de trituració per reduir la mida de la ferralla dels materials compostos per produir fins i materials fibrosos aptes per la fabricació de nous materials compostos. Aquests processos són, però, més adequats per a residus relativament nets i ben caracteritzats.

En el cas dels compostos procedents de vehicles en desús, els quals poden estar molt contaminats o totalment barrejats amb altres materials, les tècniques de reciclatge necessàries són aquelles capaces de gestionar els residus contaminats i les barreges de materials.

2.6.2. Tractaments químics per al reciclatge de la matriu polimèrica del GRP

També s'han considerat altres processos de reciclatge basats en la pirròlisi [21]. En aquests processos, el polímer es descompon tèrmicament en absència d'aire per produir combustible i d'hidrocarburs en estat gasós. En aquest cas, les fibres de vidre es poden recuperar dels residus generats per la pirròlisi.

La combustió amb recuperació d'energia és un altre mètode per obtenir recursos valoritzables a partir d'un residu. El desenvolupament d'aquest mètode de processament de materials compostos s'ha realitzat a la Universitat de Nottingham. Així com la resina dels compostos es pot emprar com a combustible en la indústria del ciment, els fins i la fibra de vidre calcinats i mòlts poden emprar-se com a matèria primera per a la fabricació del clinker amb que es fabrica el ciment [22].

D'altra banda, s'ha demostrat que els compostos en els que el carbonat de calci és utilitzat com a filler, aquests poden ser combustionats juntament amb carbó per reduir les emissions de sofre en l'obtenció d'energia [23].

Els processos de combustió són apropiats per a materials polimèrics barrejats i/o contaminats, i la seva implementació també és adequada per al reciclatge d'alguns materials de rebuig de la indústria automotriu.

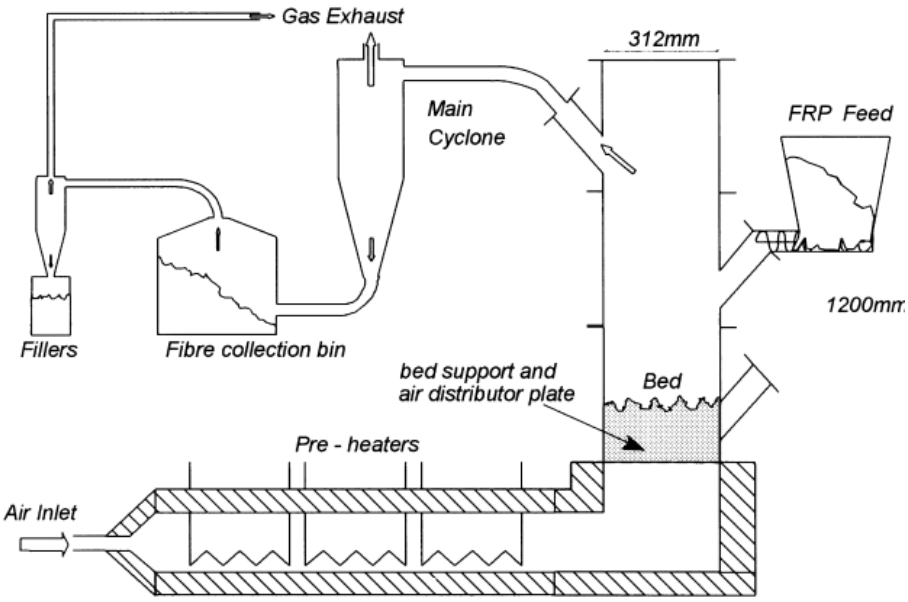
No obstant, en els compostos termoestables reforçats amb fibra, les fibres són més valuosos que el contingut energètic que es pot obtenir dels polímers de manera que per recuperar-les s'ha dissenyat una nova tècnica del "llit fluïditzat" [24].

2.6.3. Tractament químic per al reciclatge de la fibra de vidre continguda en compostos de polièster reforçats

2.6.3.1. Procés del llit fluïditzat

El llit fluïditzat [25] s'utilitza en diferents processos industrials degut a la seva capacitat per aconseguir una bona transferència de calor entre sòlids i gasos, operant amb temperatures estretament controlades. Quan es processen els materials compostos amb la tècnica del "llit fluïditzat" a altes temperatures, el polímer es descompon i entra en combustió. Això allibera les fibres i el filler, els quals són desplaçats fora del llit mitjançant el corrent de gas. Les fibres i el filler es poden extreure d'aquest corrent de gas a través, per exemple, d'un cicló. L'acció d'agitació causada per l'ascensió de les bombolles de gas a través del llit estimula la separació de les fibres i el filler, propiciant la ruptura de la composició.

El llit és de sorra de sílice graduada entre 0,5 mm i 1,0 mm, i té un gruix de 150 mm. L'aire de fluïdificació que alimenta el llit de sorra de sílice és pre-escalfat mitjançant escalfadors elèctrics i permeten operar a temperatures de fins a 750 °C.



Croquis 2.6.3.1. Aparell per a la implementació del mètode del llit fluïdificant

Els assaigs realitzats amb el llit fluïdificant s'han dut a terme a temperatures d'entre 450 °C i 650 °C, i amb velocitats de l'aire de fluïdització de 1,3 m/s fins a 1,7 m/s. En les proves, de fins a 1 hora de duració, s'ha arribat a processar un màxim de 3 kg de residu de SMC de polièster. Les fibres recuperades estan barrejades amb una important quantitat de fins i pols. El posterior rentat del material obtingut en el recipient de recollida ha demostrat que les fibres estan barrejades amb fins i pols en un percentatge que arriba al 60% en pes. L'observació microscòpica de les fibres rentades mostra que hi ha molt poc material adherit a les fibres. Això indica que el tractament tèrmic elimina de forma efectiva el polímer i deixa les fibres substancialment netes.

2.6.3.2. Resistència de les fibres de vidre reciclades

S'ha documentat que l'exposició de fibres de vidre a temperatures elevades pot degradar la seva resistència [26–31]. Per determinar l'efecte de la tècnica del processament del llit fluïditzat sobre la resistència de la fibra, es va mesurar la resistència de les fibres recuperades sota diferents condicions de tractament. Aquestes dades es van comparar amb les mesures de la resistència de fibres industrialitzades.

2.6.3.3. Preparació de la fibra recuperada

Les fibres van ser recuperades amb el procés del llit fluïditzat a una temperatura de 450°C. La major part dels fins va ser eliminats del material recuperat mitjançant un rentat amb una dissolució diluïda de detergent i el posterior tamisat amb una malla d'1 mm d'obertura. Les fibres llargues queden atrapades en la malla, mentre que la majoria de la pols i algunes fibres més curtes es perden. L'anàlisi de la composició del material retingut es va realitzar amb la crema de residus orgànics, l'eliminació amb àcid de la pols de carbonat de calci i el rentat dels fins remanents.

Es procedeix a secar, pesar i introduir tres mostres de material en un forn a 625°C durant 10 minuts. Aquest procediment té per objectiu eliminar els fins remanents així com qualsevol resta de residus orgànics en les fibres. El percentatge de pèrdua de pes promig que se'n deriva és d'aproximadament el 7%. A continuació es submergeix la mostra, continguda en un recipient, en aigua desionitzada i després s'hi afegeix àcid nítric (70% w/w). El contingut del recipient s'aboca sobres una malla d'1 mm d'obertura i s'esbandeix amb aigua desionitzada. Amb el rentat, les fibres són retingudes mentre que les partícules dels fins remanets travessen la malla. Finalment, s'assequen les fibres i es pesen per calcular el contingut de fibra del material. Amb l'aplicació d'aquest procediment es va determinar que el contingut aproximat de fibra en el material procedent del fornejat és d'un 92%. El material que finalment s'obté presenta una densitat pràcticament igual a la de la fibra de vidre industrialitzada.

Les condicions del procés s'han optimitzat per al tractament de compostos de polièster reforçats amb fibra de vidre. El llit fluïditzat s'opera a una temperatura de 450°C per minimitzar la degradació de les fibres recuperades. No obstant això, amb aquesta temperatura, no s'aconsegueix la completa combustió del polímer i per tant es requereix una cambra de combustió secundària operant a temperatures més elevades per assolir la màxima recuperació d'energia.

S'ha iniciat un programa per investigar el tractament d'altres tipus de materials compostos i per millorar el sistema de recuperació de la fibra. S'està estudiant la recuperació de fibra a partir de materials compostos basats en resines epoxi i fenòliques,les quals requeririen temperatures més altes en el procés del llit fluïditzat o un augment del temps de tractament per aconseguir una recuperació satisfactòria de fibres de vidre netes.

Els materials de rebuig obtinguts de la indústria automobilística poden contenir mescles de diferents materials polimèrics, per exemple, una doble capa de plàstic reforçat amb vidre i amb un nucli d'escuma. Els materials d'aquest tipus són adequades per tractar-se amb la tècnica del llit fluïditzat i s'estan provant en el marc del desenvolupament del programa. També s'estudiarà el tractament dels materials compostos reforçats amb fibra de carboni.

2.6.3.4. Fibres de vidre recuperades

S'ha observat que existeix una reducció significativa en la resistència de les fibres recuperades que és conseqüència directa de la temperatura a la que es processa el compost. A una temperatura de 450°C, les fibres recuperades presenten una reducció de la resistència del 50% respecte de la que presenten les fibres de vidre "verges".

Més del 50% de les fibres emprades en la fabricació d'un material DMC es poden substituir per fibres recuperades sense que aquest fet afecti les seves propietats físiques. Tanmateix, un percentatge de substitució superior causaria una disminució en la resistència a tracció i a flexió, en la tensió de càrrega punta i en la resistència a l'impacte.

2.6.4. Tractament químic per al reciclatge de la resina epoxi

En estudis anteriors, es va proposar un mètode de reciclatge químic de resina epoxi curada amb amina mitjançant l'ús d'àcid nítric [32]. La resina epoxi es descompon en una solució d'àcid nítric, i després de la descomposició, es repolimeritza el producte obtingut amb resina original i l'agent de curat d'anhídrid ftàlic (PA). La resina reciclada va mostrar unes propietats mecàniques excel·lents.

A més, les resines termoestables són generalment reforçades amb fibra de vidre per disminuir la seva fragilitat i augmentar la seva resistència formant materials compostos amb estructura complexa. Desgraciadament, des del punt de vista de reciclatge és difícil separar la matriu i del reforç. Per tal d'investigar l'aplicació pràctica d'aquesta proposta es va seleccionar la resina epoxi curada amb DDM i reforçada amb fibra de vidre BPF (PRFV) com a material experimental per al reciclatge químic [33].

En un primer moment, GFRP es va descompondre en una solució d'àcid nítric, i els productes de descomposició i la fibra van ser recuperats. Després, el producte descompost va ser utilitzat per preparar la resina reciclada, juntament amb la resina epoxi BPF original i l'agent de curat d'anhídrid ftàlic (PA), i es van examinar les propietats mecàniques de la resina.

El procediment consisteix en submergir les mostres en 70 mL de dissolució d'àcid nítric 4M (4 mol/L) i posar-les en un bany d'aigua a 80°C. En un moment determinat, la mostra es dissolia en la solució d'àcid nítric, adquirint aquesta un color groc. Quan el temps d'immersió és prou llarg, la matriu desapareixia totalment i només quedava la fibra de vidre en la dissolució. En el cas estudiat, la mostra GFRP no es va descompondre completament,de manera que la variació de pes de la matriu i de la fibra es va verificar mitjançant un procés d'incineració. En la incineració, la matriu es gasificava, mentre que el compost inorgànic –la fibra de vidre– es mantenia intacte. Així doncs la pèrdua de pes era deguda a l'eliminació de la matriu.

Després de la completa descomposició de la mostra GFRP,es retiraven les fibres de vidre, es rentaven amb abundant quantitat d'aigua desionitzada i s'assecaven a 50°C

El problema que presenta aquest procediment és que està enfocat a la recuperació de la resina que conforma la matriu del material compost de manera que recuperar la fibra vidre en bon estat és un factor secundari. Això podria solucionar-se reduint la concentració d'àcid nítric.

2.6.5. Tractament químic per al reciclatge de la pols i de les fibres dels GRP

En alguns estudis, s'han fet esforços per reciclar els residus de la pols i la fibra dels GRP en formigons i compostos de ciment i avaluar la seva qualitat per complir amb les normes britàniques per al seu ús en aplicacions constructives. Els resultats van revelar que la resistència mitjana a la compressió dels materials compostos de formigó amb un 5%-50% de pols de residus de GRP en l'aigua del curat varia entre 37 N/mm^2 i 19 N/mm^2. Això significa que l'augment de la concentració de residus GRP fa disminuir la resistència a la compressió. No obstant això, l'augment de la durada de curat (14 – 180 dies) donava lloc a la millora de la resistència a la compressió del formigó amb l'aplicació de GRP 5%, obtenint-se valors de fins a 45,75 N/mm^2. D'altra banda, la densitat del ciment amb el 50% de residus de GRP es reduïa en un 12% en comparació amb la mostra de control. La resistència a flexió en termes de mòduls de ruptura (MOR) de 12 mm de gruix compostos de ciment elaborat amb 5% de fibra de residus GRP va assolir els 16,5 N/mm^2.

Els treballs realitzats fins al moment són molt limitats i no aporten aplicacions viables per al reciclatge de residus de GRP en formigons.

Les mostres de residus de GRP en pols es tamisa amb un tamís de 2 mm i separats en fibres i la pols. En el treball [34] es presenten i s'estudien certes propostes en aquesta direcció.

Per tal d'avaluar el potencial de reciclatge de residus de GRP en prefabricats de formigó, es van dur a terme dos dels programes experimentals. En el primer, es va tractar de reciclar la pols dels residus de GRP en compostos prefabricats de formigó (és a dir, llambordes de formigó) mentre que el segon estava basat en el reciclatge de la fibra dels residus de GRP en el desenvolupament de compostos de ciment (és a dir, panells arquitectònics de revestiment). Durant la primera etapa del programa de recerca, la caracterització detallada de les mostres dels residus de GRP en termes de propietats físiques, químiques, tèrmiques i morfològiques s'ha estudiat i els resultats reportats són i discuteixen a continuació.

2.6.5.1. Desenvolupament de materials compostos de formigó

La pols obtinguda del tamisat dels residus de GRP es va utilitzar com a substitució parcial dels àrids amb quantitats del 5%, 15%, 30% i 50% de percentatge en pes. També es va fabricar mostres de control sense pols per poder comparar les seves propietats amb les dels formigons amb residus deGRP barrejats.

Per al segon grup d'experiments, es va tractar de explorar el potencial de l'ús de la fibra del residus de GRP en compostos de ciment (panells prefabricats arquitectònics de revestiment).

2.6.5.2. Resultats

Els resultats sobre l'ús de pols dels residus de GRP en productes de formigó prefabricat es resumeixen en aquesta secció. Es va demostrar que les mostres de pols dels residus de GRP compostes d'òxids de sílice, alúmina i calci que són essencials per millorar les propietats dels formigons. En comparació amb les propietats del ciment, la presència de sílice en la pols era un 33% superior mentre hi havia un 22% més d'òxids d'alúmina. El paràmetre més important és l'òxid de calci, la presència del qual era inferior en la pols dels residus de GRP, en comparació

amb el ciment de Portland. A més a més, la superfície específica dels residus de GRP era un 34% superior respecte la del ciment.

Certes investigacions van revelar que la resistència a compressió de les provetes de formigó elaborat amb la pols dels residus de GRP era més elevada que l'exigida en murs prefabricats de formigó (> 5 MPa), formigons lleugers (> 5 MPa) i blocs de formigó (7-35 MPa) cosa que confirma les possibles aplicacions dels residus de GRP com a additiu o filler de formigons [1,5].

2.6.5.3. Conclusions de l'estudi

Les principals conclusions de l'ús de residus de GRP en formigons i compostos de ciment són les següents:

La resistència mitjana a compressió del formigó amb el 5% i el 15% del residu de fibra de vidre en pols del GRP sense additius en el curat d'aigua ha assolit valors de 37 N/mm^2 i 34 N/mm^2, respectivament.

L'aplicació del 30% i 50% de pols de residus GRP en formigons va aconseguir una resistència a la compressió de 29,5 N/mm^2 i 19 N/mm^2, respectivament.

L'augment de la quantitat de residus de GRP en els formigons fa disminuir la densitat (12%). La densitat mínima, de 2140 kg/m^3, es va donar amb la substitució del 50% de pols de residus de GRP.

Es va produïr un augment en la resistència a la compressió del formigó amb l'aplicació de GRP. La resistència a la compressió a 180 dies va ser de 45,75 N/mm^2.

CaO, Al_2O_3 i SiO_2 i altres compostos dels polímers dels residus de GRP tenen el potencial per actuar com a additius per millorar l'adhesió del formigó. El contingut de fibra de vidre millora el reforç en els compostos de ciment.

Malgrat la resistència a la compressió 28 dies no va ser superior a la dels valors estàndard de formigó estructural, és a dir, 45 N/mm^2, els resultats d'aquest estudi preliminar ha demostrat una opció tecnològica viable per a la utilització de residus de GRP en productes prefabricats de formigó, com ara la pavimentació de lloses prefabricades, teules, elements prefabricats de formigó, formigó lleuger, paviment de formigó i blocs d'elements arquitectònics de

revestiment. Les propietats dels productes obtinguts dependran de la qualitat de la fibra dels residus de GRP.

Els resultats d'aquesta investigació han mostrat resultats encoratjadors i es va obrir una via per al reciclatge de pols de GRP i la fibra en el formigó i compostos de ciment.

2.6.6. Tractament per al recobriment de fibres de vidre de tipus AR

S'han intentat fer experiments per a recobrir la fibra amb fillers i capes de carboni. El recobriment, que és normalment d'unes desenes de nanòmetres de gruix mig, bàsicament consisteix en un agent acoplador organo-silano, un film polimèric i un lubricant.

L'objectiu d'aquest treball és investigar l'efecte dels recobriments orgànics en superfícies AR abans i després de l'exposició a atacs per ambient alcalí. En ell s'estudia tant la superfície i les propietats de la interfície en termes de rigidesa, morfologia, composició química i adhesivitat [35].

2.6.7. Tractament per al recobriment de fibres de vidre de tipus E

El component que diferencia les fibres de vidre AR de la resta de fibres de vidre industrials és l'òxid de zirconi, el qual representa fins el 16% de la seva composició [39]. L'òxid de zirconi evita l'atac dels hidroxils durant la hidratació del ciment i per tant els efectes deguts al gel expansiu generat [38].

En anteriors treballs, l'ús del sulfat de zirconi com a impregnació de les fibres no era l'única possibilitat. També es considerava l'ús de nitrat de zirconi. A priori, emprar nitrat de zirconi com a compost per a la impregnació de les fibres pot presentar certs avantatges com és el possible abaratiment dels costos que podria generar l'ús del mateix compost (àcid nítric) tant en la Fase 2 (neteja química) com en la Fase 3 (impregnació) del tractament proposat [36]. A més a més, cal tenir en compte que les fibres exposades a sulfats s'han de rentar acuradament amb aigua desionitzada per evitar l'atac per sulfats que s'ocasionaria a l'embeure-les en formigons [40]. Tanmateix, no podem descartar el sulfat de zirconi com a component per dur a terme el revestiment de les fibres.

Partint de treballs anteriors, es va contemplar dues possibles metodologies per a la realització de la impregnació de les fibres. Una d'elles és l'agitació de les fibres en nitrat de zirconi o en sulfat de zirconi, segons el compost que s'empri.

Aquest mètode està basat en l'agitació d'esferes de sílica en un sol-gel [41] de zirconi fabricat a partir de compostos com el nitrat, l'acetat o el sulfat de zirconi en un agitador durant un cert període de temps [42].

L'altra metodologia contemplada consisteix en el filtrat de les fibres amb sulfat de zirconi i es basa en el treball de Chang-Ling-Chen [43]. No obstant, en altres treballs aquesta metodologia va ser descartada degut a la seva ineficiència [36]. La ineficiència d'aquest mètode ve donada pel la pèrdua d'una important quantitat de zirconi en el procés de manera que es feia inviable l'adaptació d'aquest mètode a gran escala.

2.7. Discussió

Donat que la fibra bruta de que disposem (cedida per la Fundació Mar) ja està triturada seria convenient separar la fracció fina (pols i impureses) de la fibra tal i com s'indica en l'apartat 2.6.5. d'aquest capítol.

A més a més, la immersió en àcid nítric pot ser una bona opció per separar la resina que embolcalla les fibres procedents del triturat dels cascs de vaixells en desús.

Finalment, pel que fa a garantir la durabilitat de la fibra de vidre reciclada de tipus E el procedi-ment més prometedor per fer-les àlcali-resistents és el recobriment basat en el zirconi descrit en l'apartat 2.6.7.

3. MÈTODE DE TRACTAMENT

3. MÈTODE DE TRACTAMENT

3.1. Introducció

En aquest apartat es presenta el mètode de tractament de les fibres de vidre que es proposa per tal d'allargar la vida útil del residu derivat del desvastellament dels cascs d'embarcacions de lleure.

Com s'explica a continuació, el tractament proposat no és únic ja que aquest s'haurà d'adaptar en cada cas, atès que les característiques que es requeriran a les fibres per a que presentin un bon comportament dependran directament de la funció i de l'àmbit en el que es reutilitzaran.

3.2. Objectiu del tractament

L'objectiu del tractament consisteix en obtenir fibres de vidre equivalents a les de tipus AR a partir del residu que se'n deriva del matxuqueix dels cascs d'embarcacions en desús per a la seva posterior addició en formigons.

Donat que la raó de ser del tractament proposat és l'obtenció d'un producte apte per al seu ús en l'àmbit de la construcció, s'ha dissenyat una metodologia que proporcioni a les fibres de vidre d'origen naval les característiques necessàries per poder-les emprar com a addicions en morters i formigons. Tanmateix, el tractament es pot adaptar segons l'àmbit on es vulgui usar la fibra reciclada de manera que, en cas de voler reutilitzar-la en el sector naval, el tractament es podria modificar eliminant les fases que no fossin necessàries.

3.3. Procediments previs

Abans de res, però, caldrà transformar el residu procedent del desmuntatge del casc en fragments més petits. Amb el desmuntatge i matxuqueix del casc es pretén reduir el teixit de fibres fins a una mida adequada per a la seva posterior addició en formigons. Aquesta operació es subdivideix en dues fases.

En la primera, es procedeix al desmuntatge manual de tots els elements de la embarcació que no estan fabricats amb fibra de vidre (dispositius electrònics, motors, etc) i tot seguit es

fragmenta el casc de la nau en làmines amb una mida inferior a 1mx1m mitjançant una premsa hidràulica o algun tipus de maquinària semblant, com una excavadora mixta.

En la segona fase, els fragments laminars es trituren en molins especialitzats en plàstics reforçats amb fibres fins a obtenir una mida operativa. Al finalitzar el desmuntatge i matxuqueix dels cascs dels vaixells obtenim una barreja de fibres de vidre de diverses mides, resina, pols i altres impureses (vernissos i pintures del casc, etc).

3.4. Proposta de tractament de les fibres

La fibra de vidre que s'obté a través del trinxat dels cascs dels vaixells –que s'anomenarà "fibra bruta" al llarg del treball que ens ocupa–, es pot percebre a ull nu, sense que es faci necessari l'ús d'una lupa estereoscòpica; tanmateix no és visible en grans quantitats. Això és degut en gran mesura a la presència de resina polimèrica impregnant la superfície de la fibra. De la mateixa manera es pot observar certa quantitat de pols i impureses.

Partint d'aquesta barreja procedent del desmantellament de les embarcacions en desús el primer pas que cal contemplar en el tractament proposat consisteix en purificar i netejar al màxim la fibra. Per a tal propòsit, es procedirà a realitzar un seguit de tractaments físics i químics per tal d'eliminar les impureses i la resina que acompanyen la fibra de vidre de la manera més senzilla possible de manera que sigui econòmicament viable el seu reciclatge a gran escala.

Seguint les referències que s'inclouen a l'estat de l'art, s'han desenvolupat una primera fase de neteja física per a eliminar la pols i les impureses i una segona fase de neteja química per tal d'eliminar la resina.

En treballs anteriors, en els que es va estudiar la densitat de la fibra de vidre mitjançant el mètode del picnòmetre, es va poder determinar que el valor de la densitat de la fibra de vidre reciclada sense tractar és d'aproximadament 1,136 g/cm^3 [36]. Cal tenir present que la densitat de la fibra de vidre industrialitzada de tipus E, equivalents a les emprades en la fabricació d'embarcacions, té un valor de 1,6 – 1,9 g/cm^3. Aquesta diferència entre les densitats d'una i altra és indicativa de la presència de resines i altres impureses en la fibra reciclada no tractada.

Un cop sotmesa la fibra de vidre a la neteja física i a la neteja química amb àcid nítric, la fibra va assolir una densitat de 1,4 g/cm^3 [36]. Aquest augment en la densitat de la fibra tractada demostra que les Fases 1 i 2 del tractament són eficaces alhora de separar la fibra de la resina.

3.4.1. Fase 1. Neteja física

La neteja física conforma la primera fase del tractament proposat i respon a la necessitat de separar les fibres de la pols i d'altres impureses que s'hi han barrejat durant el procés de triturat i trinxat de les xapes dels cascs dels vaixells. Aquesta fase es compon d'un procés de tamisat i, en segon lloc, d'un rentat de les fibres. El tamisat realitza la funció de separar la pols i les impureses de la fibra mentre que el rentat es du a terme per eliminar els fins remanents que poden restar adherits a les fibres i que no s'han pogut eliminar amb el tamisat.

3.4.2. Fase 2. Neteja química

Tal com s'ha detallat en l'estat del coneixement, la neteja química proposada en aquest treball es basa en els experiments d'Ono et al. [32] i consisteix en submergir les fibres en una dissolució d'àcid nítric durant un temps determinat i en certes condicions amb l'objectiu d'eliminar la resina adherida per tal de garantir l'obtenció d'un bon recobriment amb la impregnació de la Fase 3 que permeti emprar-les com a addicions en aglomerants hidràulics.

Recapitulant, es coneix el component amb el que realitzar la neteja però s'ignora quines son les condicions ideals en les que s'obtenen els millors resultats.

Així doncs, cal estudiar prèviament l'efecte de les diferents variables que entren en joc en aquest procés i determinar quina combinació de valors d'aquestes variables estudiades reporta una adequada neteja de les fibres abans de procedir amb la neteja química en si.

Per a tal propòsit, s'ha estudiat l'efecte de les variables temps de neteja, molaritat de la dissolució d'àcid nítric i temperatura d'exposició.

En el cas de l'estudi de la variable temps, s'ha considerat avaluar el seu efecte sobre la neteja química de la fibra en quatre instants diferents. Els temps proposats corresponen als instants 24, 48, 72 i 96 hores.

Pel que fa a la molaritat de la dissolució d'àcid nítric s'han estudiat dos cassos per determinar la influència d'aquesta variable: una concentració 0,5 molar i una altra concentració 2 molar.

D'altra banda, s'han proposat dues possibles temperatures d'exposició tenint en compte la disponibilitat de les estufes en el moment de la realització d'aquest estudi. Així doncs, les temperatures d'exposició estudiades corresponen a 45 °C i 85 °C.

Així doncs, s'estudien 16 possibles condicions de neteja química i per tant cal preparar 32 mostres (dues mostres per a cada cas a estudiar) d'aproximadament 3 grams de "fibra tamisada" cadascuna i sotmetre-les als diferents casos de neteja química contemplats.

A continuació s'adjunta una taula on es detallen tos els casos a estudiar.

Casos a estudiar	Característiques de la neteja química
Cas 1	Temps de neteja: 24 hores. Concentració de la dissolució d'àcid nítric: 0,5 molar. Temperatura d'exposició: 40°C.
Cas 2	Temps de neteja: 24 hores. Concentració de la dissolució d'àcid nítric: 0,5 molar. Temperatura d'exposició: 80°C.
Cas 3	Temps de neteja: 24 hores. Concentració de la dissolució d'àcid nítric: 2 molar. Temperatura d'exposició: 40°C.
Cas 4	Temps de neteja: 24 hores. Concentració de la dissolució d'àcid nítric: 2 molar. Temperatura d'exposició: 80°C.
Cas 5	Temps de neteja: 48 hores. Concentració de la dissolució d'àcid nítric: 0,5 molar. Temperatura d'exposició: 40°C.
Cas 6	Temps de neteja: 48 hores. Concentració de la dissolució d'àcid nítric: 0,5 molar. Temperatura d'exposició: 80°C.
Cas 7	Temps de neteja: 48 hores. Concentració de la dissolució d'àcid nítric: 2 molar. Temperatura d'exposició: 40°C.
Cas 8	Temps de neteja: 48 hores. Concentració de la dissolució d'àcid nítric: 2 molar. Temperatura d'exposició: 80°C.
Cas 9	Temps de neteja: 72 hores. Concentració de la dissolució d'àcid nítric: 0,5 molar. Temperatura d'exposició: 40°C.
Cas 10	Temps de neteja: 72 hores. Concentració de la dissolució d'àcid nítric: 0,5 molar. Temperatura d'exposició: 80°C.
Cas 11	Temps de neteja: 72 hores. Concentració de la dissolució d'àcid nítric: 2 molar. Temperatura d'exposició: 40°C.
Cas 12	Temps de neteja: 72 hores. Concentració de la dissolució d'àcid nítric: 2 molar. Temperatura d'exposició: 80°C.
Cas 13	Temps de neteja: 96 hores. Concentració de la dissolució d'àcid nítric: 0,5 molar. Temperatura d'exposició: 40°C.
Cas 14	Temps de neteja: 96 hores. Concentració de la dissolució d'àcid nítric: 0,5 molar. Temperatura d'exposició: 80°C.
Cas 15	Temps de neteja: 96 hores. Concentració de la dissolució d'àcid nítric: 2 molar. Temperatura d'exposició: 40°C.
Cas 16	Temps de neteja: 96 hores. Concentració de la dissolució d'àcid nítric: 2 molar. Temperatura d'exposició: 80°C.

Taula 3.4.2. 1. Casos a estudiar en la fase de neteja química.

3.4.3. Fase 3. Impregnació

Amb aquesta fase es pretén proporcionar característiques àlcali resistents en la superfície de les fibres reciclades tipus E que s'obtenen del desvastellament d'embarcacions de lleure, evitant així els problemes que es deriven del gel àlcali-sílice.

Un dels principals processos de degradació del formigó són les reaccions amb els àrids que poden provocar expansions. La reacció àlcali-sílice (ASR) és la més comuna de les reaccions àlcali-àrid i es produeix quan la dissolució alcalina dels porus del formigó i els minerals silícics d'alguns àrids reacciones per formar un gel que, a l'absorbir aigua, augmenta de volum.

L'expansió és causada per la pressió osmòtica. Els gels de silicat alcalí poden exercir grans pressions d'absorció durant el procés expansiu, majors que la resistència a tracció del formigó.

Com l'expansió causada per l'ASR es deu a les tensions induïdes pel creixement del gel al absorbir l'aigua intersticial, aquesta dependrà del volum de concentració del gel, de la seva velocitat de creixement i de les seves propietats físiques.

Si la velocitat de creixement és lenta, les forces internes es dissiparan per la migració del gel a través del formigó, mentre que si la velocitat és relativament ràpida les forces internes poden arribar a un nivell en el que poden ocasionar fissures en el formigó [37].

El component que diferencia les fibres de vidre AR de la resta de fibres de vidre industrials és l'òxid de zirconi, el qual representa fins el 16% de la seva composició [39]. L'òxid de zirconi evita l'atac dels hidroxils durant la hidratació del ciment i per tant els efectes deguts al gel expansiu generat [38].

Recapitulant, a continuació de la neteja química, es realitza un revestiment de zirconi mitjançant un procediment d'impregnació que protegirà les fibres davant l'atac alcalí provocat per la matriu cementícia dels aglomerants hidràulics. Queda palès que aquesta fase del tractament és de vital importància en cas que l'aplicació de la fibra de vidre reciclada i tractada sigui la seva incorporació a formigons. En cas contrari, la seva implementació no tindria sentit.

En anteriors treballs, l'ús del sulfat de zirconi com a impregnació de les fibres no era l'única possibilitat. També es considerava l'ús de nitrat de zirconi. A priori, emprar nitrat de zirconi com a compost per a la impregnació de les fibres pot presentar certs avantatges com és el possible abaratiment dels costos que podria generar l'ús del mateix compost (àcid nítric) tant en la Fase 2 (neteja química) com en la Fase 3 (impregnació) del tractament proposat. A més a

més, cal tenir en compte que les fibres exposades a sulfats s'han de rentar acuradament amb aigua desionitzada per evitar l'atac per sulfats que s'ocasionaria a l'embeure-les en formigons [40]. Tanmateix, no podem descartar el sulfat de zirconi com a component per dur a terme el revestiment de les fibres.

Partint de treballs anteriors, es va contemplar dues possibles metodologies per a la realització de la impregnació de les fibres. Una d'elles és l'agitació de les fibres en nitrat de zirconi o en sulfat de zirconi, segons el compost que s'empri.

Aquest mètode està basat en l'agitació d'esferes de sílica en un sol-gel [41] de zirconi fabricat a partir de compostos com el nitrat, l'acetat o el sulfat de zirconi en un agitador durant un cert període de temps [42].

L'altra metodologia contemplada consisteix en el filtrat de les fibres amb sulfat de zirconi i es basa en el treball de Chang-Ling-Chen [43]. No obstant, en altres treballs aquesta metodologia va ser descartada degut a la seva ineficiència [36]. La ineficiència d'aquest mètode ve donada pel la pèrdua d'una important quantitat de zirconi en el procés de manera que es feia inviable l'adaptació d'aquest mètode a gran escala.

A més a més, cal tenir en compte l'efecte que té el temps d'agitació en la impregnació.

D'altra banda, també existeix la possibilitat d'estimular la impregnació mitjançant l'activació prèvia de les fibres. L'activació consisteix en submergir les fibres en una solució formada per 1 part en volum d'aigua oxigenada al 30% i 3 parts en volum d'àcid sulfúric al 98% durant 30 minuts [42]. Tanmateix, l'activació en si mateixa presenta diverses possibilitats d'estudi (temperatura, submersió o agitació, etc). És per això que s'ha prescindit d'ella en el tractament proposat en el present treball. Cal, però, fer un estudi del procés esmentat per aprofundir i determinar el seu rendiment i l'impacte que pot suposar en el tractament, tant en l'aspecte químic com en l'econòmic.

Resumint, la metodologia a seguir es basa en l'agitació de les fibres però cal determinar l'ús de quin dels dos components (nitrat de zirconi o sulfat de zirconi) reporta millors resultats pel que fa al recobriment de les fibres i a més a més s'ha d'avaluar l'efecte de la variable temps en el procés de impregnació. Per a tal propòsit, s'han proposat tres instants diferents, que corresponen a 16, 24 i 36 hores.

Així doncs, s'estudiaran els diferents casos per tal de determinar quin és el tractament idoni, és a dir, quina combinació d'aquestes variables reporten un adequat revestiment de les fibres.

Amb tot, s'estudien 6 possibles casos per a la realització de la impregnació i per tant cal preparar 12 mostres (dues mostres per a cada cas a estudiar) d'aproximadament 3 grams de "fibra tamisada" cadascuna i sotmetre-les a les condicions d'impregnació contemplades.

A continuació s'adjunta una taula on es detallen tos els casos a estudiar així com les característiques de cadascun.

Casos a estudiar	Característiques
Cas 1	Temps d'agitació: 16 hores. Compost emprat: nitrat de zirconi.
Cas 2	Temps d'agitació: 16 hores. Compost emprat: sulfat de zirconi.
Cas 3	Temps d'agitació: 24 hores. Compost emprat: nitrat de zirconi.
Cas 4	Temps d'agitació: 24 hores. Compost emprat: sulfat de zirconi.
Cas 5	Temps d'agitació: 36 hores. Compost emprat: nitrat de zirconi.
Cas 6	Temps d'agitació: 36 hores. Compost emprat: sulfat de zirconi.

Taula 3.4.3. 1. Casos a estudiar en la fase d'impregnació.

3.4.4. Fase 4. Garbellat

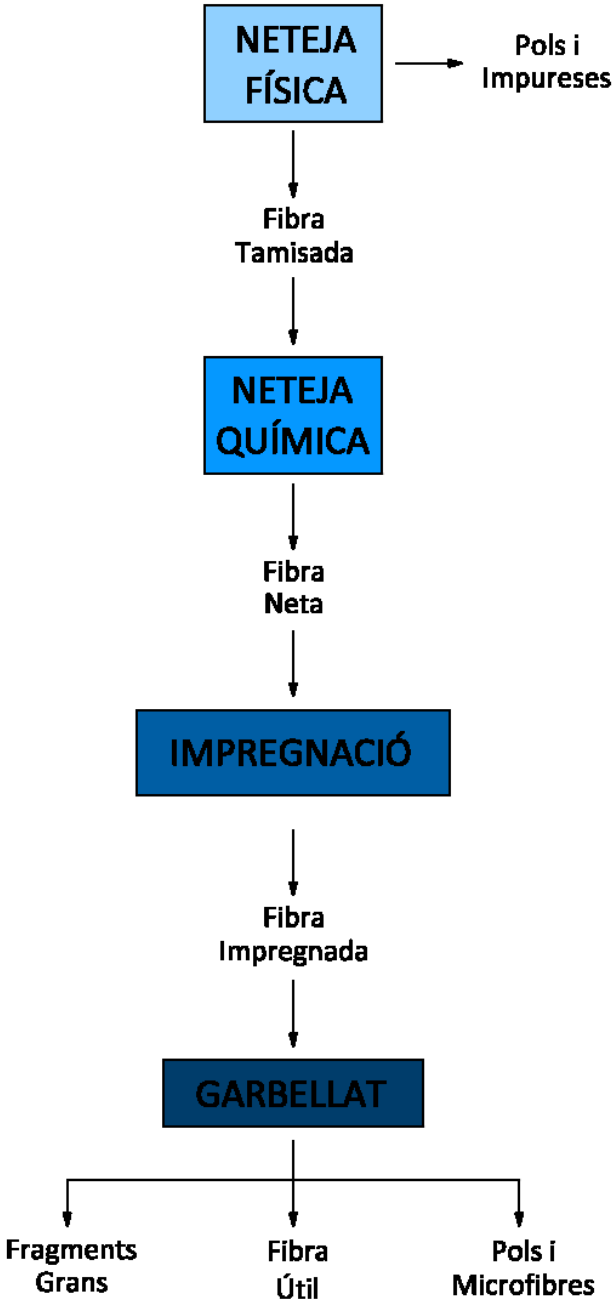
Finalment, s'establirà un procés de garbellat per obtenir les fibres que presentin una mida mínima, d'entre 6 i 13 mil·límetres. Aquesta fase és necessària degut a que en el procés de triturat només es pot controlar la mida màxima de les fibres i per tant poden existir fibres de mida petita o reduïdes a pols. A més a més cal destacar que la neteja química fa augmentar la fracció de microfibres.

Aquesta situació suposa un problema ja que cal garantir una mida mínima pera a que l'addició de fibres en morters i formigons tingui algun efecte significatiu.

Amb el garbellat, obtenim principalment tres fraccions:

- Fragments grans: acumulacions de resina y fragments que no han sigut degudament triturats.
- Fibra útil: aquelles que tenen la mida suficient per poder-les incorporar com a reforç de formigons.
- Pols i microfibres: constituïda principalment per resina i microfibra de vidre que malgrat no aportar resistència residual al formigó sí pot presentar una bona resistència a compressió si s'utilitza com a àrid fi.

A continuació s'adjunta un esquema amb les diferents fases de que consta el tractament.



3.5. Descripció del mètode de tractament

3.5.1. Fase 1. Neteja física

La primera fase consisteix en el tamisat en sec de la fibra bruta utilitzant un tamís de 2 mm d'obertura i té per objectiu separar-les de la pols i d'altres impureses que s'han barrejat amb les fibres durant el procés de triturat i trinxat de les xapes dels cascs dels vaixells. Dit d'una altra manera, el que es pretén és separar el material obtingut en el procés de matxuqueix en dues fraccions. La fracció retinguda pel tamís és aquella amb la que es prossegueix el tractament. La resta de material correspon a la fracció anomenada "pols i impureses", la qual està composta d'estelles de fusta, pols de resina, microfibres i impureses diverses.

D'inici no podem titllar de rebuig aquesta fracció donat que seria interessant estudiar si podria ser útil emprar-la com a addició en formigons. En el darrer apartat del present treball es descriu breument la proposta d'estudi de la fracció "pols i impureses".

Després de tamisar la fibra bruta es pesen les dues fraccions obtingudes i tot seguit es procedeix a rentar amb aigua la fracció retinguda en el tamís per tal d'eliminar els fins remanents, els quals podrien perdre's en fases posteriors del tractament, alterant així els resultats.

Així doncs, el rentat es du a terme amb aigua a baixa pressió (la de l'aixeta) de manera que l'aigua traspassa el tamís arrossegant els fins remanents.

A continuació es submergeix la fibra en aigua i s'agita el contingut del recipient amb una vareta amb l'objectiu de separar les estelles de fusta que pugui contenir mitjançant un procés de decantació.

Després s'aboca la fibra submergida en el tamís per eliminar l'aigua i es realitza una última esbandida amb aigua destil·lada per evitar ingerències en els resultats per part d'agents no contemplats ni quantificats que poden trobar-se en l'aigua de l'aixeta amb la que es du a terme el rentat de les fibres.

Finalment es trasllada la fibra a una safata de plàstic i s'introdueix a l'estufa de 45 °C durant 48 hores per tal d'assecar-la.

Al finalitzar la fase de neteja física s'obté el que anomenem "fibra tamisada".

3.5.2. Fase 2. Neteja química

Com ja s'ha dit abans, la segona fase del tractament consisteix en sotmetre la fibra a un procés de netejat amb l'objectiu d'eliminar la resina adherida per tal de garantir l'obtenció d'un bon recobriment amb la impregnació de la Fase 3. La neteja química es realitza submergint la fibra en una dissolució d'àcid nítric de la mateixa manera que es va fer en els experiments d'Ono et al. que es descriuen en l'apartat 2.

Primerament s'etiqueten els pots de plàstic seguint la nomenclatura proposada a l'Annex 1 del present treball per facilitar-ne la seva identificació. A continuació es pesen els pots i les mostres de fibra que, com s'ha dit abans, han de ser d'aproximadament 3 grams.

Es preparen 1,5 litres de dissolució d'àcid nítric 0,5 molar i 1,5 litres de dissolució 2 molar. En la preparació de la dissolució 0,5 molar es necessiten 35 mil·lilitres d'àcid nítric al 65% per cada litre de dissolució, és a dir, 35 mil·lilitres d'àcid nítric i 965 mil·lilitres d'aigua destil·lada. De la mateixa manera, en la preparació de la dissolució 2 molar es necessiten 140 mil·lilitres d'àcid nítric al 65% per cada litre de dissolució, o el que és el mateix, 140 mil·lilitres d'àcid nítric i 860 mil·lilitres d'aigua destil·lada.

En la preparació de les dissolucions d'àcid nítric es procedeix sempre emplenant el recipient amb uns 800 mil·lilitres d'aigua destil·lada. Després es mesuren els mil·lilitres necessaris d'àcid i s'aboquen en el recipient amb l'aigua destil·lada. És molt important abocar l'àcid en l'aigua i no al revés ja que ens podria saltar a la cara. A continuació s'afegeix aigua destil·lada fins enrasar la base del menisc amb la marca del recipient corresponent als 1000 mil·lilitres. Finalment es barreja el contingut amb una vareta.

Posteriorment, s'emplenen els pots de les mostres amb la dissolució corresponent, es tapen fermament i s'introdueixen en dues caixes de plàstic que tanquin bé per tal d'evitar l'alliberació dels vapors de l'àcid nítric de la dissolució que podrien fer malbé les estufes on es procedeix a deixar les mostres durant el temps corresponent.

Una de les caixes s'introdueix a l'estufa de 45°C i l'altra, a la de 85°C per tant, cadascuna d'elles contindrà les mostres corresponents a la temperatura d'exposició indicada en cada cas.

Un cop transcorregut el temps indicat, es retiren les mostres de les estufes i es renten per eliminar la dissolució d'àcid nítric, aturant així el procés de la neteja química.

Per al rentat de les mostres cal, primerament, decantar la dissolució evitant sempre qualsevol pèrdua de fibra. El procés de decantat no presenta cap dificultat i no requereix cap tipus d'estri o material auxiliar per dur-lo a terme donat que la fibra es troba al fons del recipient en una fase clarament separada de la dissolució. A continuació s'omple el recipient amb aigua destil·lada, es tapa i s'agita. Es deixa reposar la mostra durant 5 minuts perquè la fibra "precipiti" i es decanta de nou. Es torna a omplir el recipient amb aigua destil·lada, es tapa i s'agita suaument procurant que no quedi fibra adherida a la tapa del pot. Tot això es realitza per no malmetre amb la dissolució d'àcid nítric el tamís d'obertura 200 en el que aboquem les fibres. Un cop tenim les fibres en el tamís es netegen amb abundant aigua destil·lada. A continuació es retorna la fibra al recipient inicial intentant no perdre gens de fibra en el procés. Per a tal propòsit cal girar el tamís i abocar-hi aigua destil·lada per desenganxar tota la fibra retinguda.

Finalment tenim els pots amb la fibra neta i molla, per tant es procedeix a eliminar l'excés d'aigua mitjançant un procés de decantat i a continuació s'introdueixen les mostres amb el pot obert a l'estufa de 45°C durant 48 hores per assecar completament la fibra.

Aquest procés de rentat es du a terme amb cadascuna de les 32 mostres preparades.

Al finalitzar la neteja química s'obté l'anomenada "fibra neta".

Un cop obtinguts els resultats, es poden determinar quines són les condicions que reporten una neteja més eficaç. Sabent això, es procedeix a preparar i etiquetar 12 mostres d'aproximadament 3 grams de fibra tamisada cadascuna per sotmetre-la a la neteja química corresponent al cas "idoni". Aquestes 12 mostres es destinen a l'estudi dels diferents casos d'impregnació de la Fase 3.

3.5.3. Fase 3. Impregnació

Tal com s'ha indicat anteriorment, amb aquesta fase es pretén proporcionar característiques àlcali resistents a la superfície de les fibres reciclades. Per a tal propòsit, es procedirà a realitzar l'agitació de les fibres en una dissolució de nitrat de zirconi o de sulfat de zirconi, segons el cas.

Les reaccions que generen el sulfat de zirconi i el nitrat de zirconi, respectivament, són les següents:

$Zr(OH)_4 + 2H_2SO_4 \rightarrow Zr(SO_4)_2 + 4H_2O$

$Zr(OH)_4 + 4HNO_3 \rightarrow Zr(NO_3)_4 + 4H_2O$

La metodologia a seguir en aquesta fase del tractament es detalla a tot seguit.

Primerament cal pesar les mostres de fibra neta i seca per poder comparar posteriorment els resultats obtinguts amb aquest procediment.

A continuació es preparen 600 mil·lilitres de dissolució d'àcid nítric i 600 mil·lilitres més de dissolució d'àcid sulfúric.

Per a la dissolució d'àcid nítric 0,5 molar es necessiten 35 mil·lilitres d'àcid nítric al 65% per cada litre de dissolució, és a dir, 35 mil·lilitres d'àcid nítric i 965 mil·lilitres d'aigua destil·lada. Així doncs, per a 600 mil·lilitres de dissolució es requeriran 21 mil·lilitres d'àcid nítric al 65% i 579 mil·lilitres d'aigua destil·lada.

En la preparació de la dissolució d'àcid nítric es procedeix a emplenar el recipient amb uns 500 mil·lilitres d'aigua destil·lada. Després es mesuren els mil·lilitres necessaris d'àcid i s'aboquen en el recipient amb l'aigua destil·lada. És molt important abocar l'àcid en l'aigua i no al revés ja que ens podria saltar a la cara. A continuació s'afegeix aigua destil·lada fins enrasar la base del menisc amb la marca del recipient corresponent als 600 mil·lilitres. Finalment es barreja el contingut amb una vareta.

D'altra banda, per a la dissolució 0,5 molar d'àcid sulfúric es requereixen 27 mil·lilitres d'àcid d'àcid sulfúric al 98%, per cada litre de dissolució, és a dir, 27 mil·lilitres d'àcid nítric i 973 mil·lilitres d'aigua destil·lada. Així doncs, per a 600 mil·lilitres de dissolució es requeriran 16,2 mil·lilitres d'àcid nítric al 98% i 583,8 mil·lilitres d'aigua destil·lada.

En la preparació de la dissolució d'àcid sulfúric es procedeix a emplenar el recipient amb uns 500 mil·lilitres d'aigua destil·lada. Tot seguit es mesuren els mil·lilitres necessaris d'àcid i s'aboquen de mica en mica en el recipient amb l'aigua destil·lada ja que la reacció és molt exotèrmica. Finalment es barreja el contingut amb una vareta.

A cada litre de dissolució, tant d'àcid nítric com d'àcid sulfúric, se li afegeixen 50 grams d'òxid de zirconi en pols i, per tant, a cadascuna de les dissolucions de 600 mil·lilitres preparades se li corresponen 45 grams. Un cop afegit l'òxid de zirconi, es barreja el contingut amb una vareta.

Donat que el l'òxid de zirconi té una textura molt fina –semblant a la de la farina– i s'enganxa molt a les parets del recipient que el conté, es procedeix a pesar una quantitat lleugerament superior per compensar qualsevol pèrdua deguda a aquesta característica del reactiu en qüestió.

Tot seguit, s'emplenen els pots de les mostres amb la dissolució corresponent –procurant barrejar la dissolució abans d'abocar-la per evitar qualsevol pèrdua de zirconi– i es tapen amb fermesa.

A continuació, s'introdueixen les mostres en els recipients destinats a l'agitador (dues mostres en cada recipient), s'emplenen els recipients en qüestió amb paper de diari per impedir que les mostres es moguin i s'encaixen a l'agitador.

Les mostres romanen en l'agitador durant el temps corresponent, girant a una velocitat de 7 revolucions per minut (rpm) fet que genera una força centrífuga que estimula la barreja.

Un cop transcorregut el temps indicat, es retiren les mostres d'agitador i es renten per eliminar la dissolució de nitrat de zirconi o de sulfat de zirconi.

Per al rentat de les mostres cal, primerament, decantar la dissolució evitant sempre qualsevol pèrdua de fibra. El procés de decantat en el cas del nitrat de zirconi no presenta cap dificultat i no requereix cap tipus d'estri o material auxiliar per dur-lo a terme donat que la fibra es troba al fons del recipient. El decantat és més complicat en el cas del sulfat de zirconi ja que les fibres suren. A continuació s'omple el recipient amb aigua destil·lada, es tapa i s'agita. Es deixa reposar la mostra durant 5 minuts perquè la fibra "precipiti" i es decanta de nou. Es torna a omplir el recipient amb aigua destil·lada, es tapa i s'agita suaument procurant que no quedi fibra adherida a la tapa del pot. Tot això es realitza per no malmetre el tamís d'obertura 200 en el que aboquem les fibres. Un cop tenim les fibres en el tamís es netegen amb abundant aigua destil·lada. A continuació es retorna la fibra al recipient inicial intentant no perdre gens de fibra en el procés. Per a tal propòsit cal girar el tamís i abocar-hi aigua destil·lada per desenganxar tota la fibra retinguda.

Finalment tenim els pots amb la fibra tractada i molla, per tant es procedeix a introduir les mostres amb el pot obert a l'estufa de 45°C durant 48 hores per assecar completament la fibra.

Aquest procés de rentat es du a terme amb cadascuna de les 12 mostres preparades.

Al finalitzar la neteja química s'obté l'anomenada "fibra tractada".

3.5.4. Fase 4. Garbellat

En aquesta fase el que es pretén és seleccionar les fibres que presenten una longitud suficient com per ser incorporades a morters i formigons.

Per assolir aquest objectiu es procedeix a abocar la fibra en el joc de tamisos prèviament acoblats i disposats, de dalt a baix, en ordre decreixent de la mida d'obertura amb fons i tapa. En el cas que ens ocupa, s'utilitzen els tamisos de 5 i 10 centímetres d'obertura. Tot seguit, s'agita el joc de tamisos acoblats i es disposen les fraccions retingudes per cada tamís en safates pesades anteriorment. A continuació es du a terme el pesat de les fraccions obtingudes.

3.6. Comprovació de l'eficàcia del tractament.

Un cop finalitzat l'anàlisi dels resultats de les diferents fases es procedeix a comprovar la utilitat i eficàcia del tractament proposat mitjançant l'atac alcalí de les fibres.

L'atac alcalí que pateixen les fibres de vidre embegudes en conglomerants hidràulics només es pot avaluar a llarg termini. Per qüestions de temps aquesta opció resulta inviable. És per aquest motiu que s'ha optat per simular l'efecte de l'atac alcalí mitjançant un procediment a curt termini.

El procediment en qüestió consisteix en submergir les fibres en una dissolució 1 molar d'hidròxid de sodi (40 grams de NaOH per cada litre de dissolució) a 80°C durant un període determinat de temps.

Així doncs, l'equivalència de referència entre el mètode a curt termini i el de llarg termini és la següent: fibres submergides en la dissolució d'hidròxid de sodi durant 90 dies sofreixen un atac equivalent a les que presentarien les fibres embegudes en formigó durant 25 anys [44].

En l'estudi que ens ocupa i basant-nos en aquesta equivalència de referència, es procedeix a realitzar una submersió de les fibres de 6 dies que equivaldria a l'atac alcalí sofert per les fibres embegudes durant quasi 2 anys naturals.

3.7. Proposta de la campanya experimental

- Jornada 0. Divendres 27 de maig.

  Durant aquesta jornada de treball es procedeix, primer de tot, a pesar uns 300 grams de fibra bruta. Tot seguit es du a terme la Fase 1 del tractament: la neteja física. Així doncs, es tamisa la fibra bruta en tongades d'uns 25 grams amb un tamís de 2 mil·límetres d'obertura, es pesen les dues fraccions obtingudes, es renta amb aigua la fracció retinguda en el tamís i es deixa assecar dins l'estufa de 40°C durant 48 hores (per qüestions de calendari en realitat són 72 hores).

- Jornada 1. Dilluns 30 de maig.

  Passades les 72 hores d'assecat de les fibres es procedeix a pesar la fibra tamisada i a realitzar l'estudi de la neteja química, la qual correspon a la Fase 2 del tractament. La jornada es dedica a pesar els 32 pots de plàstic i la quantitat de fibra de cada pot, classificar i etiquetar les mostres, preparar les dissolucions 0,5 molar i 2 molar de HNO_3, submergir les fibres en la dissolució de HNO_3 i introduir les mostres amb el pots tancats en caixes protectores que alhora s'introdueixen en les estufes de 40°C i 80°C.

  D'altra banda, a més de les 32 mostres necessàries per a l'estudi de la neteja química, es preparen dues mostres més. Aquestes dues mostres extres, C i D, es destinen a avaluar el comportament de les fibres tamisades, a estudiar el comportament de la resina davant l'atac alcalí i determinar si aquesta protegeix o no la fibra de vidre.

- Jornada 2. Dimarts 31 de maig.

  Prosseguint amb l'estudi de la neteja química, es retiren les mostres 1 – 8 de les estufes i es renten amb aigua mitjançant un tamís #200 per no perdre fibra en el procés. A continuació s'introdueixen les mostres netes 1 – 8 a l'estufa de 40°C durant 48 hores amb els pots oberts perquè s'assequin.

- Jornada 3. Dimecres 1 de juny.

  Es prossegueix amb l'estudi de la neteja química, retirant les mostres 9 – 16 de les estufes i rentant-les amb aigua emprant un tamís #200 per no perdre fibra en el procés. A continuació s'introdueixen les mostres netes 9 – 16 a l'estufa de 40°C durant 48 hores amb els pots oberts perquè s'assequin.

- Jornada 4. Dijous 2 de juny.

  Prosseguint amb l'estudi de la neteja química, es retiren les mostres 17 – 24 de les estufes i es renten amb aigua utilitzant un tamís #200 per no perdre fibra en el procés. A continuació s'introdueixen les mostres netes 17 – 24 a l'estufa de 40°C durant 48 hores (a la pràctica i per qüestions de calendari, les mostres romanen a l'estufa durant 96 hores) amb els pots oberts perquè s'assequin.

  D'altra banda, s'inicia el pesat dels posts amb la fibra neta i seca de les mostres 1 – 8.

- Jornada 5. Divendres 3 de juny.

  Continuant l'estudi de la neteja química, es retiren les mostres 25 – 32 de les estufes i es renten amb aigua utilitzant un tamís #200 per no perdre fibra en el procés. A continuació s'introdueixen les mostres netes 1 – 8 a l'estufa de 40°C durant 48 hores (per qüestions de calendari en realitat són 72 hores) amb els pots oberts perquè s'assequin.

  Es finalitza la jornada pesant els posts amb la fibra neta i seca de les mostres 9 – 16.

- Jornada 6. Dilluns 6 de juny.

  En aquesta jornada de treball es procedeix a pesar els pots amb la fibra neta i seca de les mostres 17 – 24 i 25 – 32.

  Tot seguit es fotografien totes les mostres amb la lupa estereoscòpica. En acabat, i disposant dels resultats dels diferents casos estudiats de la neteja química, s'analitzen les dades i es determina quines condicions de neteja reporten els millors resultats.

  A continuació, es procedeix a pesar uns 150 grams de fibra bruta. Tot seguit es du a terme la neteja física, és a dir, es tamisa la fibra bruta en tongades d'uns 25 grams amb un tamís de 2 mil·límetres d'obertura, es renta la fibra amb aigua i finalment es deixa assecar dins l'estufa de 40°C durant 48 hores.

- Jornada 7. Dimecres 8 de juny.

  Passades les 48 hores d'assecat de les fibres es procedeix a realitzar la neteja química corresponent al cas 6 (NETEJA – 48h – 0,5M – 80°C), és a dir, el cas òptim. La jornada es dedica a pesar els 12 pots de plàstic i la quantitat de fibra de cada pot, classificar i etiquetar les mostres, preparar la dissolució 0,5 molar de HNO3, submergir les fibres en la dissolució de HNO3 i introduir les mostres amb el pots tancats en una caixa protectora que alhora s'introdueix a l'estufa de 80°C.

A més a més de les 12 mostres necessàries per a l'estudi de la impregnació, es preparen dues mostres més. Aquestes dues mostres extres, A i B, es destinen a avaluar el comportament de les fibres netes (sense resina) no revestides davant l'atac alcalí.

- Jornada 8. Divendres 10 de juny.

  Es retiren les mostres 33 – 44 i les mostres A i B de l'estufa i es renten amb aigua utilitzant un tamís #200 per no perdre fibra en el procés. A continuació s'introdueixen les mostres netes 33 – 44, A i B a l'estufa de 40°C durant 48 hores (per qüestions de calendari en realitat són 72 hores) amb els pots oberts perquè s'assequin.

- Jornada 9. Dimarts 14 de juny.

  Un cop seques, es procedeix a pesar els pots amb la fibra neta i seca de les mostres 33 – 44 i de les mostres A i B.

  A continuació s'inicia l'estudi de la impregnació corresponent a la Fase 3 del tractament proposat. Així doncs, es preparen les dissolucions de sulfat de zirconi i de nitrat de zirconi per al revestiment, es submergeixen les fibres de les mostres 33 – 44 en les solucions impregnants i s'introdueixen a l'agitador.

- Jornada 10. Dimecres 15 de juny.

  Continuant amb l'estudi de la impregnació de la Fase 3, es procedeix a retirar les mostres 33 – 36 de l'agitador, 16 hores després de la seva introducció. A continuació es procedeix a filtrar i netejar les mostres 33 – 36 i, posteriorment, a introduir-les a l'estufa de 40°C durant 48 hores amb el pot obert per assecar les fibres.

  Més tard, es retiren les mostres 37 – 40 de l'agitador, 28 hores després de la seva introducció. A continuació es procedeix a filtrar i netejar les mostres 37 – 40 i, posteriorment, a introduir-les a l'estufa de 40°C durant 48 hores amb el pot obert per assecar les fibres.

- Jornada 11. Dijous 16 de juny.

  Es prossegueix l'estudi de la impregnació, retirant les mostres 41 – 44 de l'agitador, transcorregudes 40 hores des de la seva introducció. A continuació es procedeix a filtrar i netejar les mostres 41 – 44 i, posteriorment, a introduir-les a l'estufa de 40°C durant 48 hores (per qüestions de calendari les mostres estan 96 hores a l'estufa) amb el pot obert per assecar les fibres.

- Jornada 12. Divendres 17 de juny.

  La jornada es dedica a retirar les mostres 33 – 36 de l'estufa i a pesar els pots amb la fibra neta, revestida i seca de les mostres 33 – 36.

- Jornada 13. Dilluns 20 de juny.

  La jornada de treball s'inicia retirant les mostres 37 – 44 de l'estufa i a pesant els pots amb la fibra neta, revestida i seca de les mostres 37 – 44.

  A continuació és du a terme el garbellat i es pesen les fraccions corresponents als fragments grans, la fibra útil i la pols i les microfibres.

  Finalment, s'inicia l'atac alcalí submergint en aigua destil·lada les mostres A, B, C, D i 33 – 44 i introduint-les a l'estufa de 80°C durant 24 hores.

- Jornada 14. Dimarts 21 de juny.

  En aquesta jornada es continua amb l'atac alcalí. Així doncs, es procedeix a eliminar l'aigua destil·lada de les mostres sense perdre fibra en el procés i a preparar la dissolució 1 molar de NaOH. Tot seguit es submergeixen les fibres de les mostres A, B, C, D i 33 – 44 en la dissolució de NaOH i s'introdueixen de nou a l'estufa de 80°C durant 6 dies.

- Jornada 15. Dilluns 27 de juny.

  La jornada es dedica a prosseguir amb l'atac alcalí. Es retiren les mostres A, B, C, D i 33 – 44 de l'estufa i es renten amb aigua utilitzant un tamís #200 per no perdre fibra en el procés. A continuació s'introdueixen les mostres a l'estufa de 40°C durant 48 hores.

- Jornada 16. Dimarts 29 de juny.

  La darrera jornada de treball es dedica a pesar i fotografiar les mostres seques i atacades A, B, C, D i 33 – 44 i a analitzar els resultats obtinguts.

  A més a més també es fotografien les mostres corresponents a la fibra bruta, a la fracció "pols i impureses" i a la fibra tamisada.

4. RESULTATS I ANÀLISI

4. RESULTATS I ANÀLISI

4.1. Introducció

En aquest capítol es compilen i s'analitzen els resultats obtinguts al llarg de les diferents fases que conformen el tractament proposat amb l'objectiu d'esbrinar l'impacte i el rendiment de cadascuna d'elles. De la mateixa manera, en aquest apartat també s'inclouen i s'avaluen les dades recollides durant l'atac alcalí de les fibres.

L'objectiu general d'aquest capítol és determinar quins són els procediments òptims de les diferents fases de que consta el tractament proposat per al reciclatge de les fibres d'origen naval i la seva posterior aplicació en formigons.

Pel que fa als objectius específics, en aquest capítol es pretén:

- Determinar els percentatges de fibra, pols i fins remanents que s'obtenen després de dur a terme la neteja física.
- Estudiar l'efecte de les diferents variables que entren en joc en la fase de neteja química i determinar quina combinació de valors reportaran una adequada eliminació de la resina adherida a la superfície de les fibres.
- Estudiar l'efecte de les diferents variables que influeixen en la Fase 3, corresponent al tractament superficial d'impregnació i determinar amb quina combinació s'obtindrà el millor recobriment de les fibres.
- Determinar el percentatge de fibra útil que s'obté després del garbellat.
- Determinar l'efecte de l'atac alcalí en les fibres obtingudes al final de cada fase del tractament proposat.

Per a l'anàlisi i estudi dels resultats ens ajudarem de gràfiques i taules, les quals permeten copsar ràpida i visualment les dades obtingudes. En ocasions, també es farà referència a fotografies que es troben recollides en l'Annex 2 del present treball per il·lustrar els efectes de les diferents fases del tractament sobre les fibres.

4.2. Discussió dels resultats

4.2.1. Resultats del tractament proposat

En aquest apartat es presenten i s'analitzen els resultats obtinguts al llarg de les diferents fases que conformen el tractament proposat.

4.2.1.1. Resultats de la neteja física

Per a l'estudi de la Fase 1 corresponent a la neteja física cal avaluar les dades obtingudes en el pesat de les fraccions que s'obtenen del tamisat i rentat de la fibra bruta.

Les dades a estudiar s'obtenen en les pesades realitzades en els següents instants de la Fase 1:

- Pesada abans d'iniciar el tamisat: s'obté el pes de la fibra bruta.
- Pesada després del tamisat: s'obté el pes de la fibra retinguda pel tamís, a la que anomenarem "fibra separada", i el pes de la fracció "pols i impureses".
- Pesada després del rentat i assecat: s'obté el pes de la fibra rentada, el que s'anomena "fibra tamisada" al llarg de tot treball.

Cal, però, posar èmfasis en un aspecte del tamisat. Per tal d'obtenir uns resultats realistes i de confiança el procés de tamisat de la fibra s'ha d'executar en tongades d'uns 20 grams de manera que tota la fibra estigui en contacte amb la malls del tamís. A més a més, fixar la quantitat de fibra bruta que es tamisa en cada tongada repercuteix directament en l'homogeneïtat dels resultats. En cas de treballar amb una quantitat superior, el tamisat perdria eficàcia.

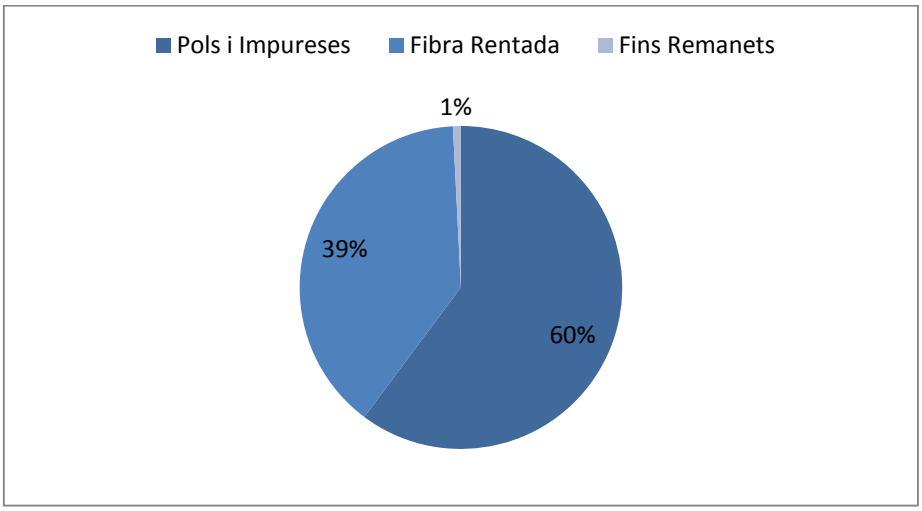
Tot seguit s'adjunta la taula de mesures corresponents a la Fase 1 del tractament, les quals estan expressades en grams.

	Pes Safata	Pes Safata i Fibra	Pes de la Fracció	% en Pes
Fibra Bruta	315,9	616,1	300,2	100
Fibra Separada	103,8	223,3	119,5	39,8
Pols i Impureses	259,6	440,3	180,7	60,2
Fibra Rentada	127,7	244,8	117,1	39
Fins Remanets	-	-	2,4 (*)	0,8

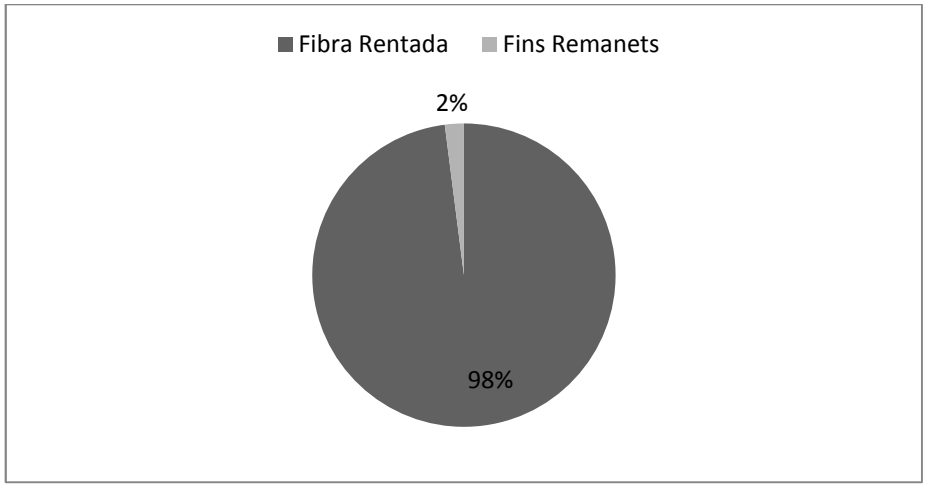
Taula 4.2.1.1. Mesures de la Fase 1 del tractament proposat.

(*) El pes dels fins remanents no és una mesura sinó un càlcul del que es perd en el procés de rentat. Aquesta dada, per tant, s'obté restant el pes de la fibra rentada al pes de la fibra separada.

Els resultats que es deriven de la Fase 1 del tractament proposat es presenten en els següents gràfics:



Gràfic 4.2.1.1. 1. Composició percentual de la fibra bruta.



Gràfic 4.2.1.1. 2. Composició percentual de la fibra separada.

Com ja s'ha dit anteriorment, en el procés de triturat només es pot controlar la mida màxima de les fibres i, per tant, en el residu obtingut del matxuqueix dels cascs de les embarcacions existeix una fracció composta de fibres de mida petita o reduïdes a pols i impureses diverses. Aquest fet pot explicar l'obtenció de l'elevat percentatge de la fracció "pols i impureses"que es pot observar en el Gràfic 4.2.1.1. 1.

Aquest fet indica que, ara per ara, només en la primera fase del tractament es descartaria el 60% del material obtingut en el procés de triturat dels cascs. És més que recomanable, per tant, seguir una línia d'investigació en la direcció marcada per estudis anteriors [16] per tal d'estudiar les propietats i el comportament que presentarien formigons addicionats amb un cert percentatge de la fracció "pols i impureses" i/o trobar sortida a aquest residu en altres àmbits aliens a la construcció.

Pel que fa al Gràfic 4.2.1.1. 2, és evident que la quantitat de fins remanents que es perden amb el rentat de la fracció retinguda pel tamís és pràcticament insignificant però, al ser el rentat un procediment molt senzill i barat, sembla convenient mantenir-lo en el tractament.

D'altra banda, en les fotografies de l'apartat A2.2, A2.3 i A2.4 de l'Annex 2 del present treball s'observa que la fibra bruta té un aspecte com de pelussa, cosa que indica l'elevat grau d'impuresa del material. Tanmateix, al finalitzar la Fase 1 es pot percebre la gran millora en l'aspecte de la fibra. Per començar, es pot identificar immediatament les fibres degut a la netedat de la fracció. A més a més, després del rentat dels fins remanents, les fibres presenten un color blanquinós que no s'observava anteriorment.

4.2.1.2. Resultats de la neteja química

En aquest apartat es presenten els resultats corresponents a l'estudi de les condicions òptimes de la neteja química i a la neteja química en sí.

Així doncs, cal estudiar prèviament l'efecte de les diferents variables que entren en joc en aquest procés i determinar quina combinació de valors d'aquestes variables estudiades reporten una adequada neteja de les fibres abans de procedir amb la neteja química en si. En resum, l'objectiu és determinar quin dels casos estudiats reporta els millors resultats en la Fase 2 del tractament proposat. En altres paraules, el que es pretén és conèixer quines condicions

de temperatura, concentració de la dissolució d'àcid nítric i temps de neteja cal aplicar per eliminar eficaçment la resina que embolcalla la fibra.

Per a tal propòsit es procedeix a avaluar el percentatge de pèrdua de pes que pateixen les mostres estudiades degut a la immersió en la dissolució d'àcid nítric. Per obtenir el percentatge de la pèrdua de pes que busquem cal mesurar el pes de les mostres abans i després de sotmetre-les a la neteja química.

Així doncs, les dades a estudiar són les obtingudes de les pesades realitzades en els següents instants de la Fase 2:

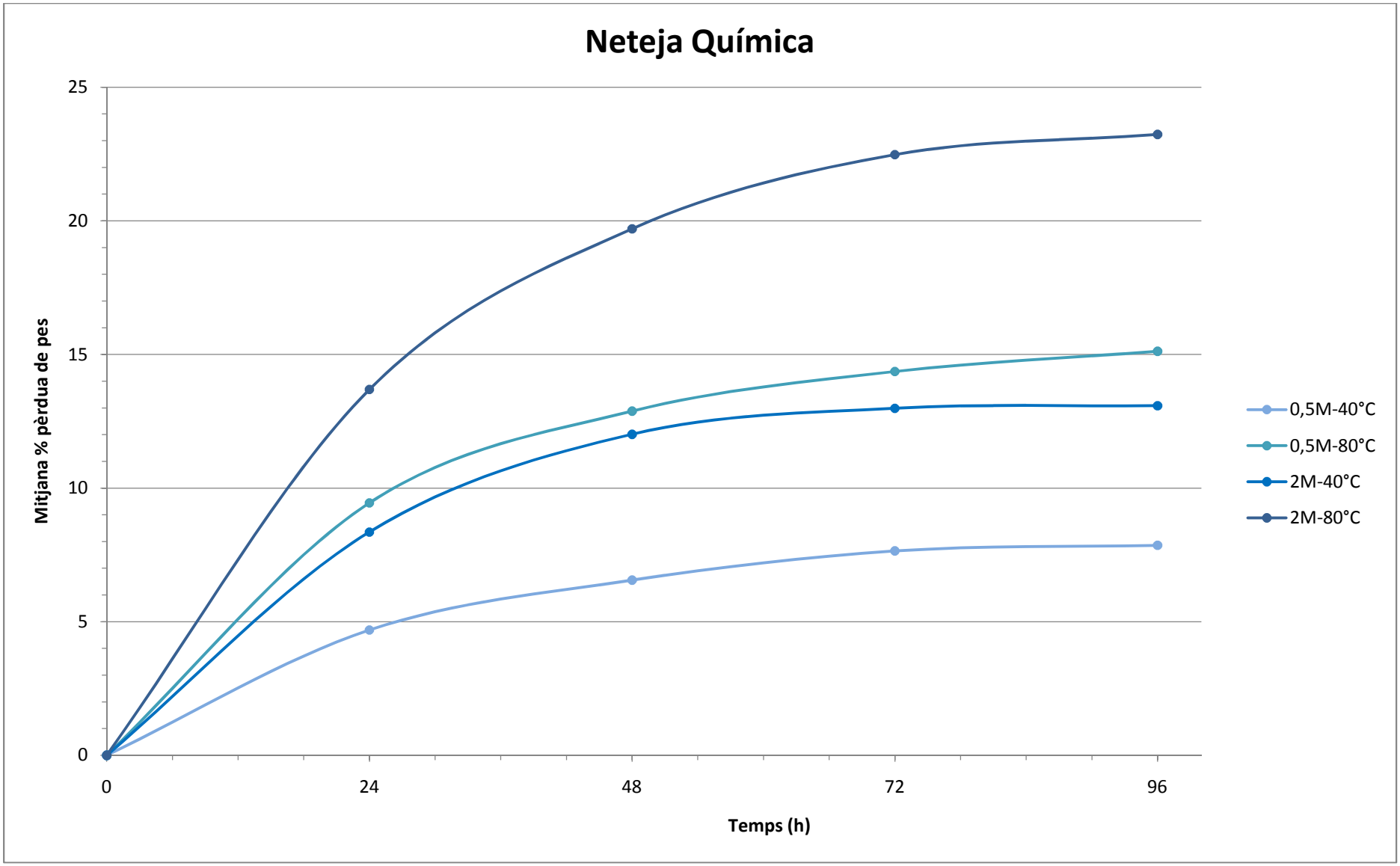
- Pesada abans d'iniciar la neteja química: s'obté el pes de la fibra tamisada.
- Pesada després de la neteja química i de l'assecat: s'obté el pes de la fibra neta.

Els resultats es resumeixen en la Taula 4.2.1.2. 1 i es poden visualitzar en el Gràfic 4.2.1.2. 1 mentre que les mesures obtingudes en les pesades de les mostres es recullen en la Taula 4.2.1.2. 2. Ambdues taules i la gràfica esmentada s'adjunten a continuació:

	Mitjana % Pèrdua Pes			
Temps (h)	**0,5M-40°C**	**0,5M-80°C**	**2M-40°C**	**2M-80°C**
0	0	0	0	0
24	4,69037068	9,4451452	8,35473279	13,68968799
48	6,55596948	12,879873	12,0117339	19,70100735
72	7,64896092	14,3624556	12,9846473	22,47740252
96	7,85955545	15,1191676	13,078945	23,23355043

Taula 4.2.1.2. 1. Resultats de la Fase 2 del tractament proposat.

És obvi que com més elevada és la temperatura, més intensa és la neteja química. També sembla raonable afirmar que a partir de les 48 hores el temps perd influencia en la intensitat de la neteja. Aquesta conclusió s'extreu de la suavització de la curvatura del resultats graficats que es pot observar a partir de les 48 hores. Així doncs, basant-nos en els resultats graficats, sembla evident que la temperatura d'exposició ideal és 80°C i que 48 hores sembla ser el temps de neteja més adequat. En canvi, la tria de la molaritat de la dissolució d'àcid nítric no és tan obvia.



Gràfic 4.2.1.2. 1. Influència en la neteja química de les diferents combinacions de les variables concentració de la dissolució de HNO_3 i temperatura d'exposició.

	Mostra	Pes Pot	Pes Fibra Tamisada	Pes Pot i Fibra Neta	Pes Fibra Neta	% Pèrdua Pes	% Promig Pèrdua Pes
NETEJA – 24h – 0,5M – 40°C	1	16,7384	2,9279	19,5101	2,7717	5,334881656	4,69037068
	2	16,7324	3,0179	19,6282	2,8958	4,045859704	
NETEJA – 24h – 0,5M – 80°C	3	16,6359	2,9764	19,3505	2,7146	8,795860771	9,445145205
	4	16,7111	3,0393	19,4436	2,7325	10,09442964	
NETEJA – 24h – 2M – 40°C	5	16,7708	2,9745	19,5105	2,7397	7,893763658	8,354732794
	6	16,8452	3,006	19,5862	2,741	8,815701929	
NETEJA – 24h – 2M – 80°C	7	16,6288	3,0465	19,281	2,6522	12,94272116	13,68968799
	8	16,7697	3,0097	19,3449	2,5752	14,43665482	
NETEJA – 48h – 0,5M – 40°C	9	16,7754	2,9704	19,5301	2,7547	7,261648263	6,55596948
	10	16,7142	3,0272	19,5643	2,8501	5,850290698	
NETEJA – 48h – 0,5M – 80°C	11	16,8533	2,9958	19,4451	2,5918	13,48554643	12,87987295
	12	16,7859	2,9949	19,4132	2,6273	12,27419947	
NETEJA – 48h – 2M – 40°C	13	16,7776	3,018	19,4388	2,6612	11,82239894	12,01173387
	14	16,7709	2,994	19,3996	2,6287	12,2010688	
NETEJA – 48h – 2M – 80°C	15	16,7632	3,0198	19,1663	2,4031	20,42188224	19,70100735
	16	16,7289	3,02	19,1757	2,4468	18,98013245	
NETEJA – 72h – 0,5M – 40°C	17	16,6383	3,0302	19,4905	2,8522	5,874199723	7,648960923
	18	16,8392	3,0402	19,5929	2,7537	9,423722124	
NETEJA – 72h – 0,5M – 80°C	19	16,7577	3,0062	19,3846	2,6269	12,61725767	14,36245558
	20	16,8586	2,9725	19,3523	2,4937	16,10765349	
NETEJA – 72h – 2M – 40°C	21	16,7922	3,0042	19,4024	2,6102	13,11497237	12,98464726
	22	16,8002	2,9881	19,4042	2,604	12,85432214	
NETEJA – 72h – 2M – 80°C	23	16,7105	2,9793	19,0451	2,3346	21,63931125	22,47740252
	24	16,8526	3,0083	19,1595	2,3069	23,3154938	
NETEJA – 96h – 0,5M – 40°C	25	16,7726	2,9976	19,4975	2,7249	9,097277822	7,859555447
	26	16,7979	3,0037	19,6027	2,8048	6,621833073	
NETEJA – 96h – 0,5M – 80°C	27	16,641	3,0277	19,1981	2,5571	15,54315157	15,11916757
	28	16,7137	2,969	19,2464	2,5327	14,69518356	
NETEJA – 96h – 2M – 40°C	29	16,7769	3,0071	19,3754	2,5985	13,58784211	13,07894505
	30	16,756	2,9801	19,3615	2,6055	12,57004798	
NETEJA – 96h – 2M – 80°C	31	16,7181	3	19,0411	2,323	22,56666667	23,23355043
	32	16,7563	3,0171	19,0523	2,296	23,90043419	

Taula 4.2.1.2. 2. Mesures de la Fase 2 del tractament proposat.

En conseqüència, les condicions de neteja més raonables corresponen als casos 6 i 8, els quals corresponen a la NETEJA – 48h – 0,5M – 80°C i a la NETEJA – 48h – 2M – 80°C respectivament.

Per determinar quin dels dos casos és el més adient per dur a terme la neteja química cal procedir a l'estudi visual de les mostres en qüestió.

A ull nu sembla que les fibres de les mostres del cas 6 presenten un aspecte més esbullat, més dispers, cosa que pot indicar una correcta eliminació de la resina adherida. Pel que fa a les fibres de les mostres del cas 8, aquestes presenten un aspecte més "pentinat" que les del cas 6. En un examen més exhaustiu amb la lupa estereoscòpica es verifica el que s'havia observat a ull nu.

Com es pot observar en les fotografies A2.5. 11, A2.5. 12, A2.5. 15 i A2.5. 16 de l'Annex 2, en les mostres del cas 6 es poden identificar cristalls de resina solidificada i, en canvi, en les mostres del cas 8 no se'n detecta pràcticament cap. A més a més, els extrems de les fibres de les mostres del cas 8 presenten un aspecte lleugerament arrissat. Tot plegat pot indicar que a 48 hores la concentració 2 molar pot ser massa elevada i agressiva per a la neteja química.

Tot sembla indicar, per tant, que el cas idoni per a la Fase 2 és el cas 6 que correspon a la NETEJA – 48h – 0,5M – 80°C.

Tanmateix, un cop descartat el cas 8 de la neteja química, podria assaltar-nos el dubte de triar entre el cas 6 (NETEJA – 48h – 0,5M – 80°C) i el cas 4 (NETEJA – 24h – 2M – 80°C) donat que ambdós casos presenten uns resultats força semblants.

Davant d'aquest impàs la tria s'ha de realitzar en base a criteris econòmics. És a dir, a l'hora d'implantar el tractament a gran escala, què seria més beneficiós, estalviar temps o economitzar l'ús de reactius?

Per una altra part, caldria estudiar si és possible emprar la dissolució d'àcid nítric en més d'una ocasió per dur a terme un seguit de tandes de neteja química mantenint la mateixa eficiència. Així doncs, s'hauria de determinar el nombre de vegades que es pot reutilitzar la dissolució d'àcid nítric en els casos 4 i 6 i fer la tria a partir d'aquesta dada.

Donat que l'estudi que ens ocupa és a petita escala i que, per tant, la dissolució d'àcid nítric s'ha emprat una sola vegada per dur a terme la neteja química s'ha decidit triar les condicions de neteja del cas 6.

Un cop determinades les condicions ideals de la Fase 2, es procedeix a netejar 14 mostres més, 12 de les quals es destinaran a l'estudi del procés d'impregnació de la Fase 3. Les altres dues mostres, A i B, es reserven per a l'avaluació del comportament de les fibres netes (sense resina) no revestides davant l'atac alcalí.

A continuació s'adjunta la taula de mesures obtingudes en la neteja química d'aquestes 14 mostres:

NETEJA – 48h – 0,5M – 80°C					
Mostra	**Pes Pot**	**Pes Fibra Tamisada**	**Pes Pot i Fibra Neta**	**Pes Fibra Neta**	**% Pèrdua Pes**
35	16,7512	2,9968	19,3781	2,6269	12,34316604
36	16,6418	2,9953	19,2883	2,6465	11,64491036
39	16,7712	3,0084	19,4517	2,6805	10,89948145
40	16,7075	3,0029	19,3409	2,6334	12,30477205
43	16,7726	2,9937	19,3777	2,6051	12,98059258
44	16,7666	2,9935	19,3997	2,6331	12,03941874
47	16,6299	2,9961	19,2871	2,6572	11,31137145
48	16,8319	2,9992	19,4063	2,5744	14,16377701
51	16,738	2,9988	19,3159	2,5779	14,03561425
52	16,7898	3,0017	19,3794	2,5896	13,72888696
55	16,7335	2,9847	19,3111	2,5776	13,63956177
56	16,7399	3	19,3264	2,5865	13,78333333
A	16,8588	3,0005	19,4843	2,6255	12,49791701
B	16,7537	3,0024	19,3929	2,6392	12,09698908

Taula 4.2.1.2. 3. Resultats de la Fase 2.

Si es calcula la mitjana del percentatge de pèrdua de pes d'aquestes mostres obtenim un valor (12,68%) que ratifica els resultats obtinguts en l'estudi de la neteja química que es recopilen en la Taula 4.2.1.2. 1 (12,88%).

4.2.1.3. Resultats de la impregnació

En aquest apartat es recopilen les dades obtingudes en l'estudi de la Fase 3 i s'analitzen i es valoren els resultats que se'n deriven.

Com ja s'ha dit abans, en la Fase 3 del tractament el que es pretén és dotar a la fibra d'un revestiment àlcali-resistent mitjançant la impregnació superficial de zirconi.

La impregnació pot fer-se amb nitrat de zirconi o sulfat de zirconi. En principi, l'ús d'àcid sulfúric per a l'obtenció de sulfat de zirconi presenta certs inconvenients que es detallen en el capítol anterior però cal estudiar el seu comportament en el procés d'impregnació abans de prendre cap decisió.

En cas que la impregnació amb sulfat de zirconi fos considerablement més eficaç que la realitzada amb nitrat de zirconi podria ser interessant emprar el primer compost, sempre que es garantís l'execució d'un rentat exhaustiu posterior a la impregnació que reduís o eliminés el risc de patir un atac per sulfats en els formigons addicionats amb la fibra revestida.

Cal tenir en compte, però, que la impregnació amb nitrat de zirconi presenta a priori un avantatge respecte a la de sulfat de zirconi. Aquest avantatge consisteix en que un dels reactius que s'utilitza per a la producció de nitrat de zirconi – l'àcid nítric – s'utilitza també en la neteja química de la Fase 2. Aquesta coincidència pot simplificar la metodologia del tractament i resultar econòmicament beneficiosa.

A l'utilitzar el mateix reactiu en les Fases 2 i 3 del tractament podria suprimir-se el rentat i l'assecat que es realitza després de la immersió en àcid nítric per separar la resina de la fibra. Això representaria l'estalvi de l'aigua del rentat, de l'energia de l'assecat i de temps.

Per poder prendre una decisió amb coneixement de causa cal estudiar quines condicions d'impregnació (temps i compost emprat) reporten un millor recobriment de les fibres.

En aquest sentit es procedeix a avaluar el percentatge d'augment de pes que experimenten les mostres estudiades.

Els resultats es fonamenten en les mesures que s'obtenen en les pesades realitzades en dos instants determinats de la Fase 3:

- Pesada abans de la impregnació: s'obté el pes de la fibra neta.
- Pesada després de la impregnació i de l'assecat de les mostres: s'obté el pes de la fibra impregnada.

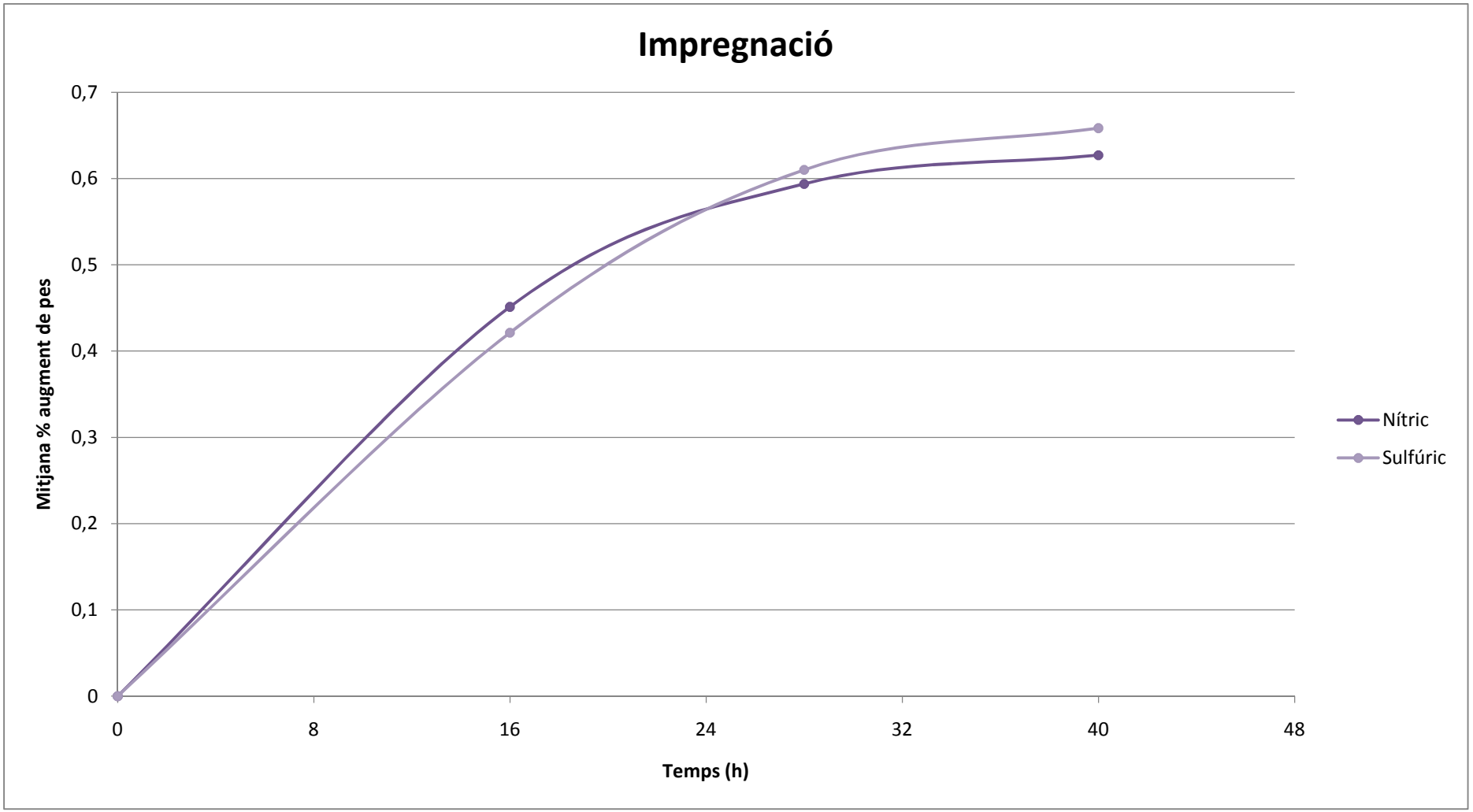
Les mesures obtingudes es recullen en la Taula 4.2.1.3. 1.

Els resultats que es deriven d'aquestes mesures es resumeixen en la Taula 4.2.1.3. 2 i es poden visualitzar en el Gràfic 4.2.1.3. 1.

Totes les mesures de pes estan expressades en grams.

	Mostra	Pes Pot	Pes Fibra Neta	Pes Pot i Fibra Impregnada	Pes Fibra Impregnada	% Augment de pes	% Promig Augment de Pes
IMPREGNACIÓ – 16h – N – NA	33	16,7512	2,6269	19,3895	2,6383	0,433971602	0,45125748
	34	16,6418	2,6465	19,3007	2,6589	0,468543359	
IMPREGNACIÓ – 16h – S – NA	35	16,7712	2,6805	19,4636	2,6924	0,443947025	0,421335554
	36	16,7075	2,6334	19,3514	2,6439	0,398724083	
IMPREGNACIÓ – 24h – N – NA	37	16,7726	2,6051	19,3933	2,6207	0,598825381	0,593742568
	38	16,7666	2,6331	19,4152	2,6486	0,588659755	
IMPREGNACIÓ – 24h – S – NA	39	16,6299	2,6572	19,3027	2,6728	0,587084149	0,610120695
	40	16,8319	2,5744	19,4226	2,5907	0,633157241	
IMPREGNACIÓ – 36h – N – NA	41	16,738	2,5779	19,3326	2,5946	0,647814112	0,627042676
	42	16,7898	2,5896	19,3951	2,6053	0,606271239	
IMPREGNACIÓ – 36h – S – NA	43	16,7335	2,5776	19,3285	2,595	0,675046555	0,658420242
	44	16,7399	2,5865	19,343	2,6031	0,64179393	

Taula 4.2.1.3. 1. Mesures de la Fase 3 del tractament proposat.



Gràfic 4.2.1.3. 1. Influència del tipus de compost emprat en el procés d'impregnació de la Fase 3.

	% Promig Augment Pes	
Temps	**Nítric**	**Sulfúric**
0	0	0
16	0,45125748	0,421335554
28	0,593742568	0,610120695
40	0,627042676	0,658420242

Taula 4.2.1.3. 2. Resultats de la Fase 3.

Com es pot apreciar a la gràfica, a partir de les 24 hores la impregnació amb sulfat de zirconi és lleugerament més eficaç que la de nitrat de zirconi. Tanmateix, aquesta lleugera superioritat del sulfat de zirconi no compensa els inconvenients que representa el seu ús i, a més a més, no pot competir amb la simplificació del tractament que comportaria l'ús de nitrat de zirconi.

La tria del temps de la impregnació ve determinada per la suavitat de la curvatura de la gràfica.

Si ens fixem en les fotografies A2.6. 7 – A2.6. 12 de l'apartat A2.6 de l'Annex 2 es pot apreciar la similitud en l'aspecte que presenten les mostres d'ambdós casos.

Així doncs, la conclusió és que, dels casos estudiats, el més raonable d'implementar en la impregnació és aquell que es duu a terme durant 24-28 hores amb nitrat de zirconi.

Per finalitzar, cal aclarir que aquesta fase del tractament només cal implementar-la en cas que la fibra reciclada es destini a addicions de morters i formigons. En cas contrari, la impregnació perdria tota raó de ser.

4.2.1.4. Resultats del garbellat

En aquest apartat es presenten els resultats obtinguts en la darrera fase del tractament proposat, el garbellat.

L'existència d'aquesta fase ve justificada per la necessitat d'obtenir fibres amb una mida d'entre 6 i 13 mil·límetres de llargada per garantir que la seva addició en formigons reporten els efectes esperats.

Cal aclarir que el garbellat és un procediment que es pot suprimir en el cas que les fibres reciclades no s'emprin com a addició de conglomerants hidràulics.

Els resultats a avaluar es basen en les mesures obtingudes en les següents pesades:

- Pesada de la fracció retinguda pel tamís de 10 mil·límetres d'obertura: s'obté el pes dels fragments grans.
- Pesada de la fracció retinguda pel tamís de 5 mil·límetres d'obertura: s'obté el pes de la fibra de vidre útil.
- Pesada de la fracció que passa pel tamís de 5 mil·límetres d'obertura: s'obté el pes de la pols i les microfibres.

El que es pretén és determinar el percentatge de fibra útil que s'obté al finalitzar el garbellat.

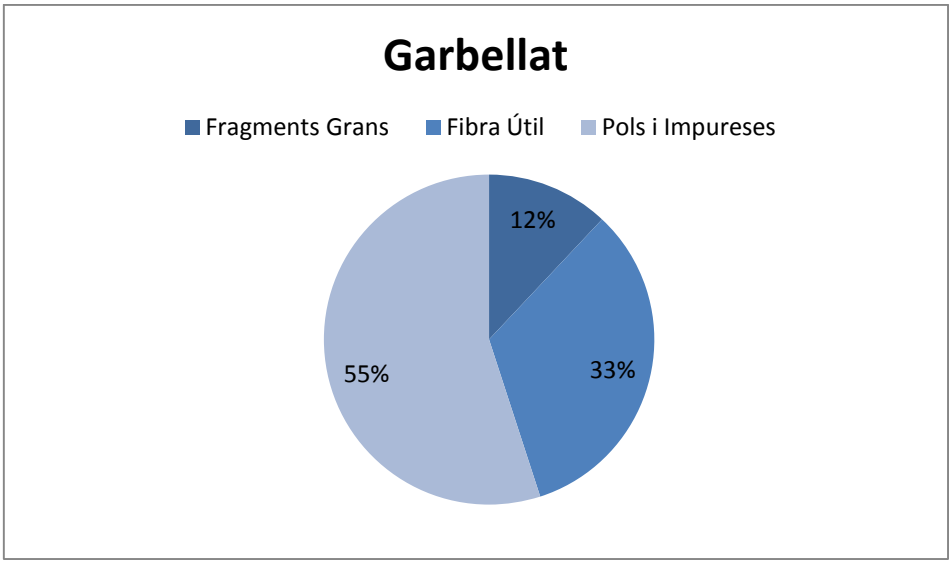
Les mesures obtingudes s'adjunten en la Taula 4.2.1.4. 1 que segueix a continuació. A més a més els resultats que s'extreuen de les mesures obtingudes es compilen en la Taula 4.2.1.4. 2 i s'il·lustren en el Gràfic 4.2.1.4. 1

Mostra	Pes Fibra Impregnada	Pes Fragments Grans	Pes Fibra Útil	Pes Pols i Impureses
33	2,6383	0,4125	0,7985	1,4273
34	2,6589	0,4252	0,7826	1,4511
35	2,6924	0,4177	0,832	1,4427
36	2,6439	0,4021	0,8478	1,394
37	2,6207	0,3876	0,8074	1,4257
38	2,6486	0,4246	0,7527	1,4713
39	2,6728	0,3798	0,8376	1,4554
40	2,5907	0,3501	0,7745	1,4661
41	2,5946	0,4073	0,7759	1,4114
42	2,6053	0,3978	0,7224	1,4851
43	2,595	0,3707	0,7314	1,4929
44	2,6031	0,3852	0,781	1,4369

Taula 4.2.1.4. 1. Mesures de la Fase 4 del tractament proposat.

Mostra	% Fragments Grans	% Fibra Útil	% Pols i Impureses
33	11,466	34,435	54,099
34	12,231	33,194	54,575
35	11,057	35,359	53,584
36	11,426	35,849	52,725
37	12,119	33,480	54,401
38	12,256	32,194	55,550
39	14,210	31,338	54,452
40	11,970	31,439	56,591
41	11,844	33,759	54,398
42	12,582	30,415	57,003
43	11,588	30,882	57,530
44	11,340	33,460	55,200
% Promig	12,00729527	32,98365998	55,00904475

Taula 4.2.1.4. 2. Resultats de la Fase 4.



Gràfic 4.2.1.4. 1. Composició percentual de la fibra impregnada.

Com es pot veure, el percentatge de fibra útil que s'obté amb el garbellat és del 33% mentre que el de pols i impureses representa més de la meitat del total.

En vistes als resultats obtinguts seria convenient estudiar en profunditat el comportament que presentarien formigons addicionats amb aquesta fracció, tal i com s'indica en el següent capítol.

4.2.2. Resultats de l'atac alcalí

Un cop finalitzat l'anàlisi dels resultats de les diferents fases es procedeix a comprovar la utilitat i eficàcia del tractament proposat mitjançant l'atac alcalí de les fibres.

L'atac alcalí que pateixen les fibres de vidre embegudes en conglomerants hidràulics només es pot avaluar a llarg termini. Per qüestions de temps aquesta opció resulta ser inviable. És per aquest motiu que s'ha optat per simular l'efecte de l'atac alcalí mitjançant un procediment a curt termini.

Basant-nos en l'equivalència de referència es procedeix a realitzar una submersió de les fibres de 6 dies que equivaldria a l'atac alcalí sofert per les fibres embegudes en formigó durant quasi 2 anys naturals.

Per analitzar l'èxit del tractament s'avaluarà la pèrdua de pes de les mostres que s'indiquen a continuació:

- Mostres C i D de fibra tamisada: les fibres d'aquestes mostres estan embolcallades amb resina però no contenen pols ni impureses .
- Mostres A i B de fibra neta: poden contenir certa quantitat de resina però aquesta no es presenta recobrint la superfície de la fibra. No contenen pols ni impureses.
- Mostres 33 – 44 de fibra impregnada: les fibres d'aquestes mostres estan revestides amb un recobriment àlcali-resistent. No contenen pols ni impureses.

Analitzar l'atac produït en les mostres de fibra neta i de fibra tractada és imprescindible per valorar l'impacte del revestiment àlcali-resistent aconseguit en la Fase 3 del tractament.

D'altra banda, i encara que no ho sembli, l'estudi de la fibra tamisada no és trivial ja que dóna resposta a la qüestió de si la resina que cobreix la fibra pot ser un bon recobriment enfront l'atac alcalí.

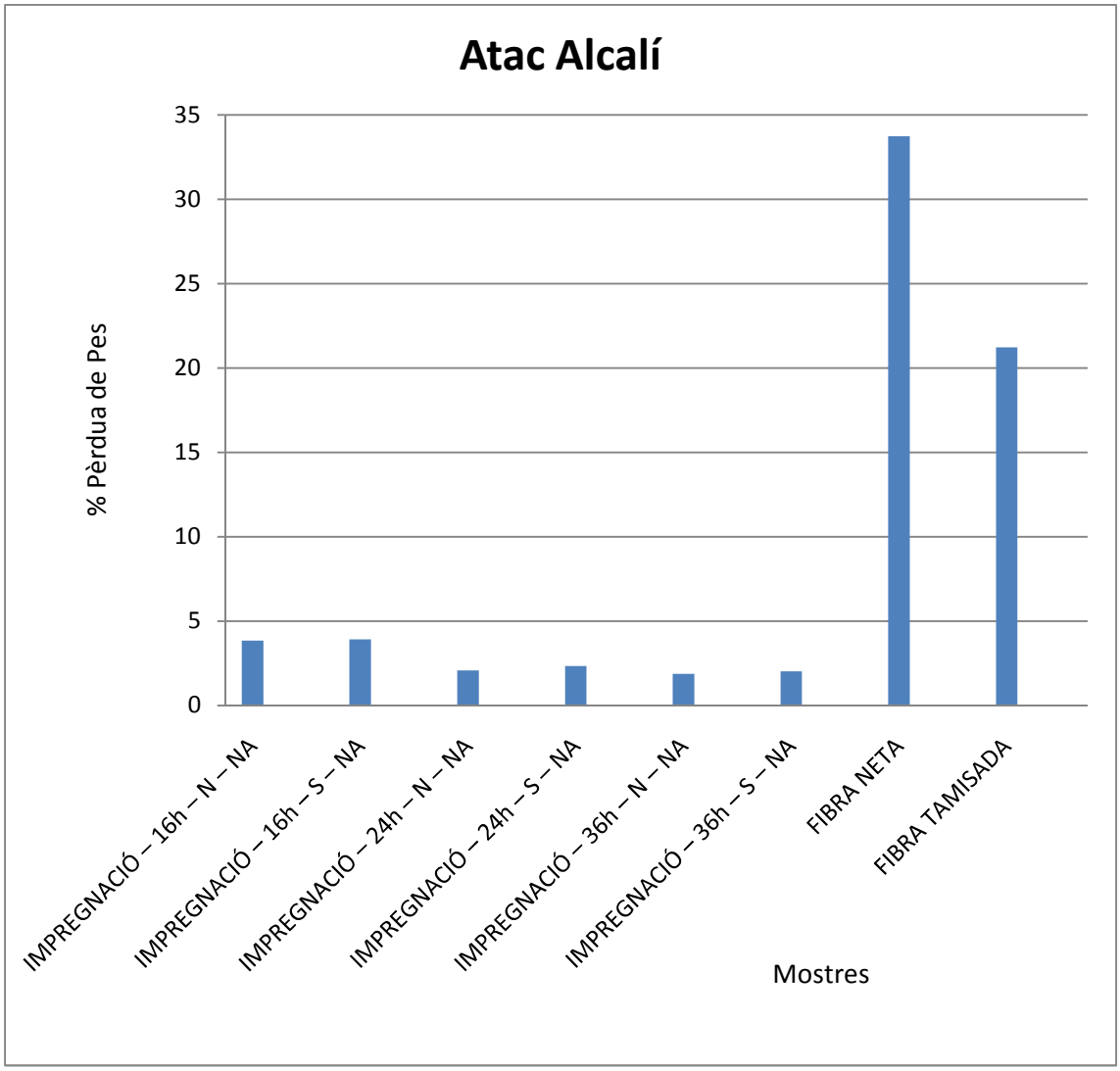
Per donar resposta a aquests interrogants cal procedir a avaluar els resultats que es deriven de les mesures obtingudes en les pesades realitzades en dos instants determinats:

- Pesada de les mostres abans de l'atac alcalí: s'obté el pes de la fibra no atacada.
- Pesada de les mostres després de l'atac alcalí: s'obté el pes de la fibra atacada.

A continuació s'inclou la Taula 4.2.2. 1 on s'agrupen les mesures i els resultats obtinguts en l'estudi de l'atac alcalí sobre les fibres. Per il·lustrar els resultats s'inclou el Gràfic 4.2.2. 1.

	ATAC ALCALÍ A 6 DIES						
	Mostra	Pes Pot	Pes Fibra No Atacada	Pes Pot i Fibra Atacada	Pes Fibra Atacada	% Pèrdua Pes	Promig % Pèrdua Pes
IMPREGNACIÓ – 16h – N – NA	33	16,7512	2,6383	19,2885	2,5373	3,82822272	3,83219779
	34	16,6418	2,6589	19,1987	2,5569	3,83617285	
IMPREGNACIÓ – 16h – S – NA	35	16,7712	2,6924	19,3552	2,584	4,02614767	3,91745751
	36	16,7075	2,6439	19,2507	2,5432	3,80876735	
IMPREGNACIÓ – 24h – N – NA	37	16,7726	2,6207	19,3432	2,5706	1,91170298	2,0809742
	38	16,7666	2,6486	19,3556	2,589	2,25024541	
IMPREGNACIÓ – 24h – S – NA	39	16,6299	2,6728	19,2491	2,6192	2,00538761	2,34210014
	40	16,8319	2,5907	19,3532	2,5213	2,67881268	
IMPREGNACIÓ – 36h – N – NA	41	16,738	2,5946	19,2877	2,5497	1,73051723	1,86130513
	42	16,7898	2,6053	19,3432	2,5534	1,99209304	
IMPREGNACIÓ – 36h – S – NA	43	16,7335	2,595	19,2814	2,5479	1,8150289	2,01388762
	44	16,7399	2,6031	19,2854	2,5455	2,21274634	
FIBRA NETA	A	16,8588	2,6255	18,5023	1,6435	37,4023995	33,7303753
	B	16,7537	2,6392	18,5996	1,8459	30,058351	
FIBRA TAMISADA	C	16,7996	2,7452	18,9285	2,1289	22,4500947	21,227548
	D	16,7242	2,3994	18,6436	1,9194	20,0050013	

Taula 4.2.2. 1. Mesures i resultats de l'atac alcalí.



Gràfic 4.2.2. 1. Pèrdua de pes experimentada per les mostres estudiades.

En un primer moment, les mostres de fibra tamisada i de fibra neta han sofert un augment de pes. Això es deu a la falta de recobriment. En altres paraules: les fibres estan exposades a l'atac alcalí, fet que desencadena la formació del gel expansiu, el qual absorbeix aigua.

El tret diferencial entre les fibres tamisades i les fibres netes és la presència de resina embolcallant la fibra. Això pot explicar perquè les fibres tamisades han experimentat una pèrdua de pes inferior a les fibres netes. És a dir, és molt probable que la resina adherida tingui un cert efecte protector, el qual pot alentir però no impedir l'atac sobre les fibres.

En les fotografies dels apartats A2.7 i A2.8 de l'Annex 2 es pot percebre l'aspecte deteriorat que presenten les mostres de fibra tamisada i de fibra neta. La coloració groguenca que s'observa en les mostres de fibra neta és causada per la neteja química amb àcid nítric a la que

es van sotmetre prèviament. Les mostres de fibra tamisada, en comparació, tenen un color més blanquinós perquè no s'han netejat químicament.

En el cas de les mostres impregnades es pot veure que l'atac alcalí no ha afectat les fibres. Aquestes presenten una disminució del seu pes degut a possibles pèrdues de material durant el rentat posterior a l'atac alcalí. Els resultats, per tant són excel·lents.

Cal dir que les fotografies de l'apartat A2.9 de l'Annex 2 mostren que les fibres estan intactes. Amb tot, es pot observar que les mostres que s'han sotmès durant més temps a la impregnació per agitació de la Fase 3 del tractament proposat són les que presenten millor aspecte.

4.3. Discussió

Tot indica que el procediment que suposa un avanç en l'estudi i la millora de la durabilitat de les fibres de vidre reciclades de tipus E en un medi alcalí, com és la matriu cementícia del formigó, és la fase d'impregnació. Ha quedat contrastat que el revestiment de zirconi protegeix la fibra de l'atac alcalí. També s'ha pogut comprovar que la resina epoxi adherida a les fibres tamisades pot alentir o retardar la degradació de la fibra i la formació del gel expansiu.

Per concloure, es procedeix a indicar el grams de fibra que s'obtenen al final de cada fase del tractament, partint de 10 grams de fibra bruta:

- Pes de la fracció "pols i impureses" obtinguda després de la Fase 1 (60%): 6 grams.
- Pes de la fibra tamisada obtinguda després de la Fase 1 (40%): 4 grams.
- Pes de la fibra neta obtinguda després de la Fase 2 (87,3%): 3,492 grams.
- Pes de la fibra impregnada obtinguda després de la Fase 3 (100,6%): 3,513 grams.
- Pes dels fragments grans obtinguts després de la Fase 4 (12%): 0,421 grams.
- Pes de la fibra útil obtinguda després de la Fase 4 (33%): 1,160 grams.
- Pes de la pols i les microfibres obtingudes després de la Fase 4 (55%): 1,932 grams.

5. CONCLUSIONS I FUTURS ESTUDIS

5. CONCLUSIONS I FUTORS ESTUDIS

5.1. Introducció

En aquest capítol s'exposen les conclusions que es deriven dels estudis realitzats durant el desenvolupament del present treball. Aquestes es divideixen en conclusions generals i en conclusions específiques.

Les conclusions generals responen al compliment dels objectius principals que han guiat el desenvolupament d'aquest estudi. Aquests estan enfocats, en primer lloc, a determinar els procediments i la metodologia a seguir per tal d'obtenir fibra reciclada d'origen naval per a la seva posterior addició en formigons; en segon lloc, en realitzar una comprovació de l'eficàcia del tractament comparant el grau d'atac sofert per la fibra tractada i sense tractar; en tercer lloc, en determinar la quantitat de fibra útil que s'obté a partir d'una quantitat determinada de fibra bruta; i per últim, en obtenir una estimació del temps total necessari per executar el tractament.

Les conclusions específiques són conseqüència dels resultats concrets obtinguts en l'estudi de les diferents fases del tractament. Aquestes conclusions són de caràcter particular i han de contemplar-se en el marc del tractament de petites mostres, de manera que han de ser contrastades pel què a la seva extrapolació a tractaments a gran escala.

Finalment, es presenten seguit de futures línies d'investigació que han anat sorgint en el transcurs d'aquest estudi amb l'esperança que es pugui seguir aprofundint en el tema.

5.2. Conclusions generals

Per obtenir una fibra adequada a les necessitats que imposa el seu ús com a addició de morters i formigons el tractament ha de constar de quatre fases, cadascuna de les quals té la seva raó de ser. Aquestes quatre fases són la neteja física, la neteja química, la impregnació i el garbellat.

En resum, el tractament proposat en aquest treball està dissenyat per obtenir fibra de vidre adequada per a la seva addició en formigons. Tanmateix, existeix la possibilitat de modificar el tractament, adaptant-lo segons les característiques requerides. En aquest sentit, val a dir que

la fibra neta que s'obté al finalitzar la Fase 2 no és apta per a emprar-se com a addició en formigons però, en canvi, seria adequada per a altres usos com per exemple:

- Fabricació de cascs d'embarcacions (sector naval).
- Fabricació de peces i carrosseries de cotxes i avions (indústria automobilística i aeronàutica).
- Fabricació de plaques de pladur (sector de la construcció).

És a dir, amb l'eliminació de les Fases 3 i 4 del tractament desenvolupat se n'obtindria un de nou que proporcionaria fibra de vidre adequada per als usos anteriorment esmentats.

D'altra banda i donat que l'assecat de les fibres dut a terme en les Fases 1 i 2 només és necessari per a l'estudi acadèmic del tractament, aquest es suprimiria. Això suposaria l'agilització del procés industrialitzat a gran escala i n'abaratiria el cost final. Amb tot l'estimació del temps total necessari per executar el tractament seria d'aproximadament 90 hores. El temps invertit en cada fase es desglossaria de la següent forma:

- Neteja física: 0,5 hores.
- Neteja química: 36 hores.
- Impregnació: 28 hores.
- Secat: 24 hores.
- Garbellat: 0,5 hores.
- Empaquetament i altres processos: 1 hora.

Un dels punts més importants que planteja l'estudi és la determinació de la quantitat de fibra útil que s'obté a partir d'una determinada quantitat de fibra bruta mitjançant el tractament proposat. Tal com s'ha indicat en l'anterior capítol, partint de 10 grams de fibra bruta d'origen naval s'obtindrien 1,160 grams de fibra útil apta per a ser addicionada en formigons.

5.3. Conclusions específiques

5.3.1. Relatives a la neteja física

La neteja física és una fase que es duu a terme per separar els elements amb una mida inferior als 2 mil·límetres de la fibra bruta.

La fibra bruta que s'obté del desvastellament d'embarcacions està composada en un 60% del seu pes per la fracció anomenada "pols i impureses". Aquesta fracció està conformada per estelles de fusta, pols de resina, restes de vernissos i pintures del casc i microfibres inferiors als 2 mil·límetres de llargada.

5.3.2. Relatives a la neteja química

La neteja química és la fase del tractament que s'implementa per separar i eliminar la resina adherida que embolcalla la fibra.

Les condicions òptimes de la neteja química es corresponen a una temperatura de 80°C, una concentració 0,5 molar de la dissolució d'àcid nítric i un temps de neteja de 48 hores.

En aquestes condicions, l'eliminació de la resina adherida a les fibres que s'obté amb la neteja química genera una pèrdua de pes en la mostra d'aproximadament el 12,7%.

5.3.3. Relatives a la impregnació

La impregnació és la fase amb la que es dota a les fibres d'un revestiment àlcali-resistent.

Dels casos estudiats en la fase d'impregnació, el més raonable d'implementar a gran escala és aquell que es duu a terme durant 24-28 hores amb nitrat de zirconi.

La impregnació suposa un augment del pes de la mostra del 0,6 % aproximadament.

5.3.4. Relatives al garbellat

L'existència d'aquesta fase ve justificada per la necessitat d'obtenir fibres amb una mida d'entre 6 i 13 mil·límetres de llargada per garantir que la seva addició en formigons reporten els efectes esperats.

Amb el garbellat s'obté un 12% de fragments grans, un 33% de fibra útil i un 55% de pols i microfibres.

5.3.5. Relatives a l'atac alcalí

Ha quedat contrastat que el revestiment de zirconi protegeix la fibra de l'atac alcalí. També s'ha pogut comprovar que la resina epoxi adherida a les fibres tamisades pot alentir o retardar la degradació de la fibra i la formació del gel expansiu.

5.4. Proposta d'estudis futurs

L'objectiu del present treball és determinar una metodologia per al tractament de les fibres reciclades d'origen naval. La possibilitat de poder reciclar i allargar la vida útil d'un residu és per si mateixa un gran avenç. Tanmateix cal estudiar la seva viabilitat econòmica per a la implementació del tractament a gran escala per tal que aquest comporti un impacte positiu i significatiu per al medi ambient.

Es fa necessari, per tant, estudiar mètodes com la activació de la fibra en vistes a economitzar costos, millorar l'eficiència del tractament i alhora reduir la quantitat de materials i reactius necessaris per dur a terme el tractament.

Només en la primera fase del tractament desenvolupat es descarta el 60% del material obtingut en el procés de triturat dels cascs de vaixells. És més que recomanable, per tant, seguir la línia d'investigació proposada en estudis anteriors i prosseguir l'estudi de les propietats reològiques i el comportament a compressió i a flexotracció que presentarien formigons addicionats amb un cert percentatge de la fracció "pols i impureses".

Triar

En la presa de la decisió de triar entre entre el cas 6 (NETEJA – 48h – 0,5M – 80°C) i el cas 4 (NETEJA – 24h – 2M – 80°C) i donat que ambdós casos presenten uns resultats força semblants, la tria de les condicions de neteja química s'ha de realitzar en base a criteris econòmics. És a dir, a l'hora d'implantar el tractament a gran escala, cal estudiar quin dels dos seria més beneficiós, l'estalvi de temps o l'economització de l'ús de reactius.

Per una altra part, caldria estudiar si és possible emprar la dissolució d'àcid nítric en més d'una ocasió per dur a terme un seguit de tandes de neteja química mantenint la mateixa eficiència. Així doncs, s'hauria de determinar el nombre de vegades que es pot reutilitzar la dissolució d'àcid nítric 0,5 molar i 2 molar i fer la tria a partir d'aquesta dada.

BIBLIOGRAFIA I REFERÈNCIES

BIBLIOGRAFIA

[1] Callister, William D. “Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales”, 1ª Edición, Barcelona, Espanya, Editorial Reverté, 1997, pàg. 550.

[2] “Man-made Vitreous Fibers” Navy Environmental Health Center, 2510 Walmer Avenue, Norfolk, Virginia 23513-2617, 1997.

[3] Annex “Lista de residuos con arreglo a la letra a) del artículo 1 de la Directiva 75/442/CEE, del Consejo, relativa a los residuos Catálogo Europeo de Residuos”. Diario Oficial de las Comunidades Europeas 6.9.2000 L 226/3.

[4] Khan R. Industry survey on production availability and cost of GRP waste in the UK. Inverness, Scotland: HamblesideDanelaw Rooflights and Cladding Limited; 2007. [8] Jones M, Mccarthy A, Dhir R. Recycled and secondary aggregates in foamed concrete. DTI/WRAP aggregates research programme STBF13/13C; 2005. ISBN: 1-84405-184-6.

[5] Cunliffe AM, Williams PT. Characterisation of products from the recycling of glass fibre reinforced polyester waste by pyrolysis. Fuel 2003;82(18):2223–30.

[6] Broekel J, Scharr G. The specialities of fibre-reinforced plastics in terms of product lifecycle management. Journal of Materials Processing Technology 2005;162–163:725–9.

[7] Gemert DV, Czarnecki L, Maultzsch M, Schorn H, Beeldens A, qukowski P, et al. Cement concrete and concrete–polymer composites: two merging worlds. A report from 11th ICPIC Congress in Berlin. Cement and Concrete Composites 2005;27: 926–933.

[8] “El Sector Náutico en Espanya. La Náutica deportiva y de Recreo 2010”, Fira de Barcelona, 2010.

[9] Beeldens A, Gemert VD, Schorn H, Ohama Y, Czarnecki L. From microstructure to macrostructure: an integrated model of structure formation in polymer modified concrete. RILEM. Materials and Structures 2005;38:601–7.

[10] Sahmaran M, Yurtseven A, Yaman IO. Workability of hybrid fiber reinforced self-compacting concrete. Building and Environment 2005;40:1672–7.

[11] Jo BW, Park SK, Park JC. Mechanical properties of polymer concrete made with recycled PET and recycled concrete aggregates. Construction and Building Materials 2008;22(12):2281–91.

[12] Jones M, Mccarthy A, Dhir R. Recycled and secondary aggregates in foamed concrete. DTI/WRAP aggregates research programme STBF13/13C; 2005. ISBN: 1-84405-184-6.

[13] Conroy A, Halliwell S, Reynolds T. Composite recycling in the construction industry. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing 2006;37(8):1216–22.

[14] Pedroso AG, Mei LHI, Agnelli JAM, Rosa DS. Properties that characterize the propagation of cracks of recycled glass fibre reinforced polyamide 6. Polymer Testing 1999;18:211–5.

[15] Majumdar AJ, Laws V. Fibre cement composites: research at BRE. Composites 1979;10(1):17–27.

[16] "Assessing the recycling potential of glass fibre reinforced plastic waste in concrete and cement composites"; Journal of Cleaner Production, Volume 17, Issue 9, June 2009, Pages 821-829;P. Asokan, M. Osmani, A.D.F. Price

[17] HM Revenue and Customs home page. Protecting the environment. UK environmental policy; 2007. http://www.hmrc.gov.uk/budget2007/ [accessed 12 December 2007].

[18] Larner LJ, Speakman K, Majumdar AJ. Chemical interactions between glass fibres and cement. Journal of Non Crystalline Solids 1976;20:43–74.

[19] Schaefer, P. and Plowgian, A.G., Paper presented at 49th Annual Conference, Composites Institute, SPI, February 1994, Session 15-D.

[20] International Patent WO 93/05883, Process for separating fibres from composite materials. Phoenix Fibreglass, April 1993.

[21] Soh, S.K., Lee, D.K., Cho, Q. and Rag, Q., Low temperature pyrolysis of SMC scrap. Presented at the 10th Annual ASM/ESD Advanced Composites Conference, Dearborn,Michigan USA, 7–10 November 1994.

[22] Pickering, S.J. and Benson, M., Paper presented at ECCM6, European Association for Composite Materials, Bordeaux, 1993.

[23] Fenwick, N.J. and Pickering, S.J., Paper presented at Engineering for Profit from Waste, IMechE, London, 1994.

[24] Fenwick, N.J., Kennerley, J.R., Pickering, S.J. and Rudd, C.D., Auto Recycle ’95, 15–16 November 1995, Detroit, USA, pp. 167–177.

[25] “The characterisation and reuse of glass fibres recycled from scrap composites by the action of a fluidised bed process”; Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Volume 29, Issue 7, July 1998, Pages 839-845; J.R. Kennerley, R.M. Kelly, N.J. Fenwick, S.J. Pickering, C.D. Rudd

[26] Piggott, M.R. and Yokom, J.C., Glass Technology, 1968, 9, 172–175.

[27] Cameron, N.M., Glass Technology, 1968, 9, 121–130.

[28] Cameron, N.M., Journal of the American Ceramic Society— Discussions and Notes 1965, July, 385.

[29] Sakka, S., Bulletin of the Institute of Chemical Research, 1957, 34, 316–320.

[30]. Brearley, W. and Holloway, D.G., Physics and Chemistry of Glasses, 1963, 4, 69–75.

[31]. Thomas, W.F., Physics and Chemistry of Glasses, 1960, 1, 4–18.

[32] “Degradation behavior of amine cured epoxy resin and FRP in acid solutions”, Proceedings of the 10th International Conference on Composite Materials Soc. 215-222, S. Ono, K. Tsuda, M. Kubouchi, T. Nishiyama, H. Hojo (1995).

[33] “Chemical recycling of glass fiber reinforced epoxy resin cured with amine using nitric acid”; Polymer, Volume 46, Issue 6, 24 February 2005, Pages 1905-1912; Weirong Dang, Masatoshi Kubouchi, Hideki Sembokuya, Ken Tsuda

[34] “Assessing the recycling potential of glass fibre reinforced plastic waste in concrete and cement composites”; Journal of Cleaner Production, Volume 17, Issue 9, June 2009, Pages 821-829;P. Asokan, M. Osmani, A.D.F. Price

[35] “Coatings for glass fibers in a cementitious matrix”; Acta Materialia, Volume 52, Issue 16, 20 September 2004, Pages 4745-4755; S. L. Gao, E. Mäder, R. Plonka

[36] “Estudio del reciclaje de fibra de vidrio de origen naval y de los tratamientos superficiales para su aplicación en hormigones”, C. Pons i E. Jiménez (2011).

[37] “Avaluació dels processos d'expansió per reacció àlcali-àrid en provetes de morter”, Guixà i Guardia, F. (2001)

[38] Callister, William D. “Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales”, 1ª Edició, Barcelona, Espanya, Editorial Reverté, 1997.

[39] “El GRC Material Compuesto de Matriz Cementicia Reforzado con Fibra de Vidrio AR”, P.I. Comino, J.C. Romero, Editor Saint-Gobain Vetrotex.

[40] “El gros de l'obra: uns apunts de construcció”, Fructuós Mañá Reixach UPC, 2001.

[41] Patent: Zirconia Sol, method for production thereof, porous ceramic-producing slurry, and porous ceramic product obtained by use thereof background of the invention (EP 0 413 033 A1).

[42] “Layer-by-Layer Self-Assembly of Multilayer Zirconia Nanoparticles on Silica Spheres for HPLC Packings”, Huijuan Dun, Lanzhou Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, 2004.

[43] Direct impregnation method for preparing sulfated zirconia supported on mesoporous sílica. Chang-Ling-Chen. Department of Chemistry, National Taiwan University, 1 Roosevelt Road, Section, Taiwan, 2001.

[44] Copuroglu O., Andiç-Çakir Ö, Broekmans M.A.T.M., Kühnel R. A. (2007) "Mineralogy, geochemistry and expansion testing of an alkali-reactive basalt from Western Anatolia, Turkey" 11th Euroseminar on Microscopy Applied on Building Materials, I. Fernandes Ed. Porto, Elsevier.

ANNEX 1

ANNEX 1. NOMENCLATURA I CLASSIFICACIÓ DE LES MOSTRES

A1.1. Introducció

Degut a les característiques d'aquest estudi, calia ser molt curós i organitzat pel que fa a les mostres. En les diferents fases del tractament que es desenvolupa en el present treball entraven en joc diverses variables i la influència que podien tenir les unes sobre les altres en les diverses combinacions estudiades. En aquest context era primordial realitzar una bona classificació de les mostres i per tant es feia imprescindible crear una nomenclatura senzilla i alhora completa que servís per identificar-les amb rapidesa.

A1.2. Nomenclatura de la Fase 2

La nomenclatura proposada per identificar les mostres durant la fase corresponent a la neteja química inclou el nom de la fase en qüestió (NETEJA), el temps en hores que la mostra roman immersa en la dissolució (t), la molaritat de la dissolució de HNO_3 (M) i la temperatura en graus centígrads a la que està exposada la mostra durant el procés de neteja (T). Així doncs tenim:

NETEJA – t – M – T

A1.3. Classificació de les mostres de la Fase 2

Tot seguit s'adjunten les taules corresponents a les mostres agrupades segons la variable temps:

Casos a estudiar	Nomenclatura de la mostra	Mostres
Cas 1	NETEJA – 24h – 0,5M – 40°C	1 i 2
Cas 2	NETEJA – 24h – 0,5M – 80°C	3 i 4
Cas 3	NETEJA – 24h – 2M – 40°C	5 i 6
Cas 4	NETEJA – 24h – 2M – 80°C	7 i 8

Taula A1.3. 1. Mostres submergides en HNO_3 durant 24 hores.

Casos a estudiar	Nomenclatura de la mostra	Mostres
Cas 5	NETEJA – 48h – 0,5M – 40°C	9 i 10
Cas 6	NETEJA – 48h – 0,5M – 80°C	11 i 12
Cas 7	NETEJA – 48h – 2M – 40°C	13 i 14
Cas 8	NETEJA – 48h – 2M – 80°C	15 i 16

Taula A1.3. 2. Mostres submergides en HNO_3 durant 48 hores.

Casos a estudiar	Nomenclatura de la mostra	Mostres
Cas 9	NETEJA – 72h – 0,5M – 40°C	17 i 18
Cas 10	NETEJA – 72h – 0,5M – 80°C	19 i 20
Cas 11	NETEJA – 72h – 2M – 40°C	21 i 22
Cas 12	NETEJA – 72h – 2M – 80°C	23 i 24

Taula A1.3. 3. Mostres submergides en HNO_3 durant 72 hores.

Casos a estudiar	Nomenclatura de la mostra	Mostres
Cas 13	NETEJA – 96h – 0,5M – 40°C	25 i 26
Cas 14	NETEJA – 96h – 0,5M – 80°C	27 i 28
Cas 15	NETEJA – 96h – 2M – 40°C	29 i 30
Cas 16	NETEJA – 96h – 2M – 80°C	31 i 32

Taula A1.3. 4. Mostres submergides en HNO_3 durant 96 hores.

A1.4. Nomenclatura de la Fase 3

En el cas de la Fase 3, que correspon al tractament superficial, la nomenclatura proposada per identificar les mostres inclou una abreviació del nom de la fase en qüestió (IMPREGNACIÓ), el temps en hores durant el qual s'agitarà la mostra en la dissolució de zirconi (t) i el tipus de dissolució, depenent de si s'empra nitrat de zirconi (N) o sulfat de zirconi (S). Així doncs tenim:

IMPREGNACIÓ – t – N/S

A1.5. Classificació de les mostres de la Fase 3

Tot seguit s'adjunten les taules corresponents a les mostres agrupades segons la variable temps:

Casos a estudiar	Nomenclatura de la mostra	Mostres
Cas 1	IMPREGNACIÓ – 16h – N	33 i 34
Cas 2	IMPREGNACIÓ – 16h – S	35 i 36

Taula A1.5. 1. Mostres agitades durant 16 hores.

Casos a estudiar	Nomenclatura de la mostra	Mostres
Cas 3	IMPREGNACIÓ – 28h – N – A	37 i 38
Cas 4	IMPREGNACIÓ – 28h – N – NA	39 i 40

Taula A1.5. 2. Mostres agitades durant 28 hores.

Casos a estudiar	Nomenclatura de la mostra	Mostres
Cas 5	IMPREGNACIÓ – 40h – N – A	41 i 42
Cas 6	IMPREGNACIÓ – 40h – N – NA	43 i 44

Taula A1.5. 3. Mostres agitades durant 40 hores.

ANNEX 2

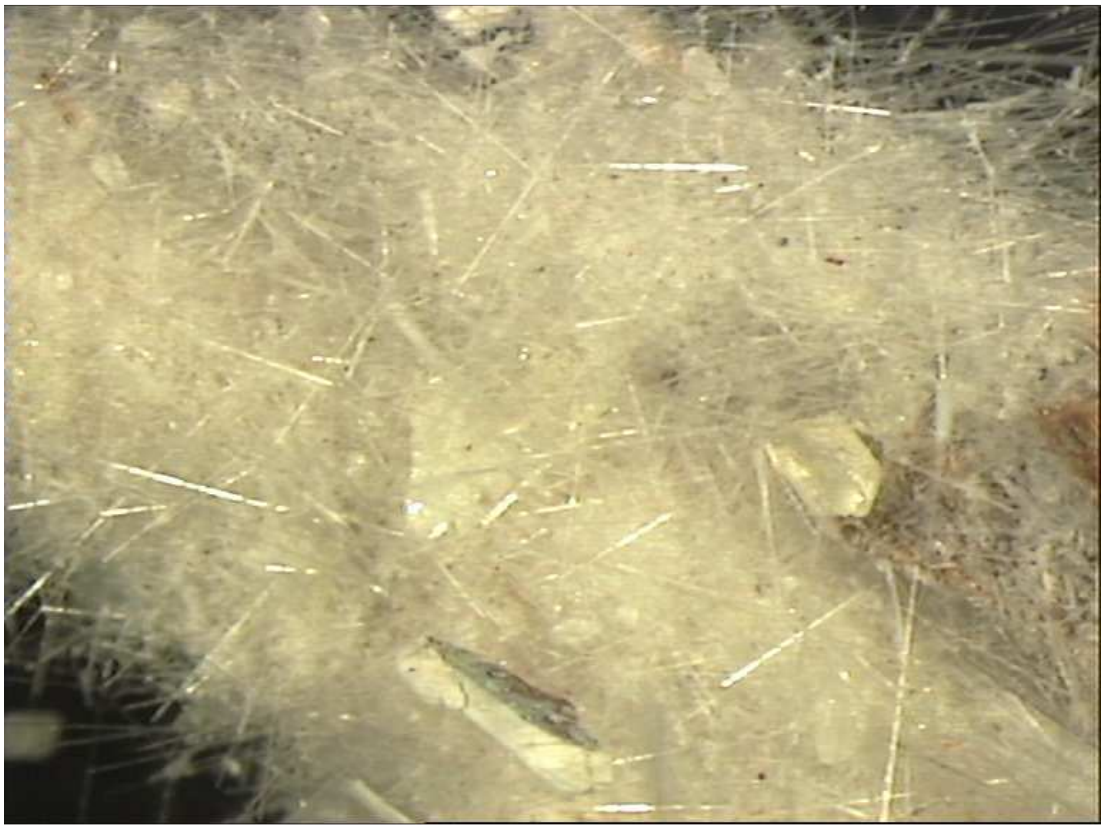
ANNEX 2. DOCUMENTACIÓ FOTOGRÀFICA

A2.1. Introducció

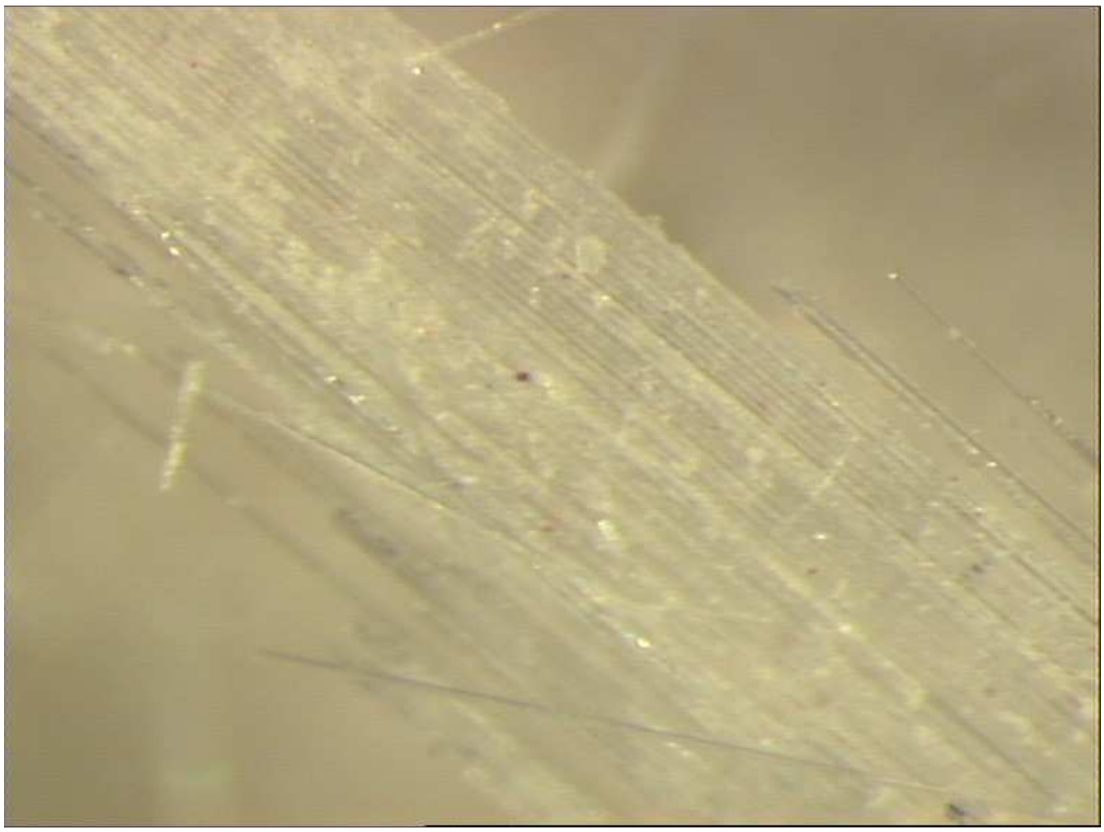
En aquest annex s'ha procedit a compilar tota la documentació fotogràfica que s'ha obtingut al llarg de tot el tractament. La inclusió del present annex respon a l'objectiu d'il·lustrar i completar els anteriors apartats del treball que ens ocupa. Mitjançant la visualització dels resultats de les diferents fases que conformen el tractament proposat.

A2.2. Fotografies de la fibra bruta

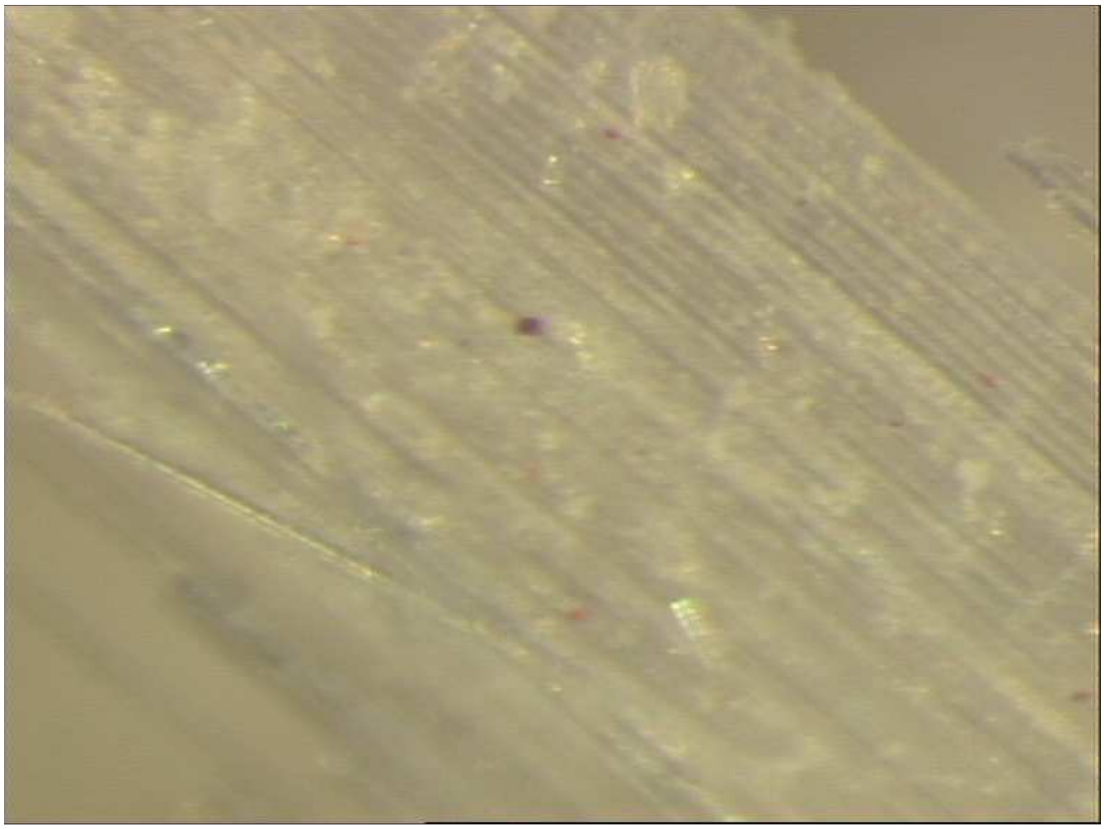
A continuació s'adjunten les fotografies de la fibra bruta, és a dir, la fibra amb la que s'inicia el tractament proposat. Com es pot apreciar, en la barreja que s'obté del trinxat dels cascs dels vaixells la fibra es pot percebre a ull nu, sense que es requereixi l'ús d'una lupa estereoscòpica; tanmateix no és visible en grans quantitats. Això, com s'ha dit anteriorment, és degut en gran mesura a la presència de resina polimèrica impregnant la superfície de la fibra. També es pot observar una quantitat de pols i impureses força important.



Fotografia A2.2. 1. Fibra bruta (x0,8)



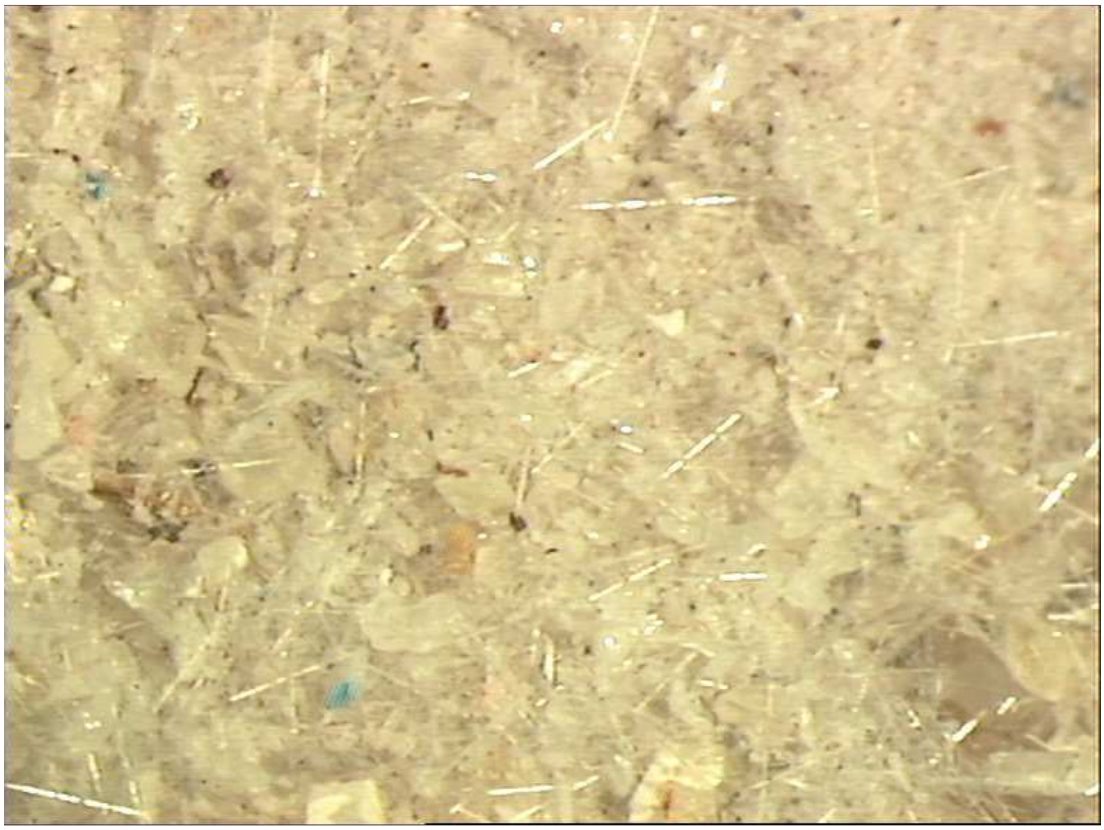
Fotografia A2.2. 2. Fibra bruta (x4)



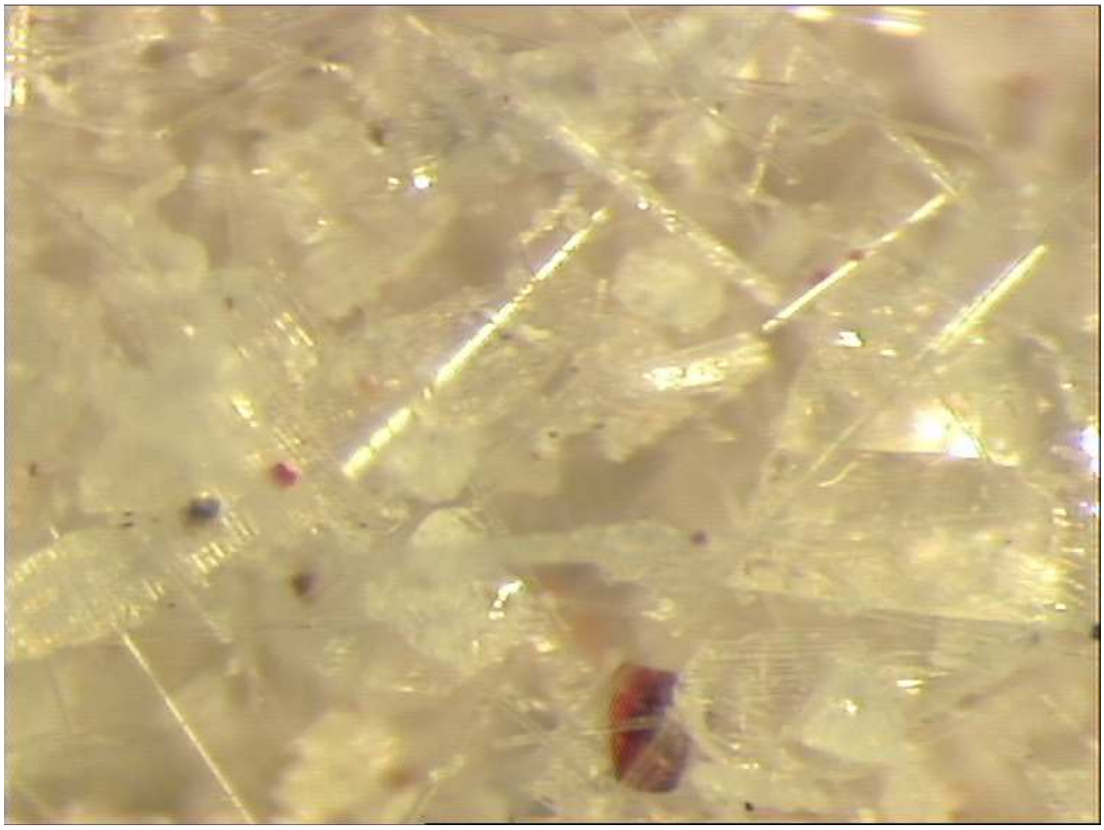
Fotografia A2.2. 3. Fibra bruta (x8)

A2.3. Fotografies de la pols i altres impureses

El material no retingut pel tamís correspon a la fracció anomenada “pols i impureses”, la qual està composta d’estelles de fusta, pols de resina, microfibres, vernissos i pintures del casc, etc.



Fotografia A2.3. 1. Pols i impureses (x0,8)

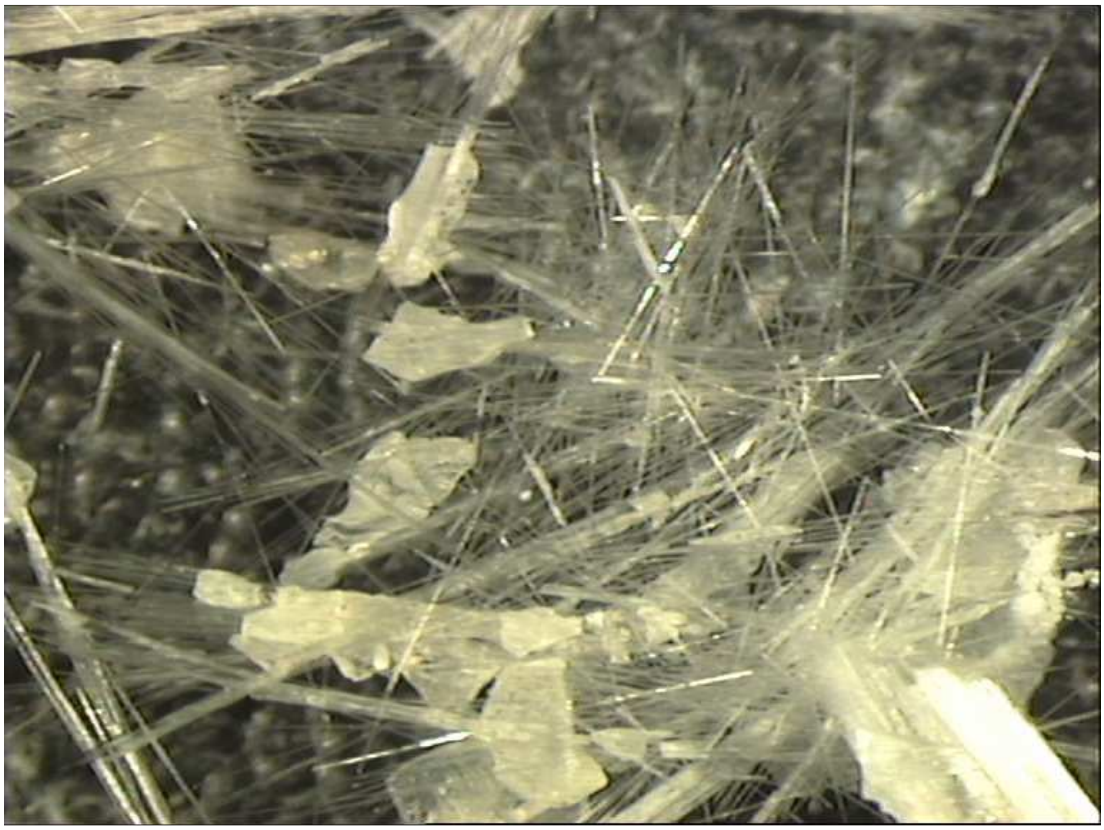


Fotografia A2.3. 2. Pols i impureses (x4)

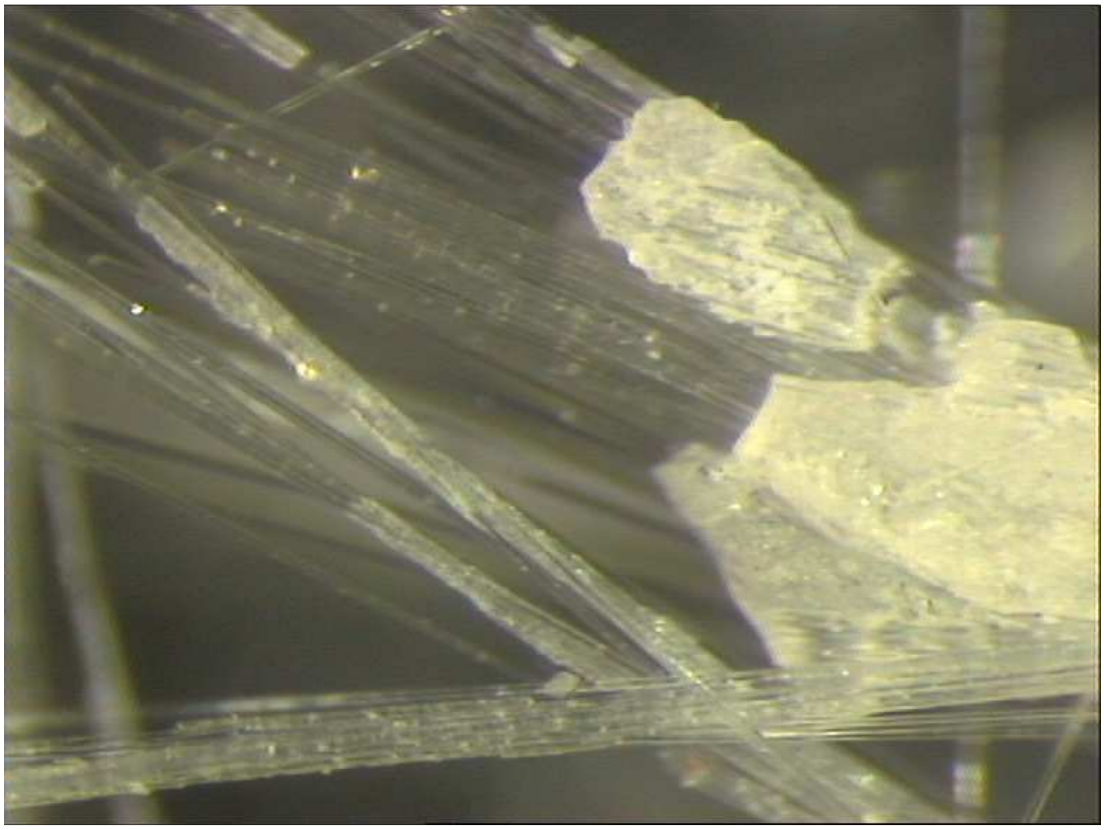
Fotografia A2.3. 3. Pols i impureses (x8)

A2.4. Fotografies de la fibra tamisada

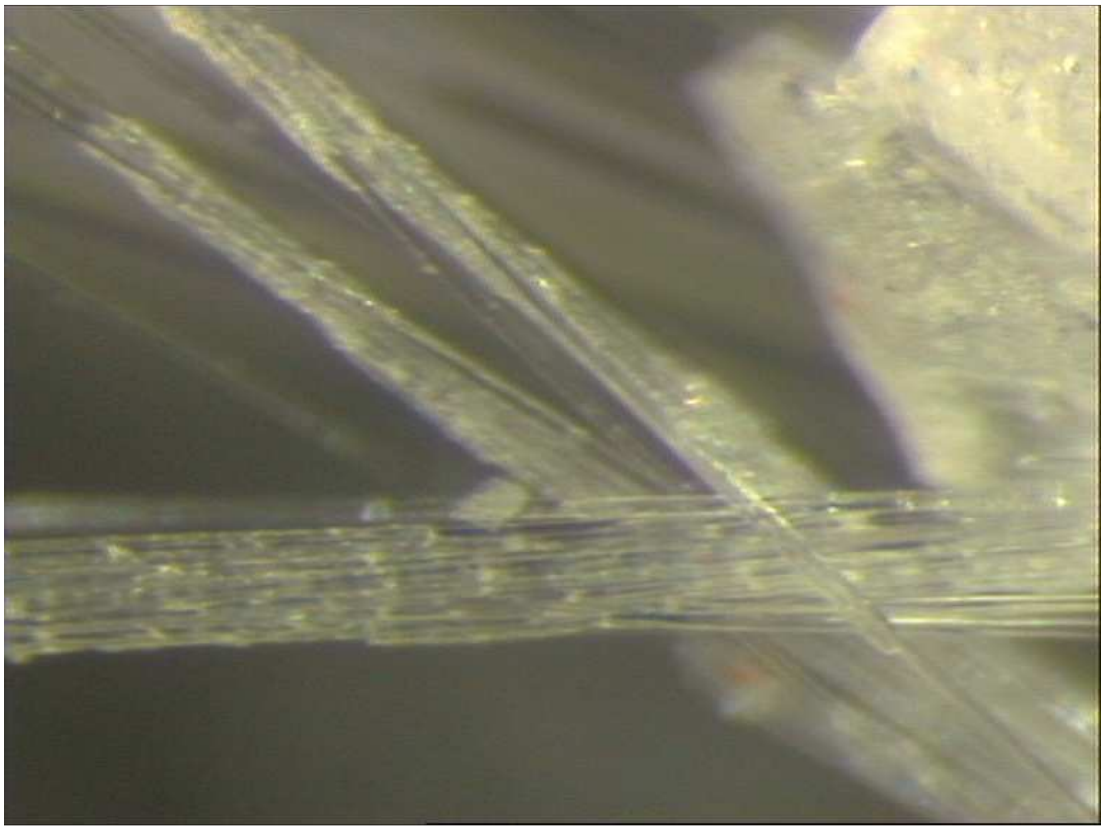
La fibra tamisada és aquella que s'obté un cop finalitzada la primera fase del tractament proposat. La eficàcia de la neteja física es fa evident en l'aspecte que presenta la fibra.



Fotografia A2.4. 1. Fibra tamisada (x0,8)



Fotografia A2.4. 2. Fibra tamisada (x4)



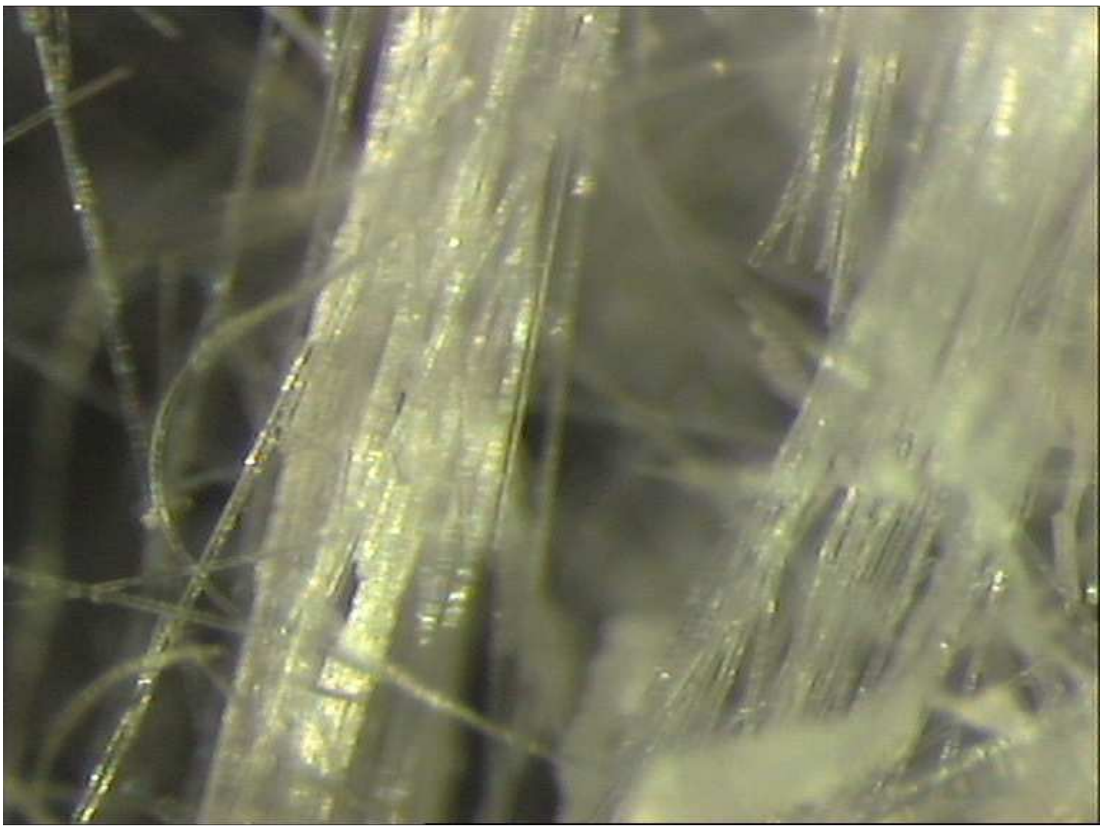
Fotografia A2.4. 3. Fibra tamisada (x8)

A2.5. Fotografies de la fibra neta

Finalitzada la neteja química s'obté l'anomenada fibra neta. La fibra és molt fàcil d'identificar ja que s'ha eliminat la resina que s'hi adheria. La resina, principalment, es dissol en la solució d'àcid nítric amb que es realitza la neteja química però, com es pot observar en les fotografies, també pot solidificar-se en petits cristalls. Tal circumstància no representa cap problema ja que el que es busca en aquesta fase del tractament és exposar la superfície de la fibra per garantir un recobriment adequat durant la impregnació del tractament superficial.

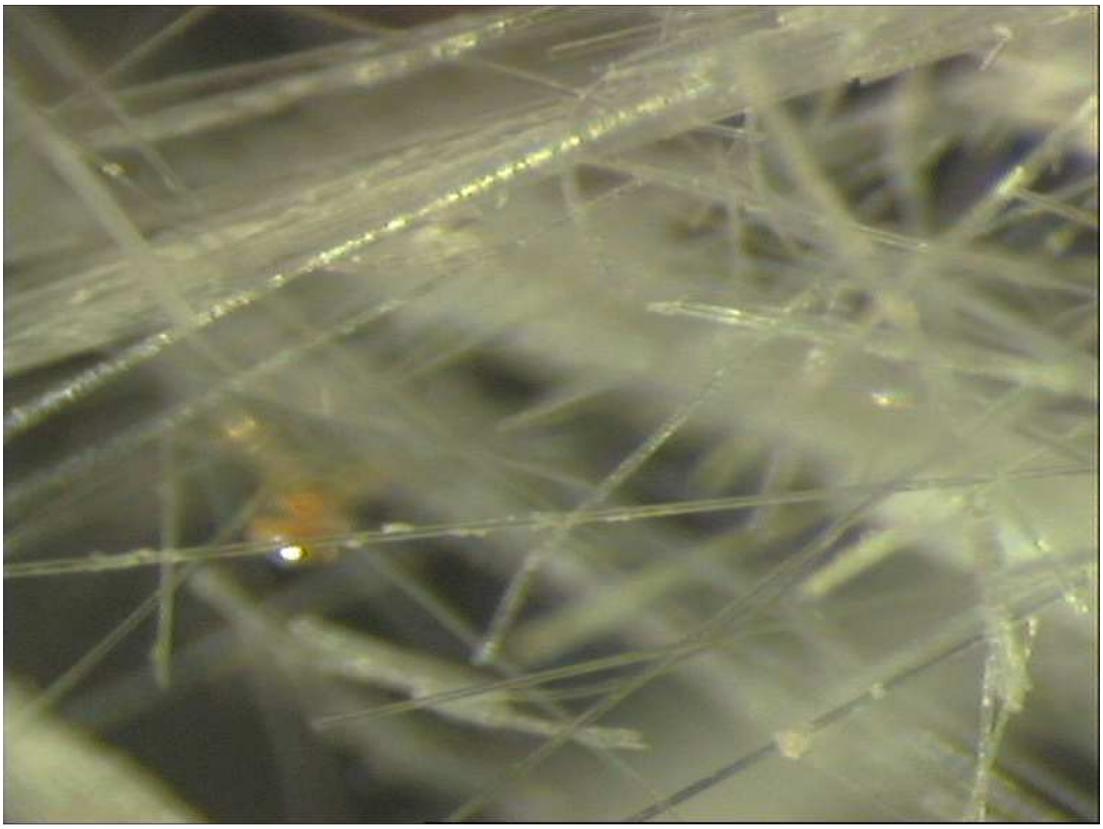
Com es pot observar a les imatges, les fibres adquireixen un color groguenc que s'intensifica com més elevada és la temperatura i al perllongar el temps de neteja.

Fotografia A2.5. 1. NETEJA – 24h – 0,5M – 40°C, corresponent a la fibra del cas 1 de la neteja química (x0,8).

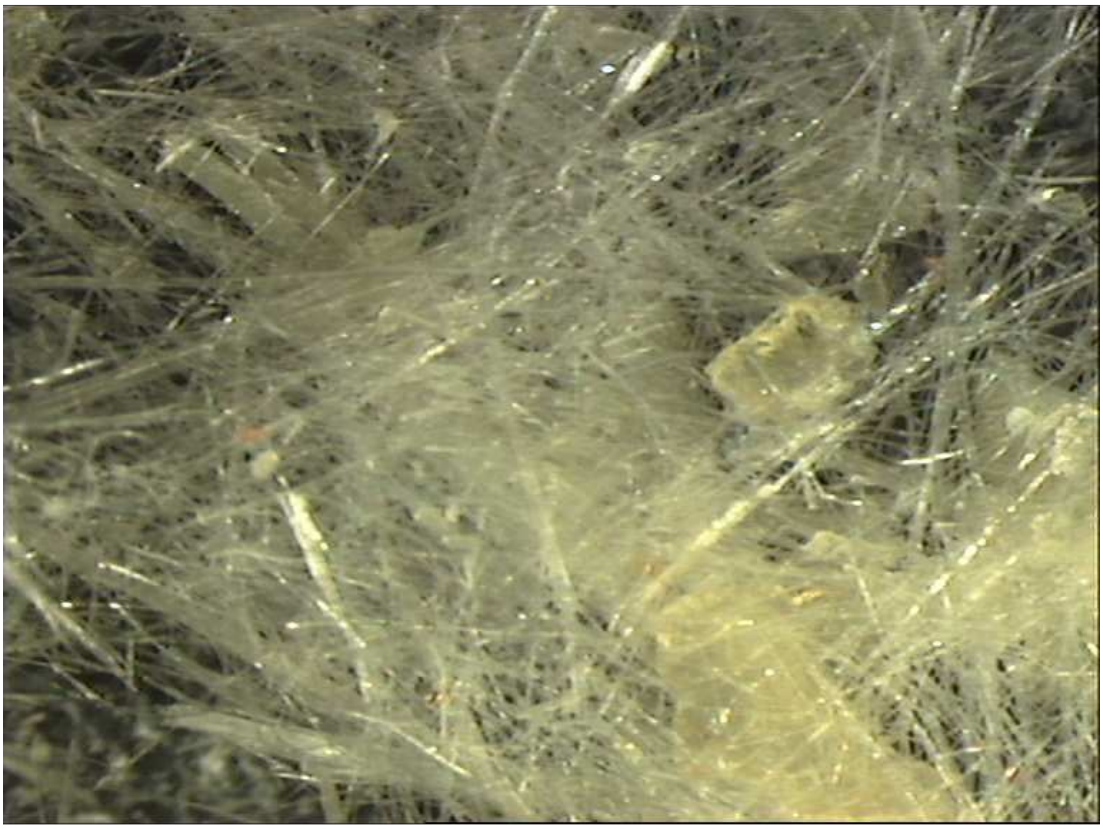


Fotografia A2.5. 2. NETEJA – 24h – 0,5M – 40°C, corresponent a la fibra del cas 1 de la neteja química (x4).

Fotografia A2.5. 3. NETEJA – 24h – 0,5M – 80°C, corresponent a la fibra del cas 2 de la neteja química (x0,8).

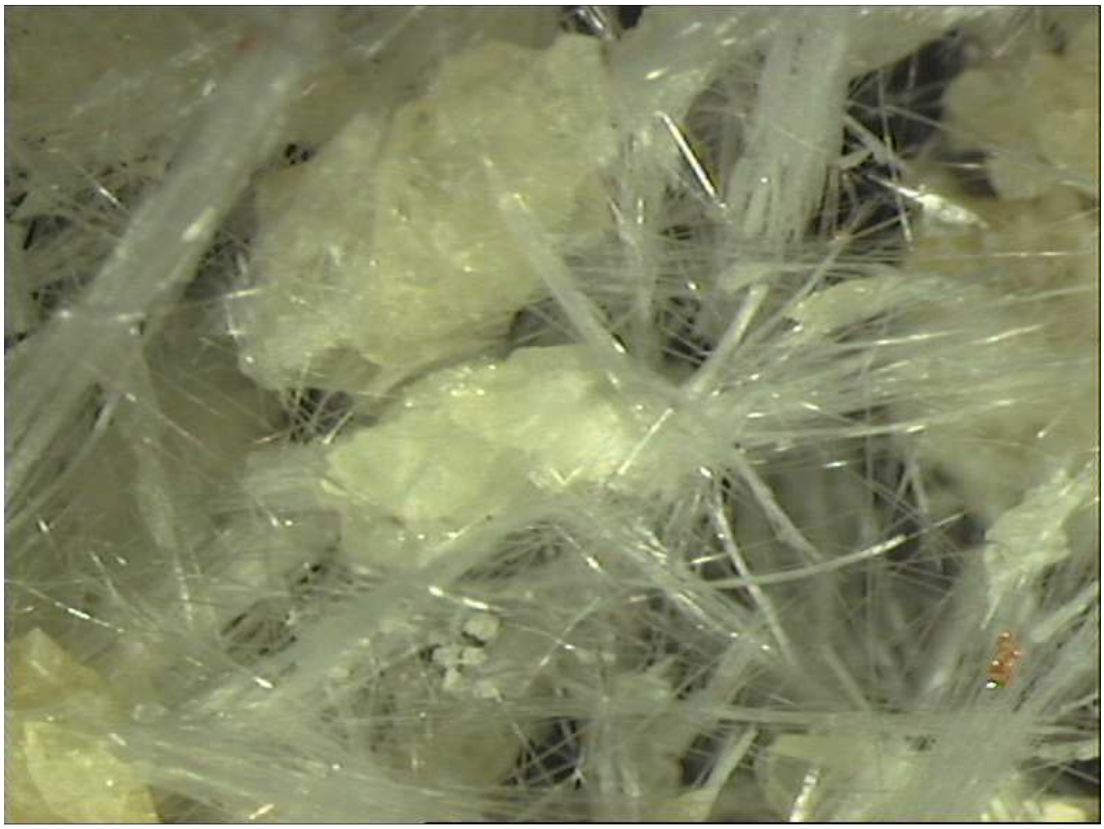


Fotografia A2.5. 4. NETEJA – 24h – 0,5M – 80°C, corresponent a la fibra del cas 2 de la neteja química (x4).

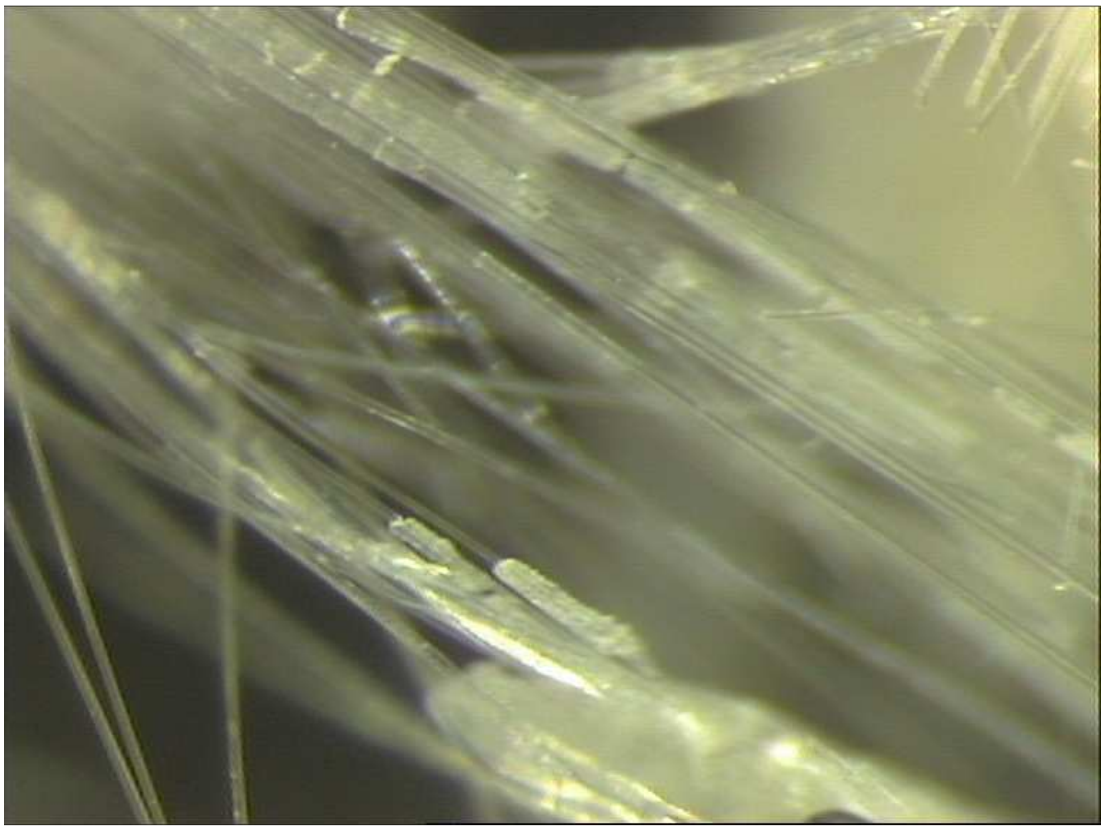


Fotografia A2.5. 5. NETEJA – 24h – 2M – 40°C, corresponent a la fibra del cas 3 de la neteja química (x0,8).

Fotografia A2.5. 6. NETEJA – 24h – 2M – 40°C, corresponent a la fibra del cas 3 de la neteja química (x4).

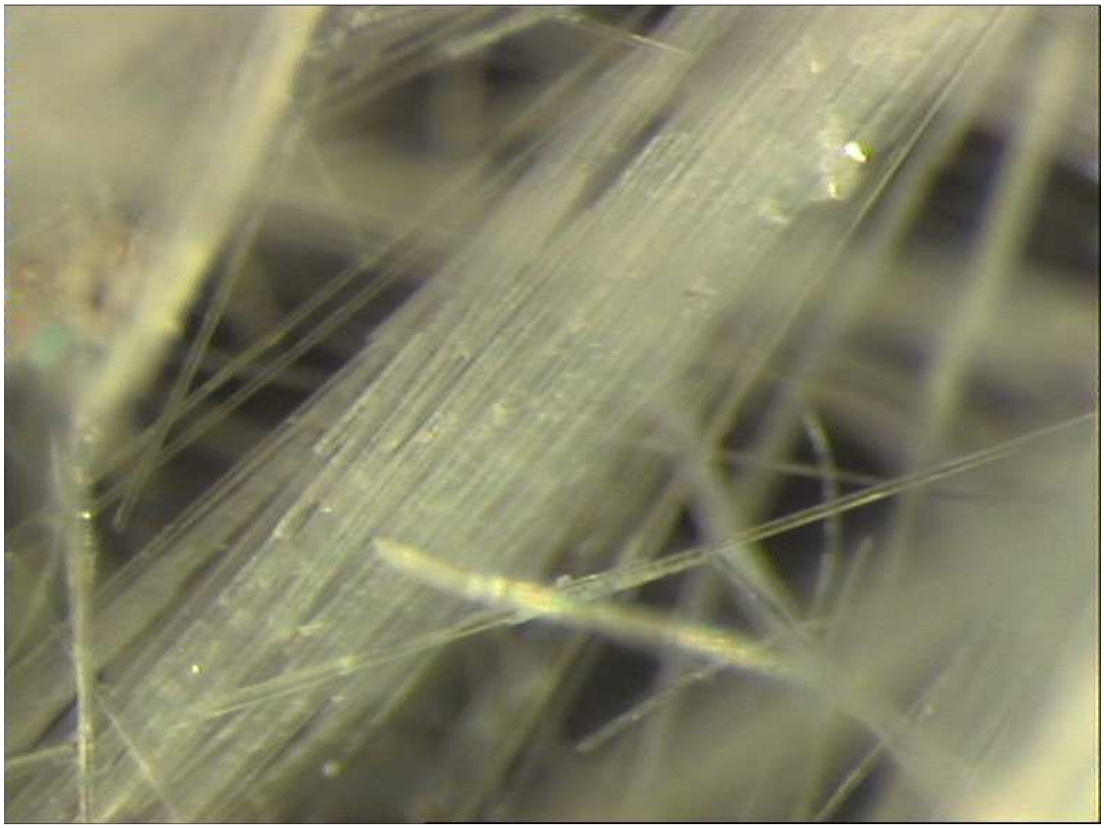


Fotografia A2.5. 7. NETEJA – 24h – 2M – 80°C, corresponent a la fibra del cas 4 de la neteja química (x0,8).



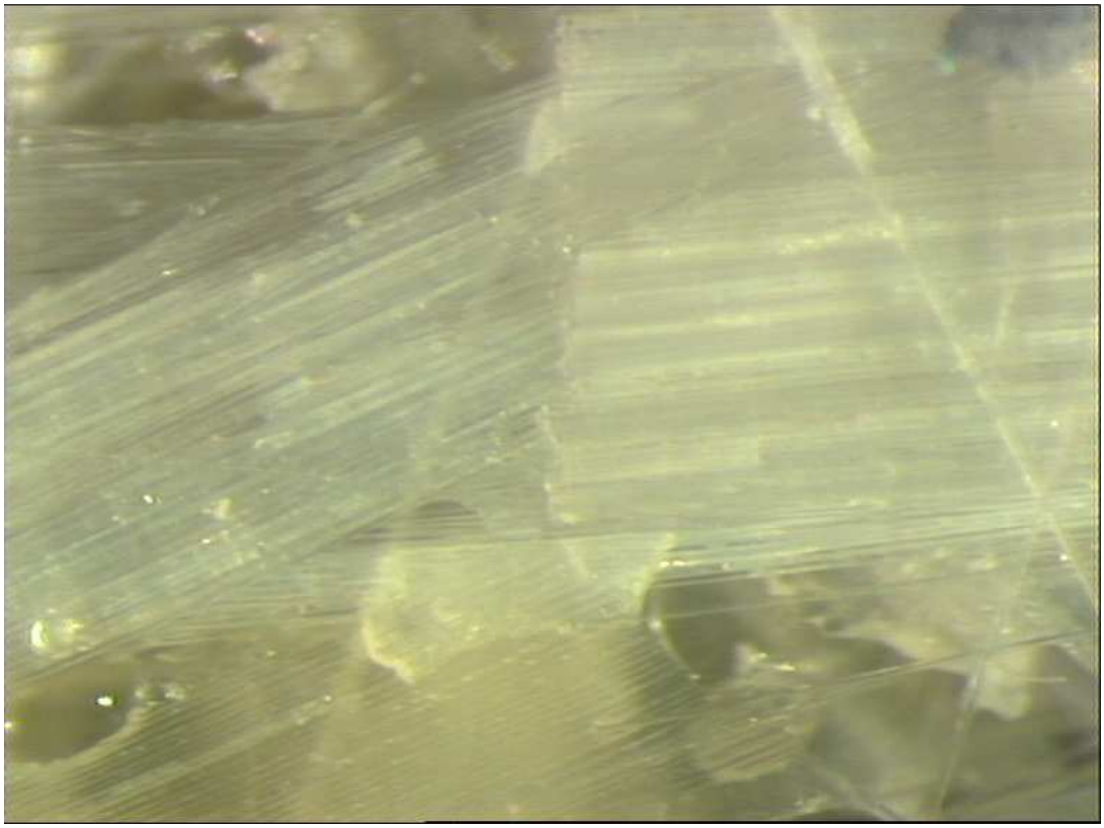
Fotografia A2.5. 8. NETEJA – 24h – 2M – 80°C, corresponent a la fibra del cas 4 de la neteja química (x4).

Fotografia A2.5. 9. NETEJA – 48h – 0,5M – 40°C, corresponent a la fibra del cas 5 de la neteja química (x0,8).



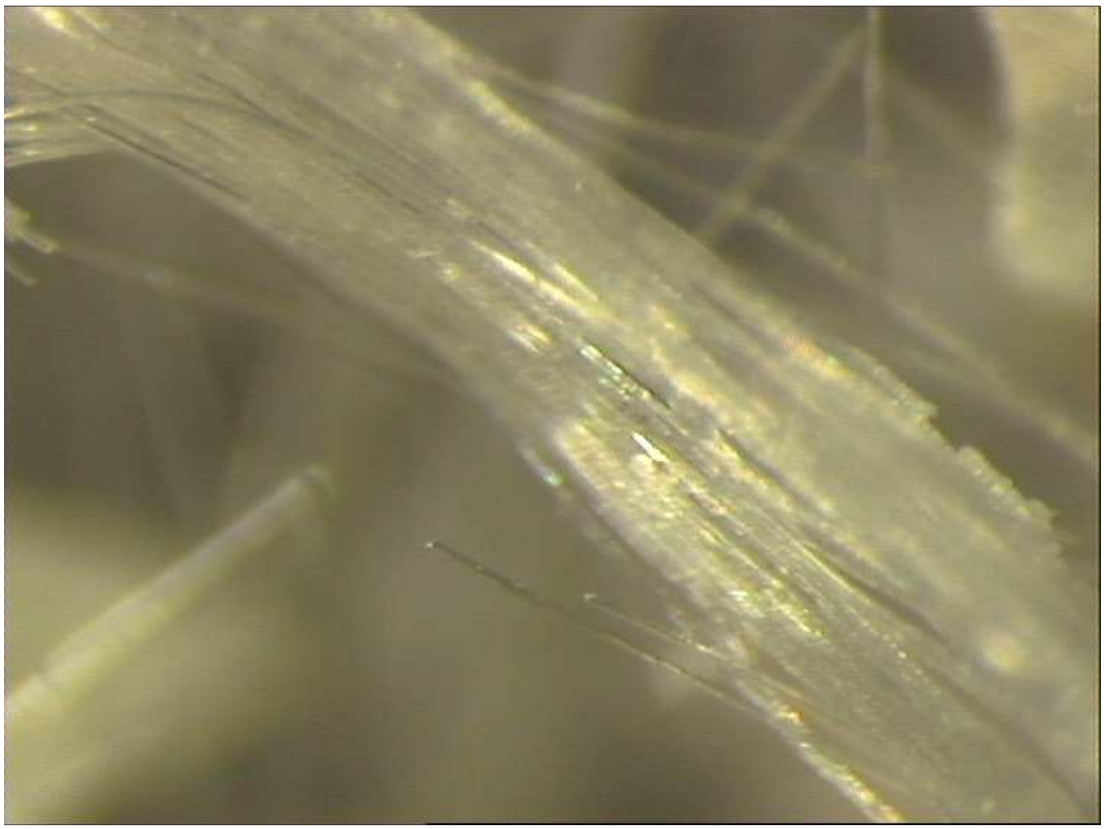
Fotografia A2.5. 10. NETEJA – 48h – 0,5M – 40°C, corresponent a la fibra del cas 5 de la neteja química (x4).

Fotografia A2.5. 11. NETEJA – 48h – 0,5M – 80°C, corresponent a la fibra del cas 6 de la neteja química (x0,8).



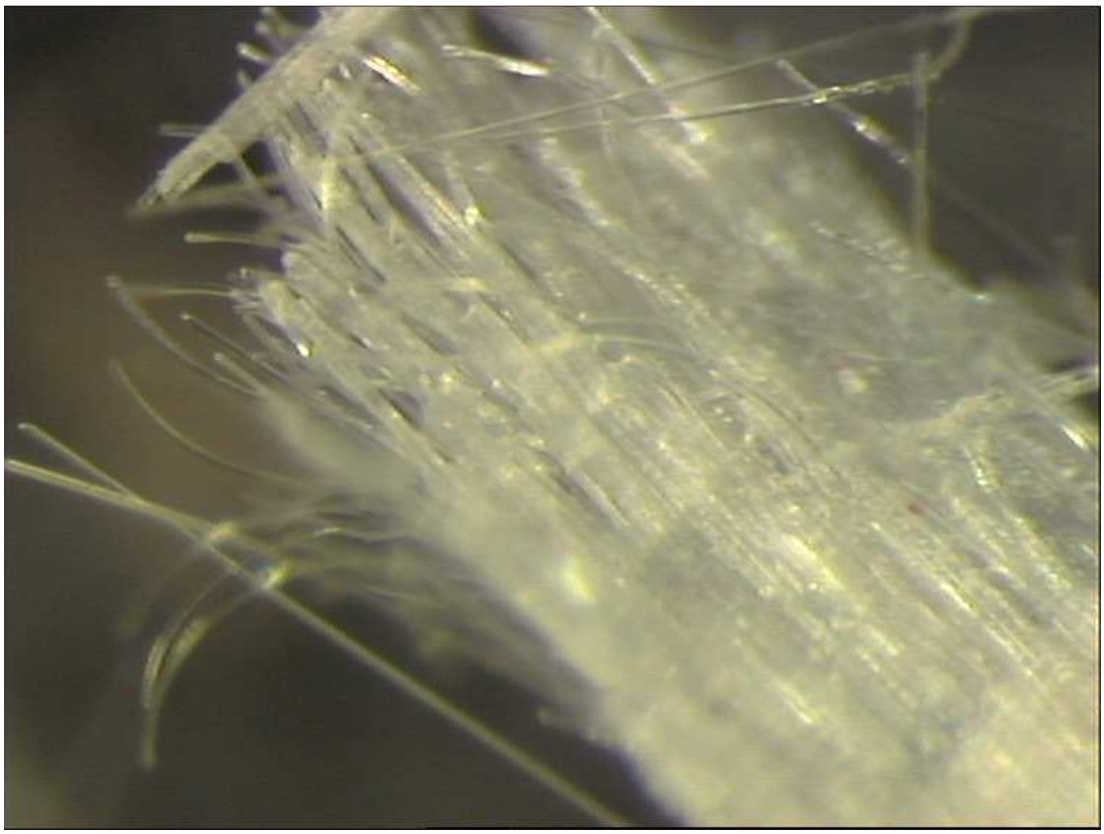
Fotografia A2.5. 12. NETEJA – 48h – 0,5M – 80°C, corresponent a la fibra del cas 6 de la neteja química (x4).

Fotografia A2.5. 13. NETEJA – 48h – 2M – 40°C, corresponent a la fibra del cas 7 de la neteja química (x0,8).



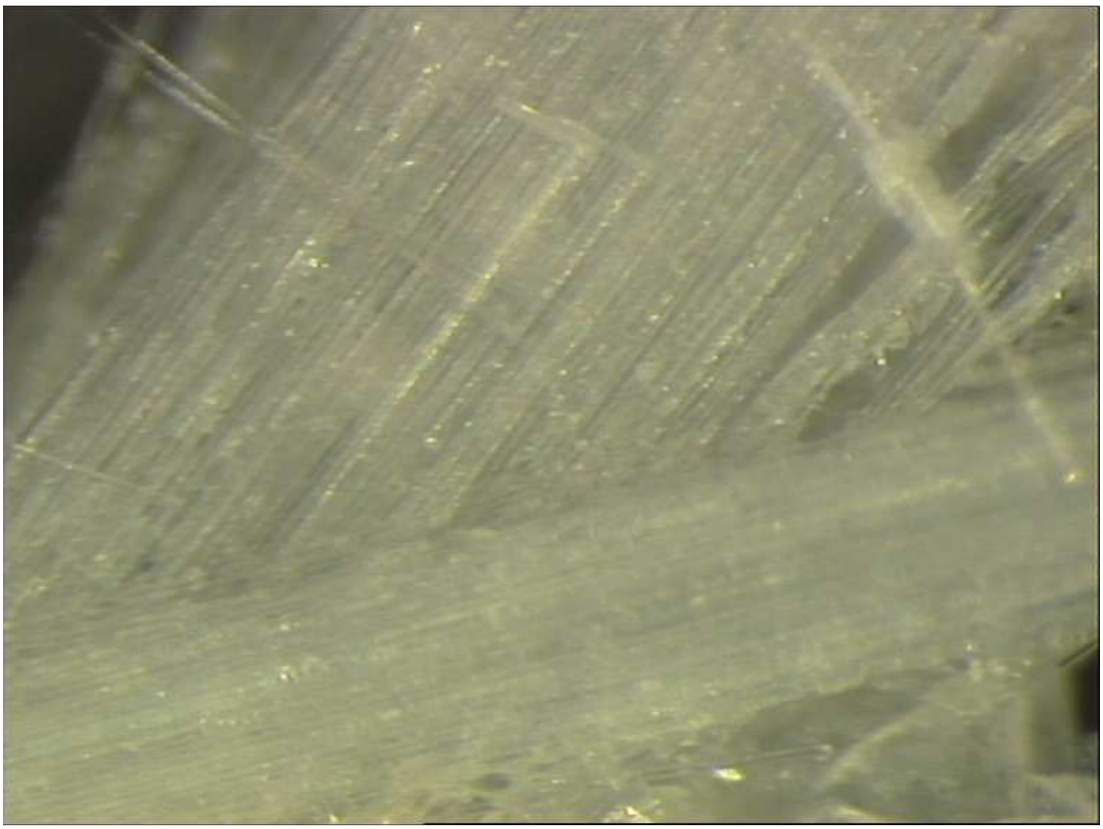
Fotografia A2.5. 14. NETEJA – 48h – 2M – 40°C, corresponent a la fibra del cas 7 de la neteja química (x4).

Fotografia A2.5. 15. NETEJA – 48h – 2M – 80°C, corresponent a la fibra del cas 8 de la neteja química (x0,8).



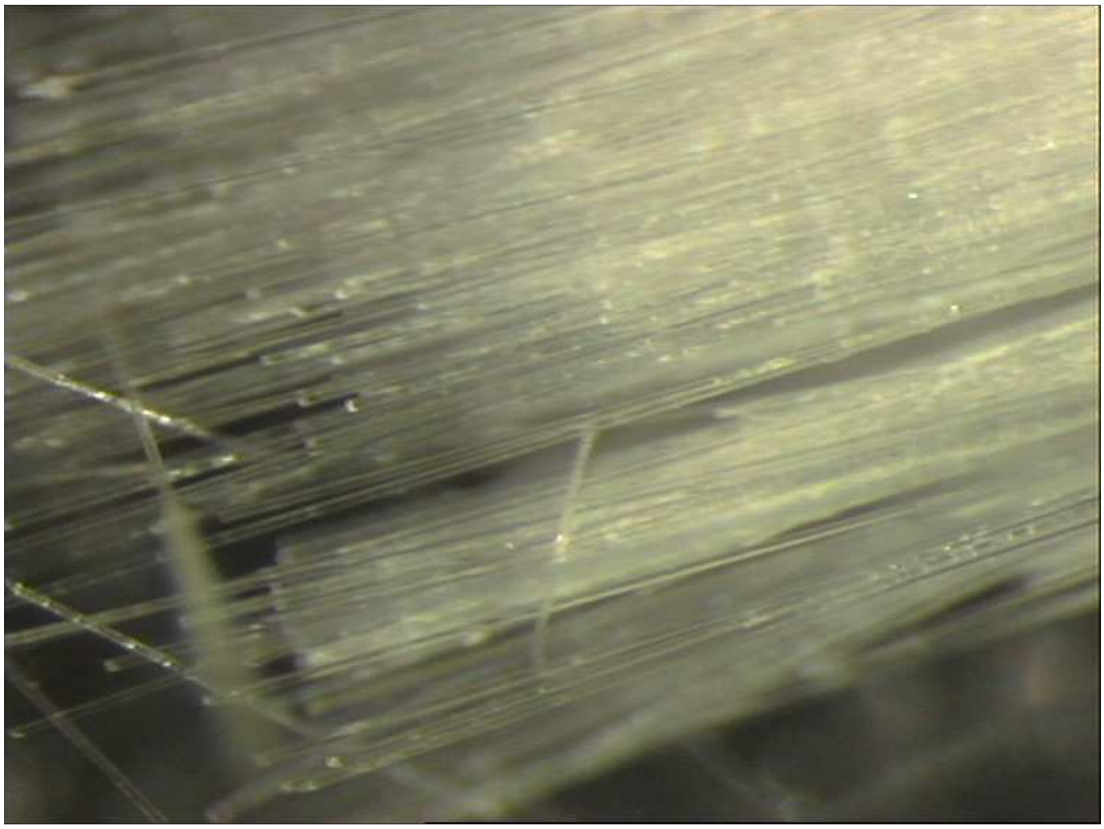
Fotografia A2.5. 16. NETEJA – 48h – 2M – 80°C, corresponent a la fibra del cas 8 de la neteja química (x4).

Fotografia A2.5. 17. NETEJA – 72h – 0,5M – 40°C, corresponent a la fibra del cas 9 de la neteja química (x0,8).

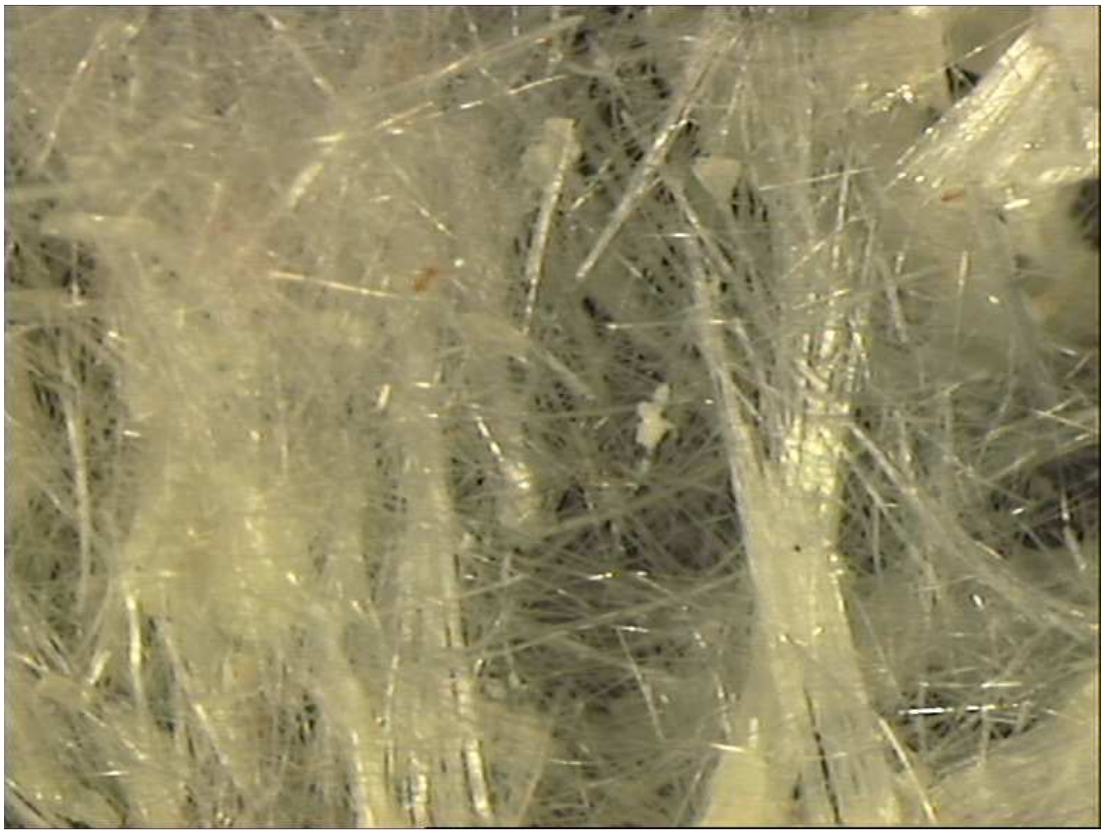


Fotografia A2.5. 18. NETEJA – 72h – 0,5M – 40°C, corresponent a la fibra del cas 9 de la neteja química (x4).

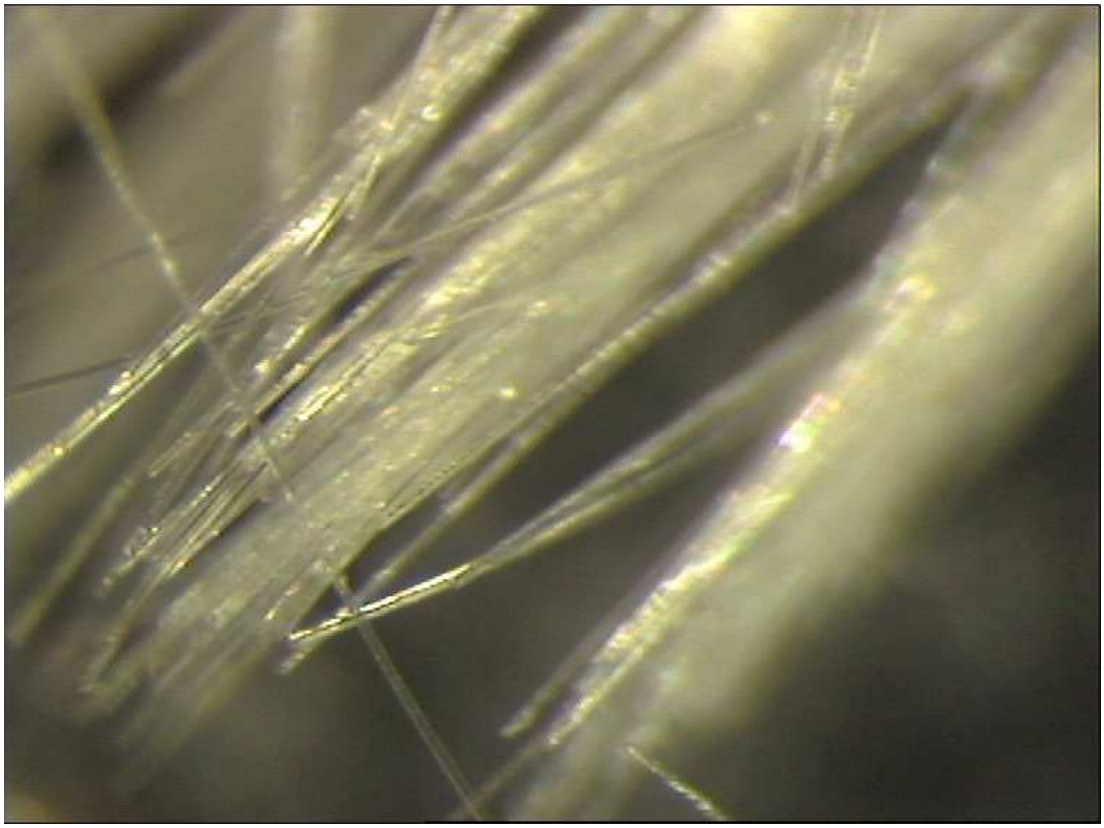
Fotografia A2.5. 19. NETEJA – 72h – 0,5M – 80°C, corresponent a la fibra del cas 10 de la neteja química (x0,8).



Fotografia A2.5. 20. NETEJA – 72h – 0,5M – 80°C, corresponent a la fibra del cas 10 de la neteja química (x4).

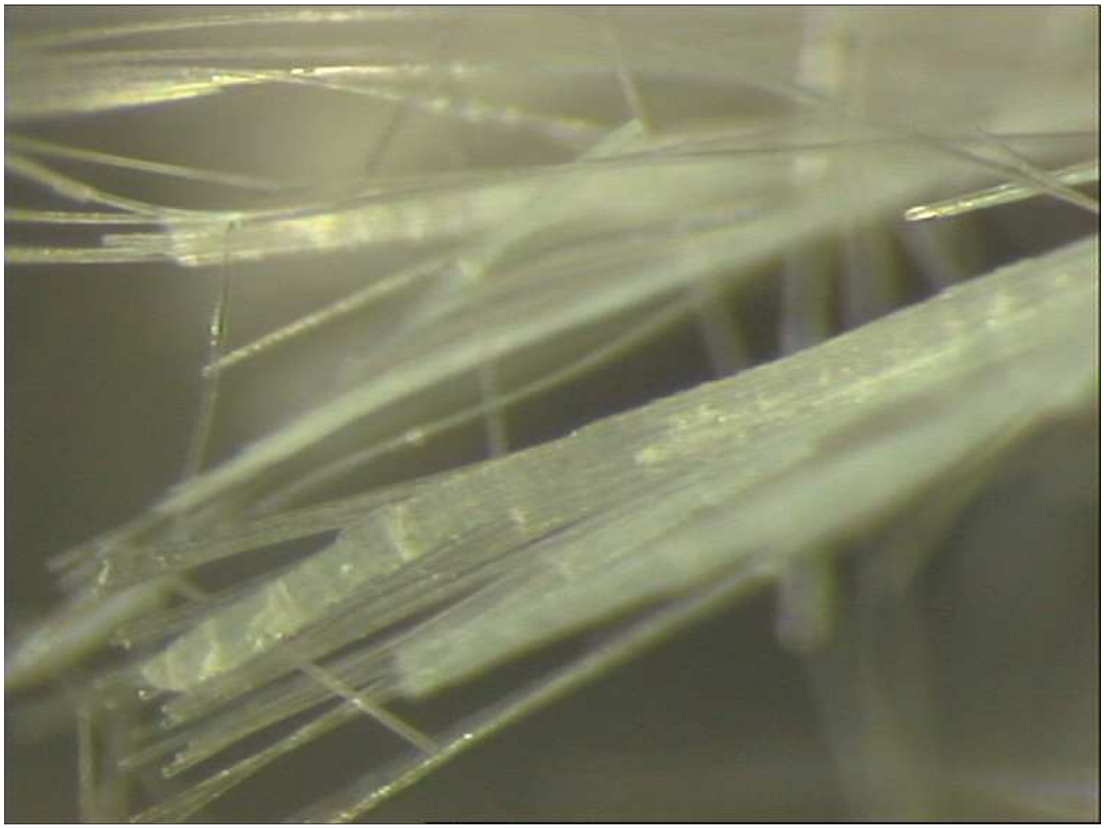


Fotografia A2.5. 21. NETEJA – 72h – 2M – 40°C, corresponent a la fibra del cas 11 de la neteja química (x0,8).



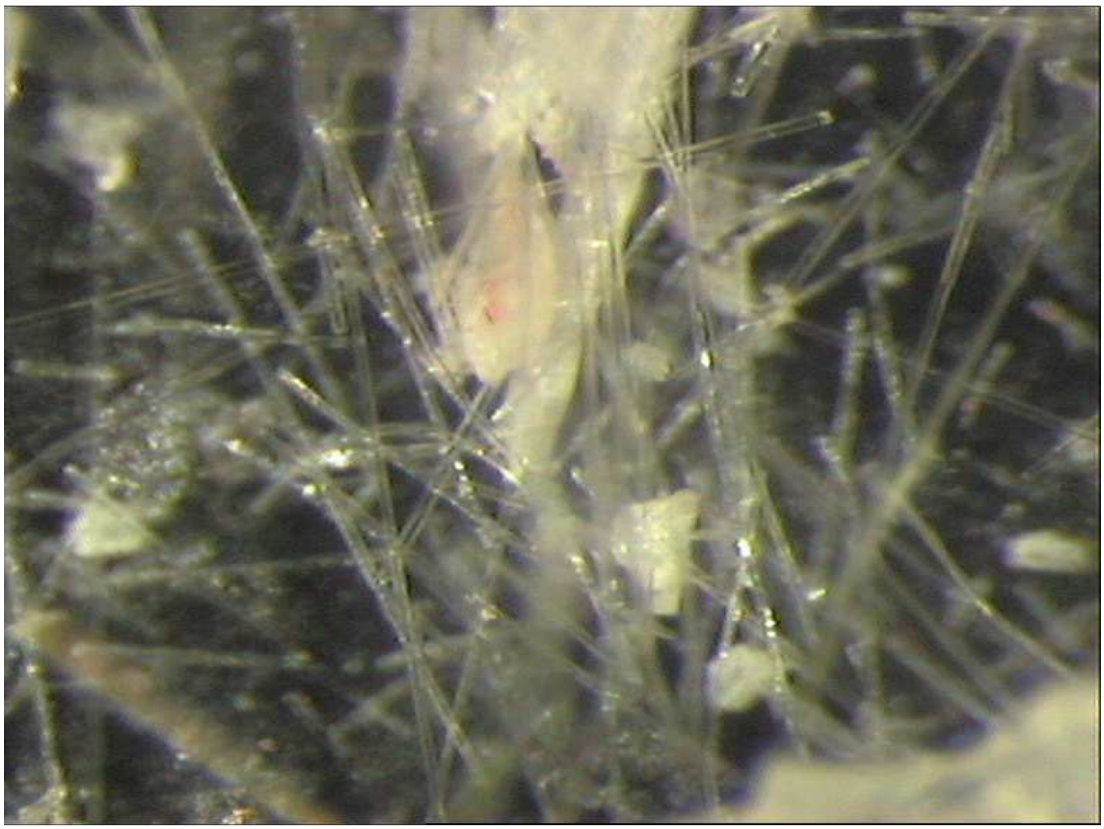
Fotografia A2.5. 22. NETEJA – 72h – 2M – 40°C, corresponent a la fibra del cas 11 de la neteja química (x4).

Fotografia A2.5. 23. NETEJA – 72h – 2M – 80°C, corresponent a la fibra del cas 12 de la neteja química (x0,8).



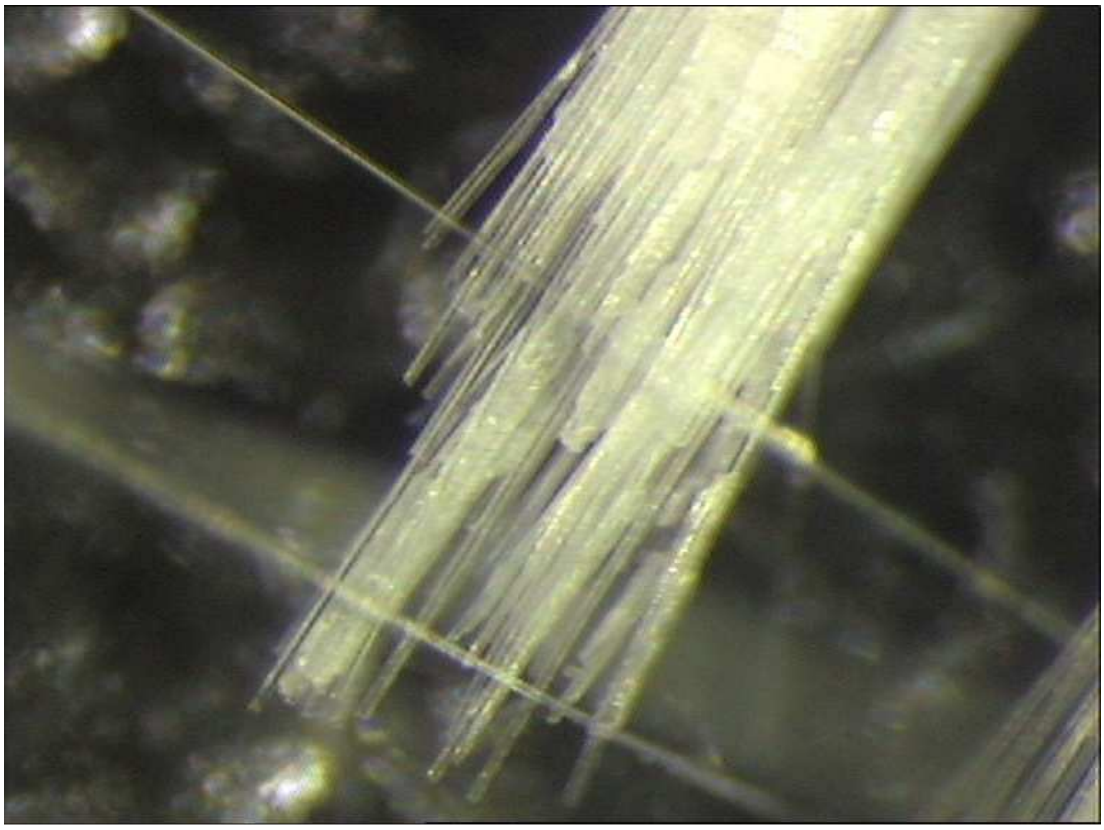
Fotografia A2.5. 24. NETEJA – 72h – 2M – 80°C, corresponent a la fibra del cas 12 de la neteja química (x4).

Fotografia A2.5. 25. NETEJA – 96h – 0,5M – 40°C, corresponent a la fibra del cas 13 de la neteja química (x0,8).



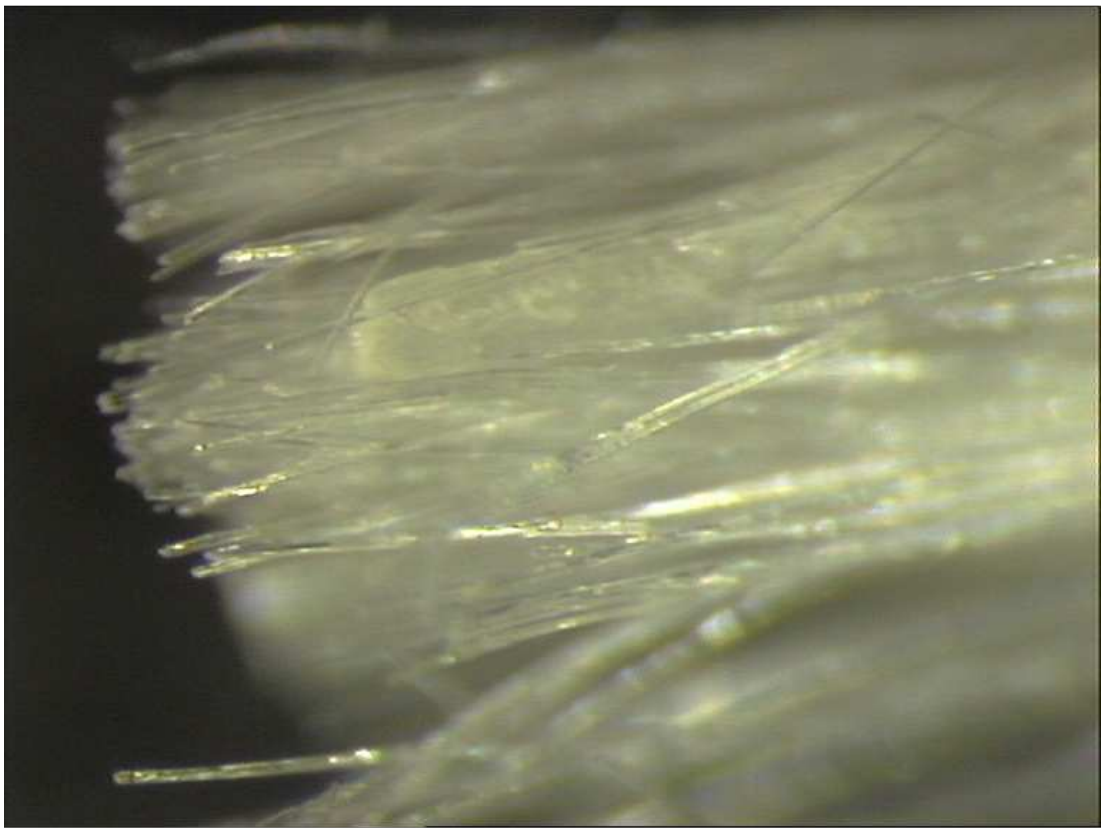
Fotografia A2.5. 26. NETEJA – 96h – 0,5M – 40°C, corresponent a la fibra del cas 13 de la neteja química (x4).

Fotografia A2.5. 27. NETEJA – 96h – 0,5M – 80°C, corresponent a la fibra del cas 14 de la neteja química (x0,8).



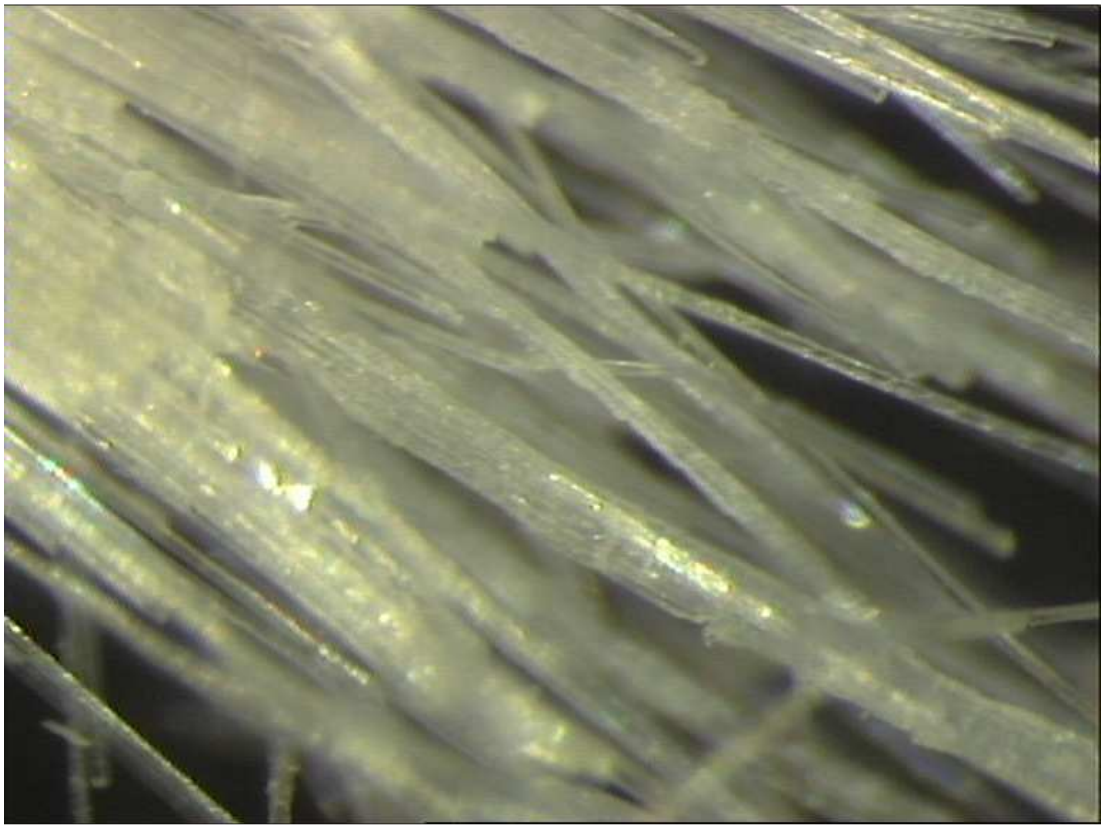
Fotografia A2.5. 28. NETEJA – 96h – 0,5M – 80°C, corresponent a la fibra del cas 14 de la neteja química (x4).

Fotografia A2.5. 29. NETEJA – 96h – 2M – 40°C, corresponent a la fibra del cas 15 de la neteja química (x0,8).



Fotografia A2.5. 30. NETEJA – 96h – 2M – 40°C, corresponent a la fibra del cas 15 de la neteja química (x4).

Fotografia A2.5. 31. NETEJA – 96h – 2M – 80°C, corresponent a la fibra del cas 16 de la neteja química (x0,8).

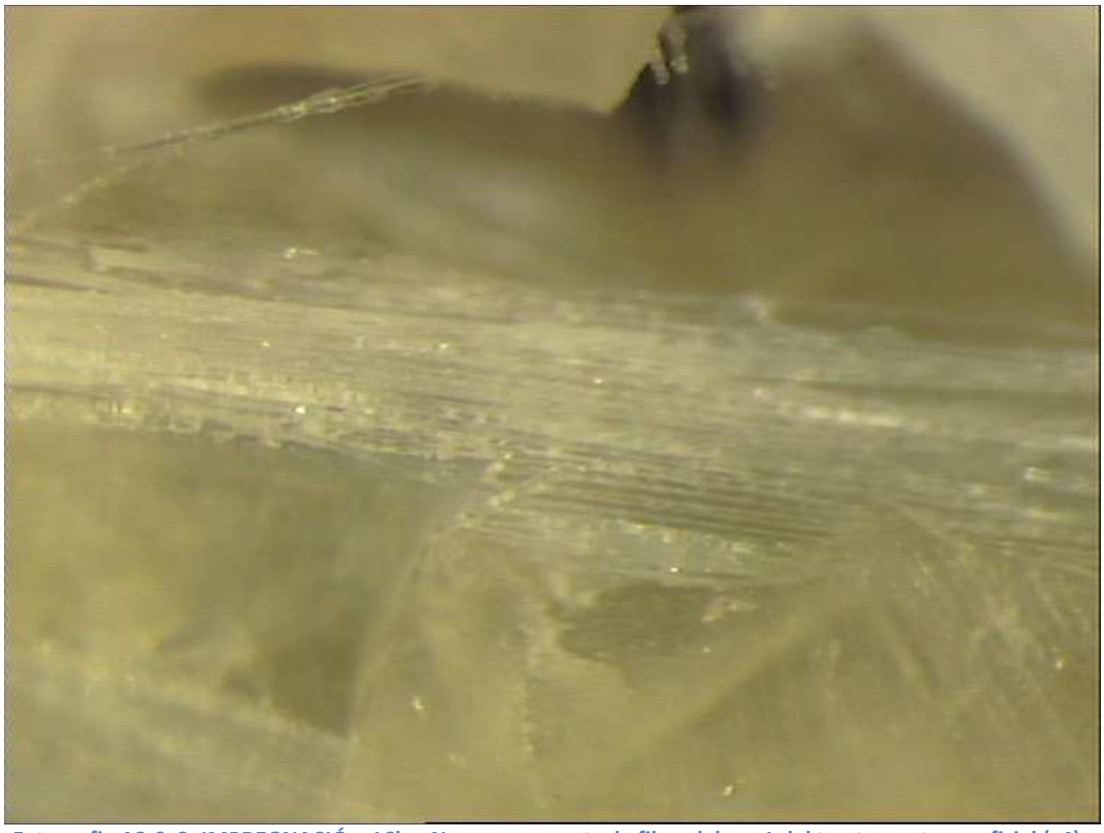


Fotografia A2.5. 32. NETEJA – 96h – 2M – 80°C, corresponent a la fibra del cas 16 de la neteja química (x4).

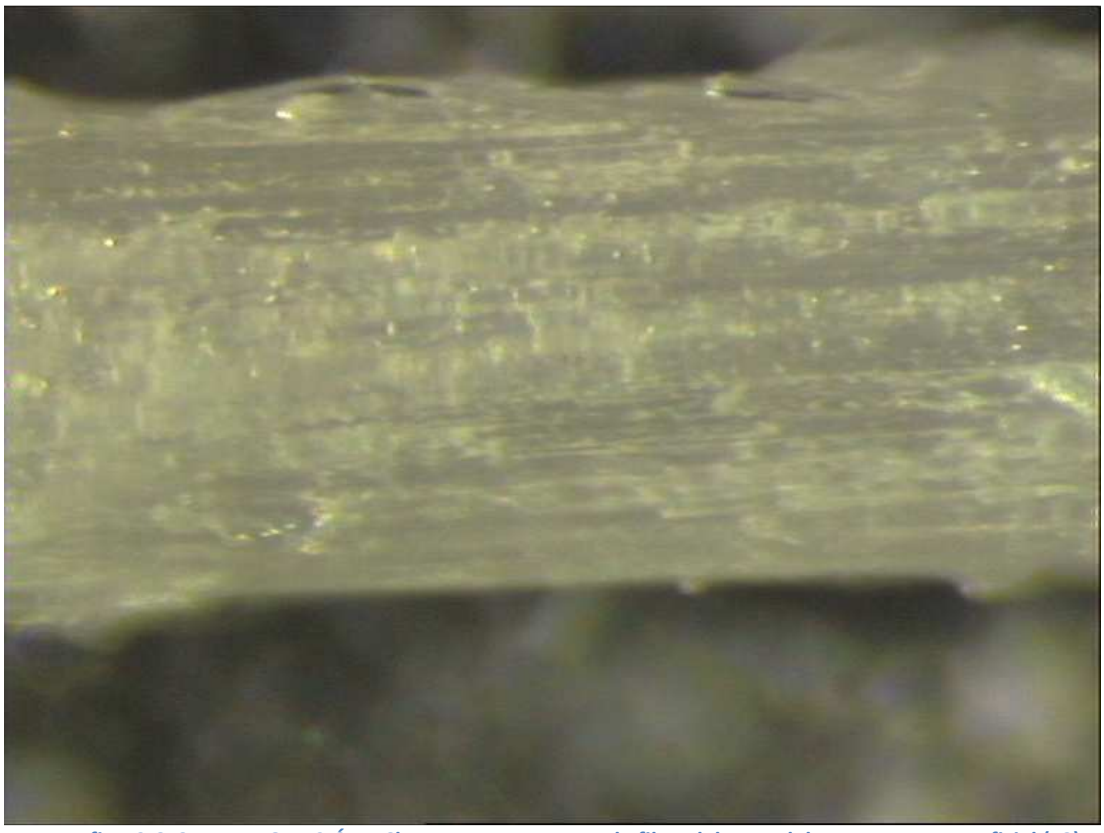
A2.6. Fotografies de la fibra tractada

Amb les imatges que s'adjunten a continuació es pot comprovar visualment l'existència del revestiment de la fibra obtingut amb la impregnació del tractament superficial. El revestiment en qüestió pot observar-se en els cristalls de cobreixen la superfície de la fibra.

Fotografia A2.6. 1. IMPREGNACIÓ – 16h – N, corresponent a la fibra del cas 1 del tractament superficial (x0,8).

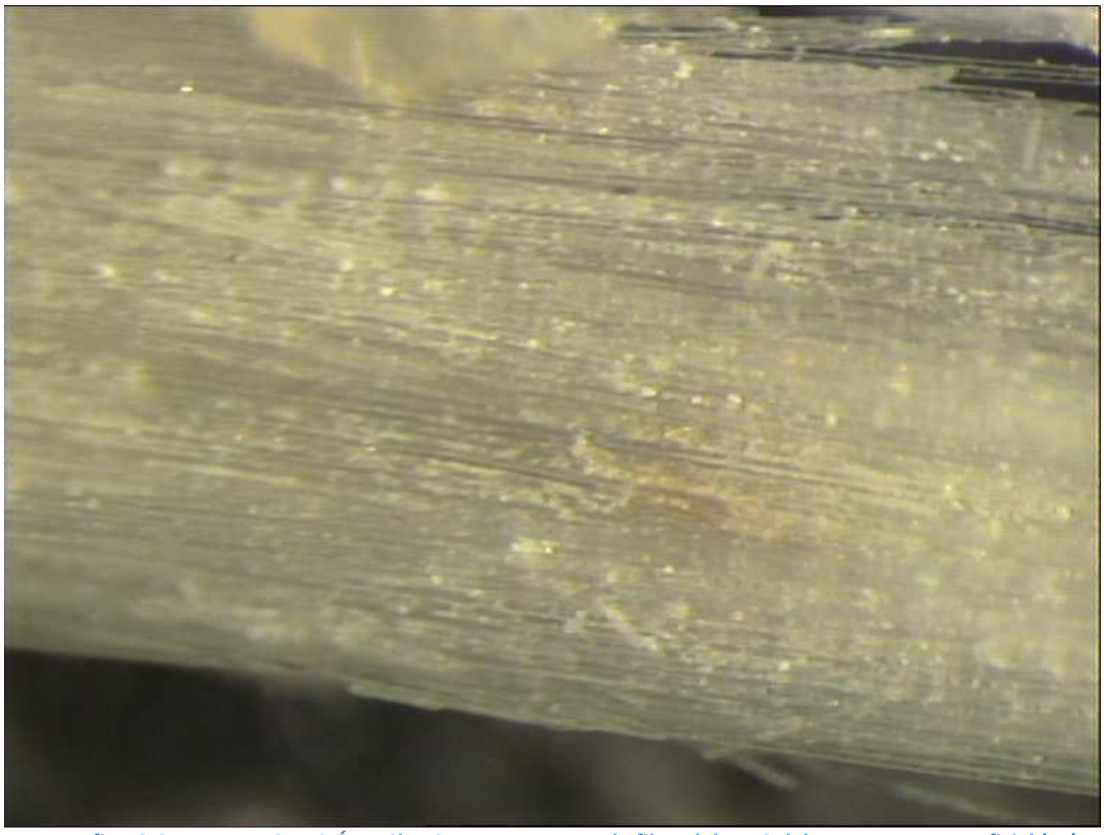


Fotografia A2.6. 2. IMPREGNACIÓ – 16h – N, corresponent a la fibra del cas 1 del tractament superficial (x4).

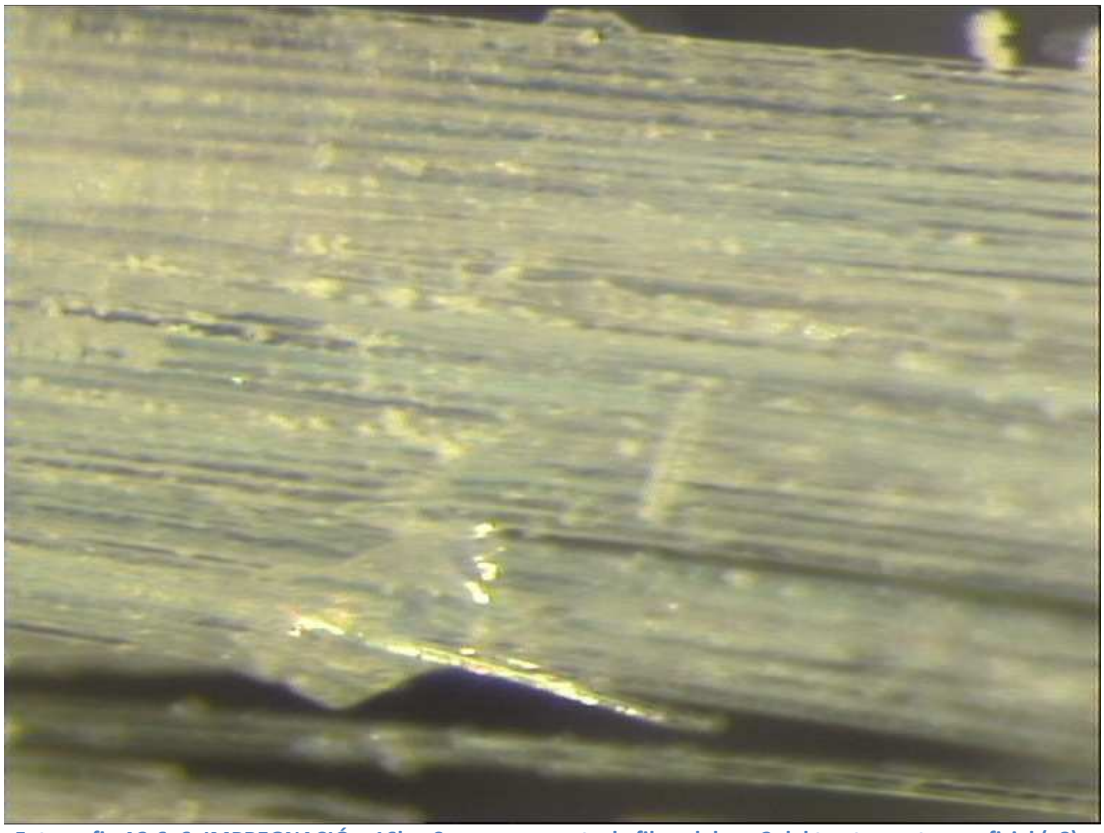


Fotografia A2.6. 3. IMPREGNACIÓ – 16h – N, corresponent a la fibra del cas 1 del tractament superficial (x8).

Fotografia A2.6. 4. IMPREGNACIÓ – 16h – S, corresponent a la fibra del cas 2 del tractament superficial (x0,8).

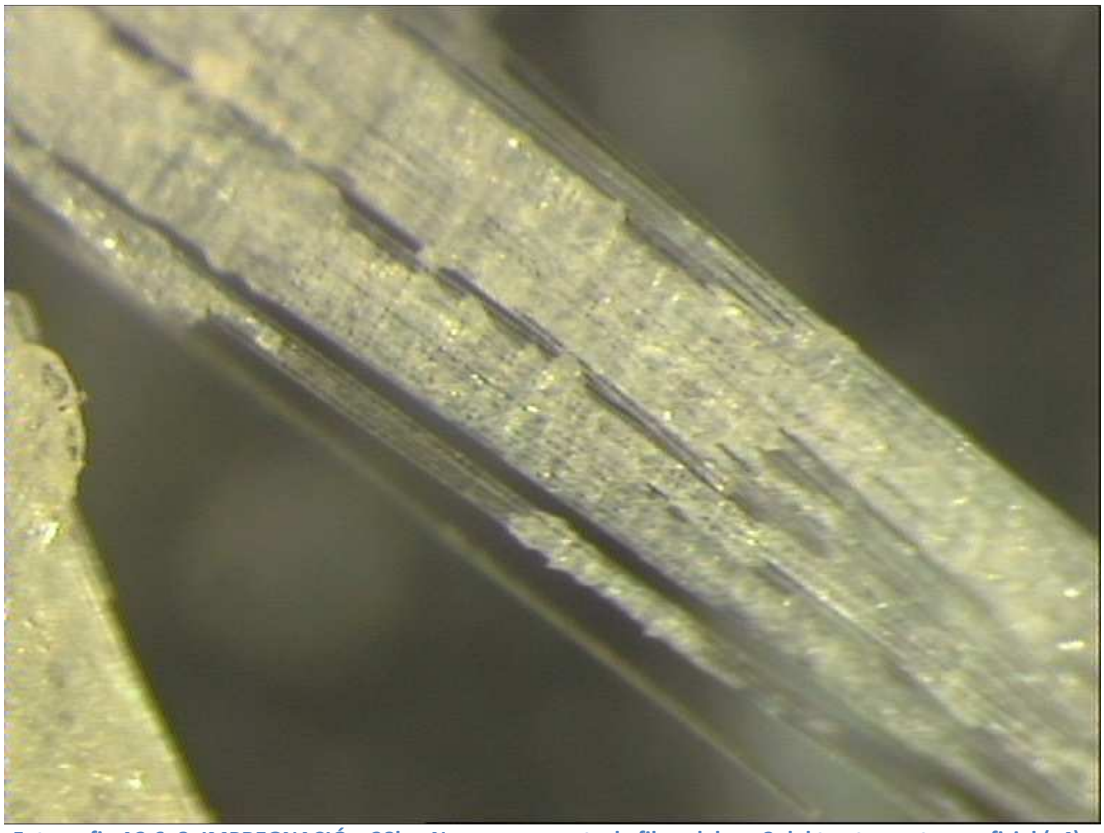


Fotografia A2.6. 5. IMPREGNACIÓ – 16h – S, corresponent a la fibra del cas 2 del tractament superficial (x4).

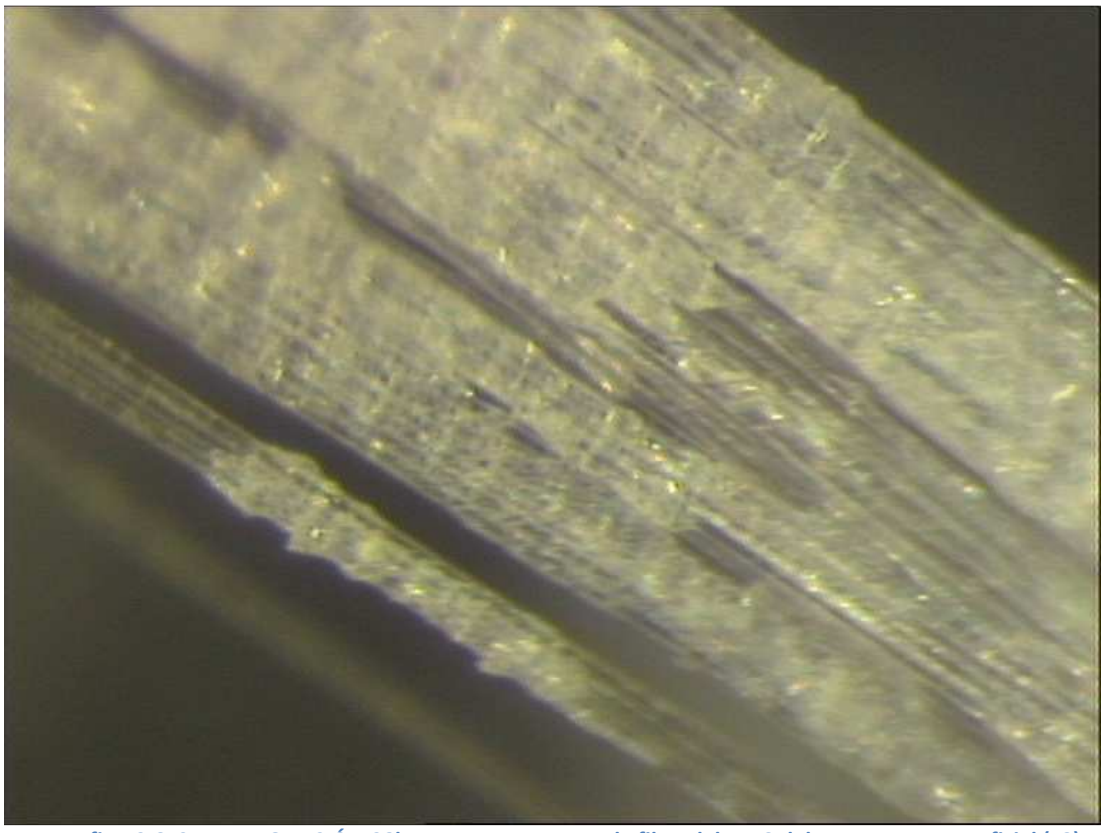


Fotografia A2.6. 6. IMPREGNACIÓ – 16h – S, corresponent a la fibra del cas 2 del tractament superficial (x8).

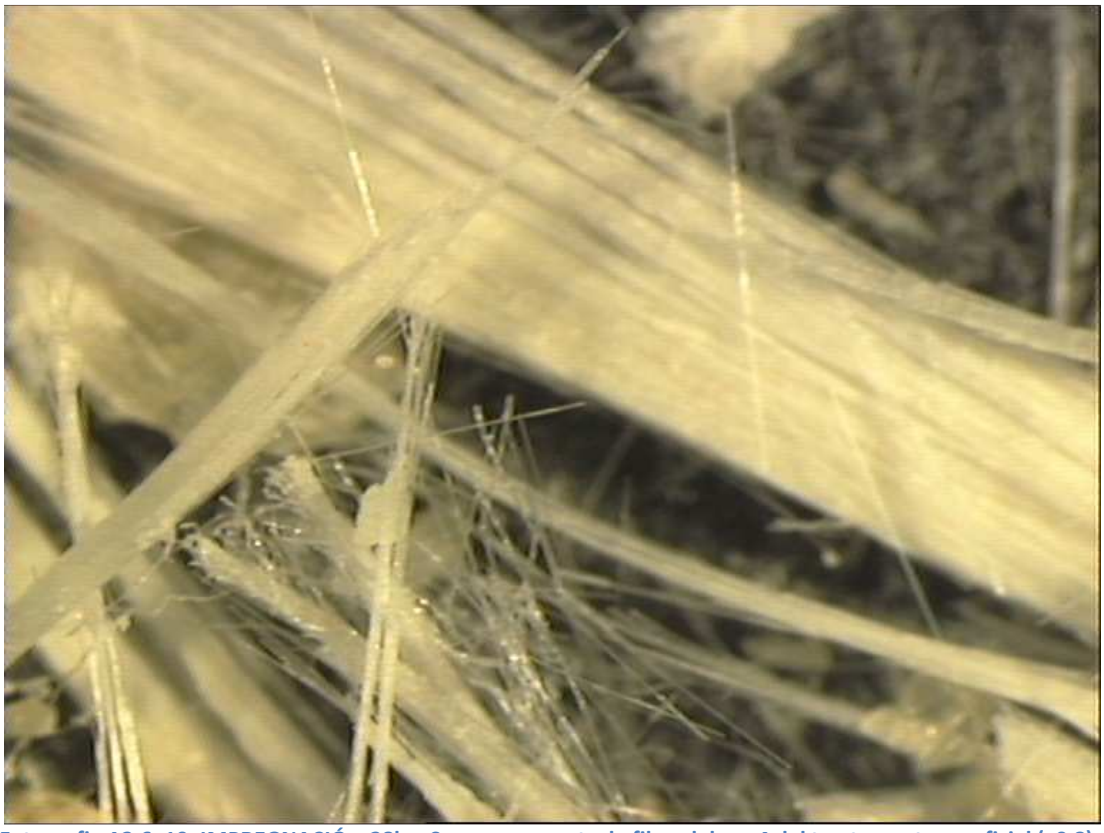
Fotografia A2.6. 7. IMPREGNACIÓ – 28h – N, corresponent a la fibra del cas 3 del tractament superficial (x0,8).



Fotografia A2.6. 8. IMPREGNACIÓ – 28h – N, corresponent a la fibra del cas 3 del tractament superficial (x4).

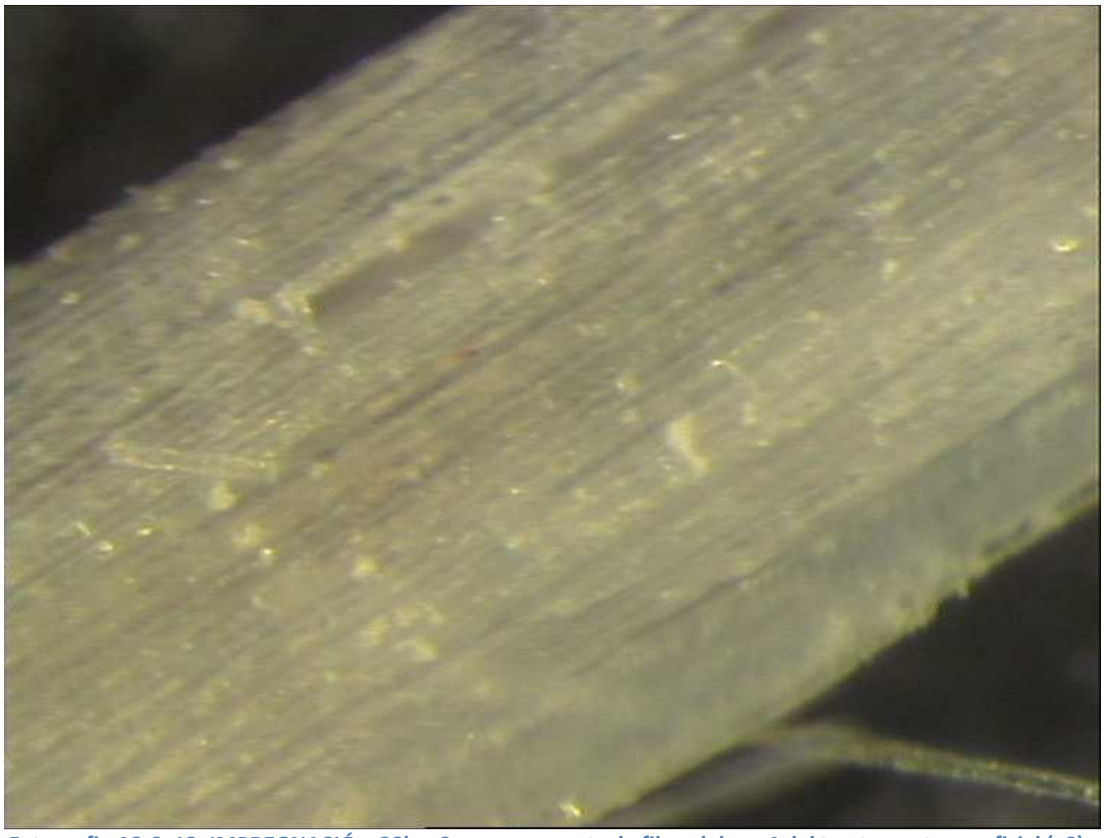


Fotografia A2.6. 9. IMPREGNACIÓ – 28h – N, corresponent a la fibra del cas 3 del tractament superficial (x8).



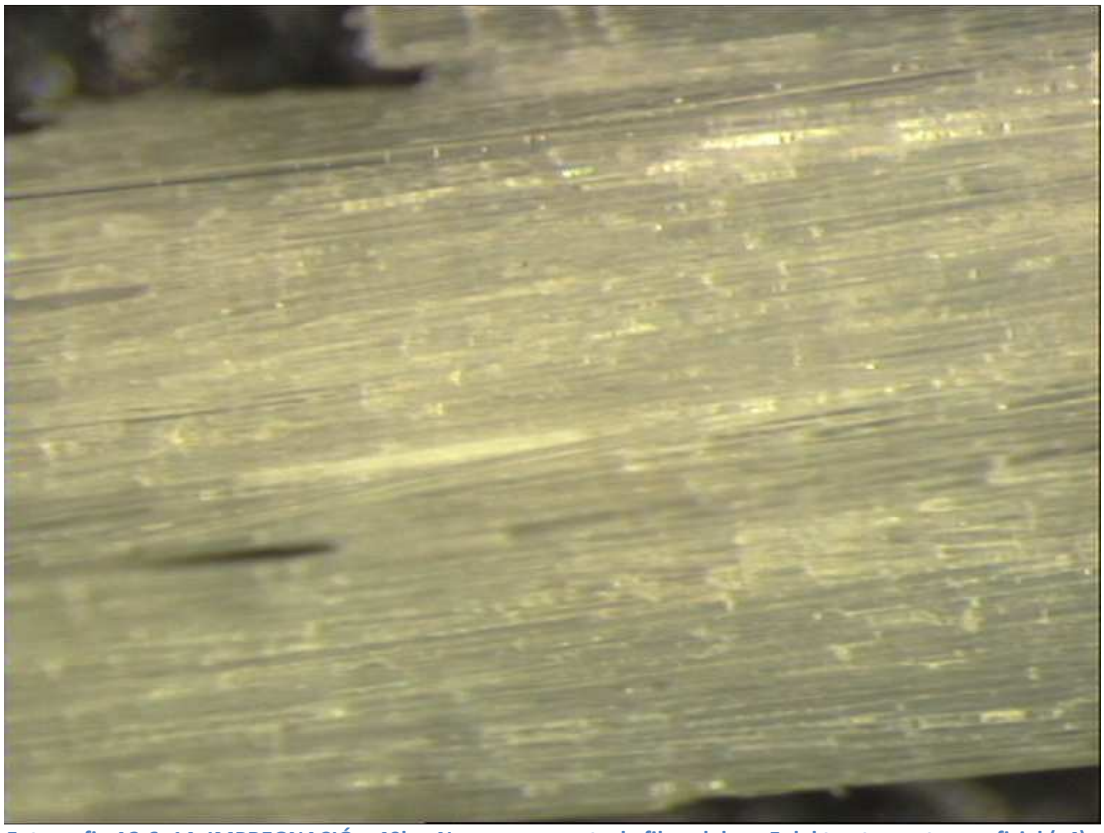
Fotografia A2.6. 10. IMPREGNACIÓ – 28h – S, corresponent a la fibra del cas 4 del tractament superficial (x0,8).

Fotografia A2.6. 11. IMPREGNACIÓ – 28h – S, corresponent a la fibra del cas 4 del tractament superficial (x4).

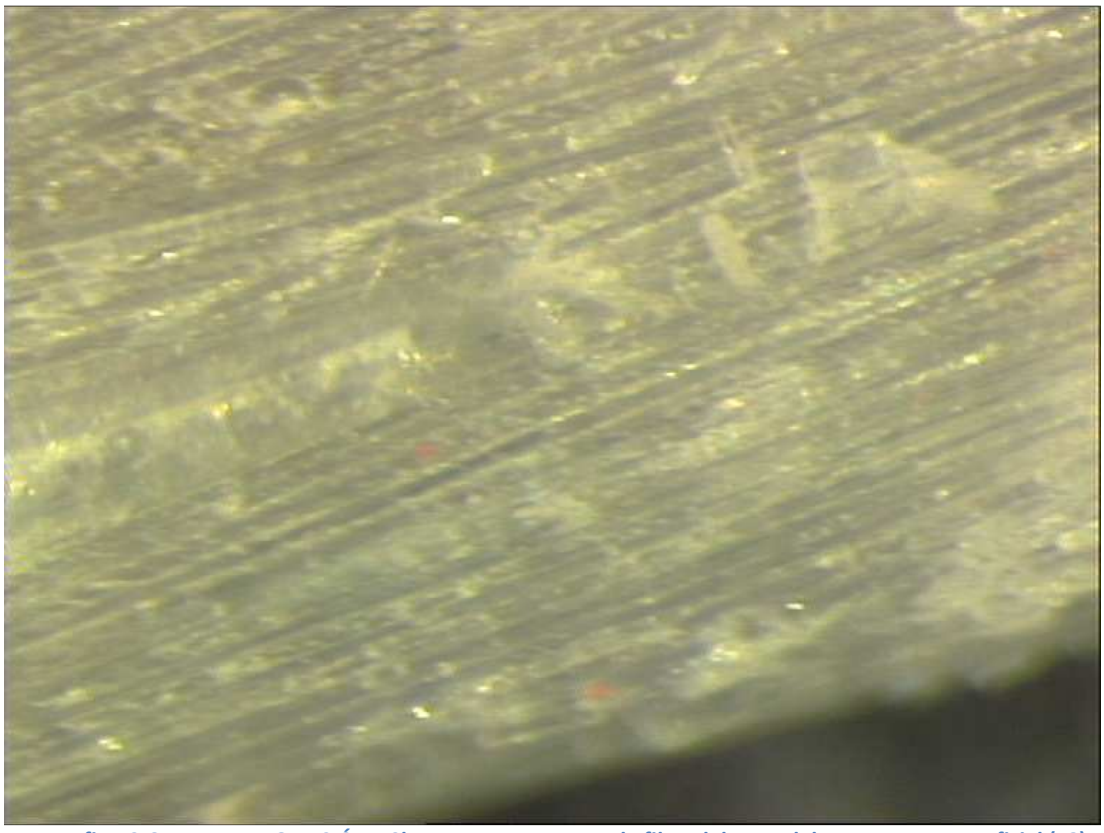


Fotografia A2.6. 12. IMPREGNACIÓ – 28h – S, corresponent a la fibra del cas 4 del tractament superficial (x8).

Fotografia A2.6. 13. IMPREGNACIÓ – 40h – N, corresponent a la fibra del cas 5 del tractament superficial (x0,8).

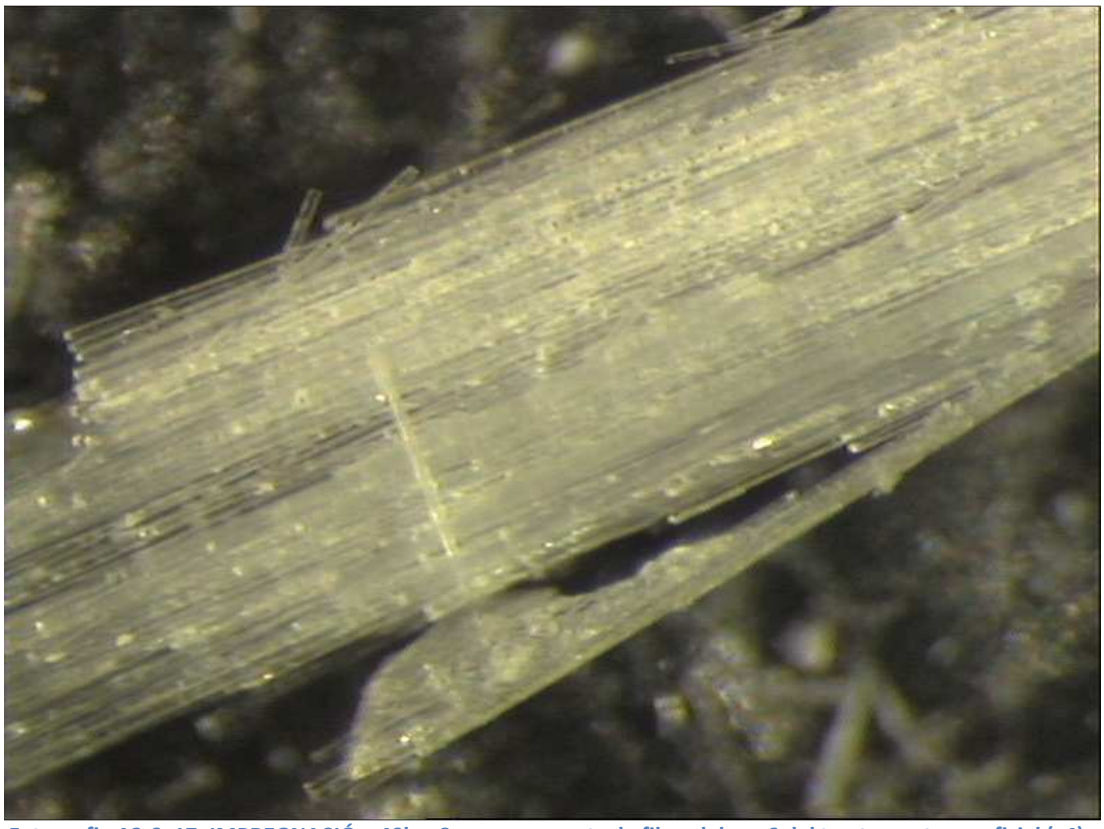


Fotografia A2.6. 14. IMPREGNACIÓ – 40h – N, corresponent a la fibra del cas 5 del tractament superficial (x4).

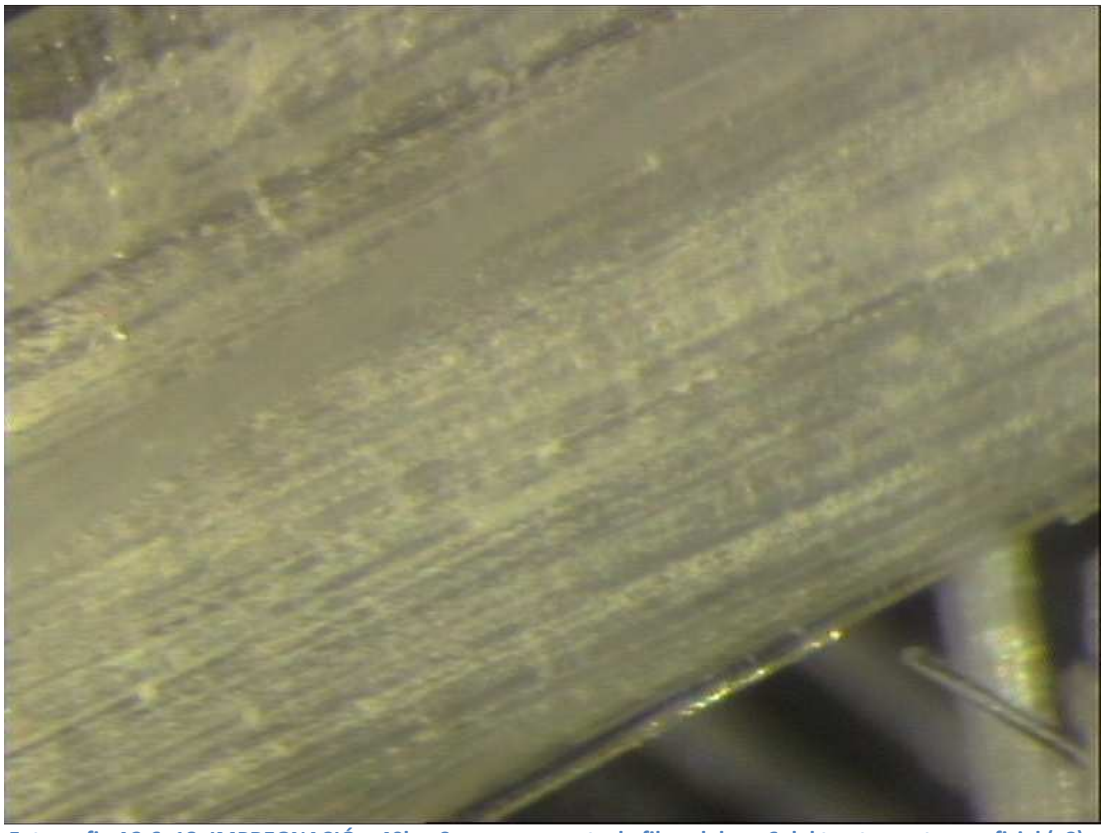


Fotografia A2.6. 15. IMPREGNACIÓ – 40h – N, corresponent a la fibra del cas 5 del tractament superficial (x8).

Fotografia A2.6. 16. IMPREGNACIÓ – 40h – S, corresponent a la fibra del cas 6 del tractament superficial (x0,8).



Fotografia A2.6. 17. IMPREGNACIÓ – 40h – S, corresponent a la fibra del cas 6 del tractament superficial (x4).

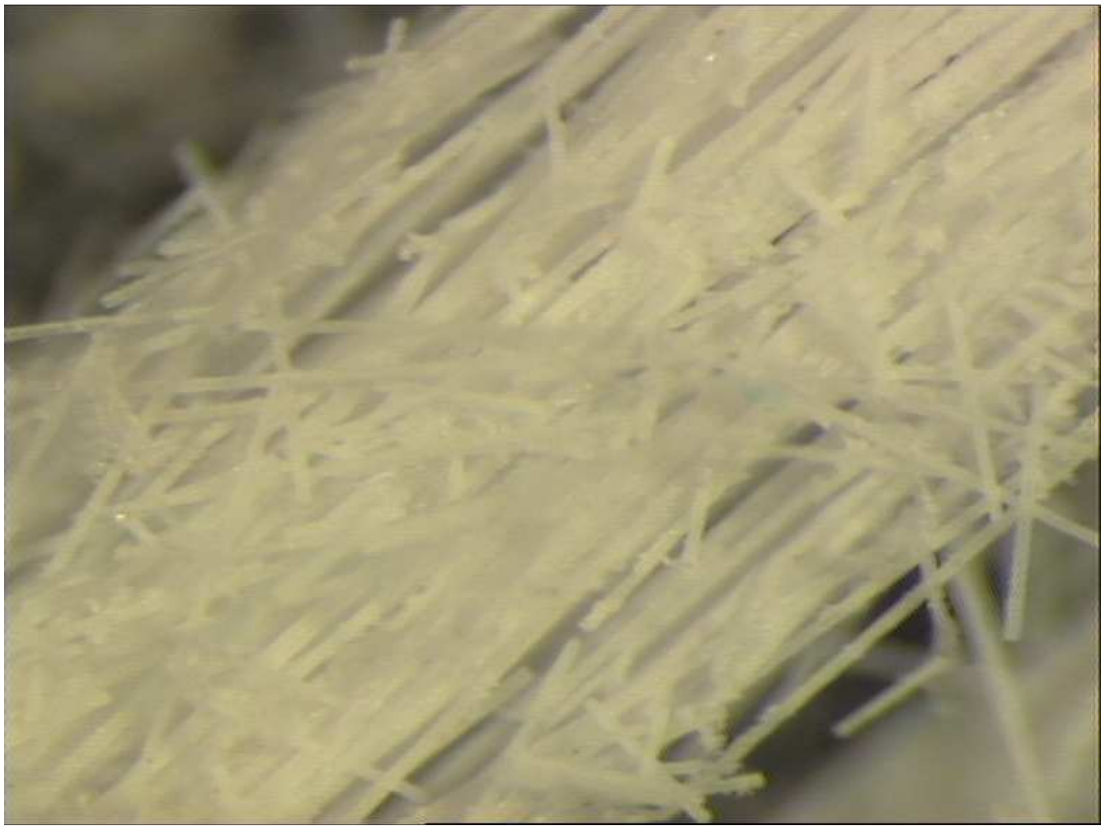


Fotografia A2.6. 18. IMPREGNACIÓ – 40h – S, corresponent a la fibra del cas 6 del tractament superficial (x8).

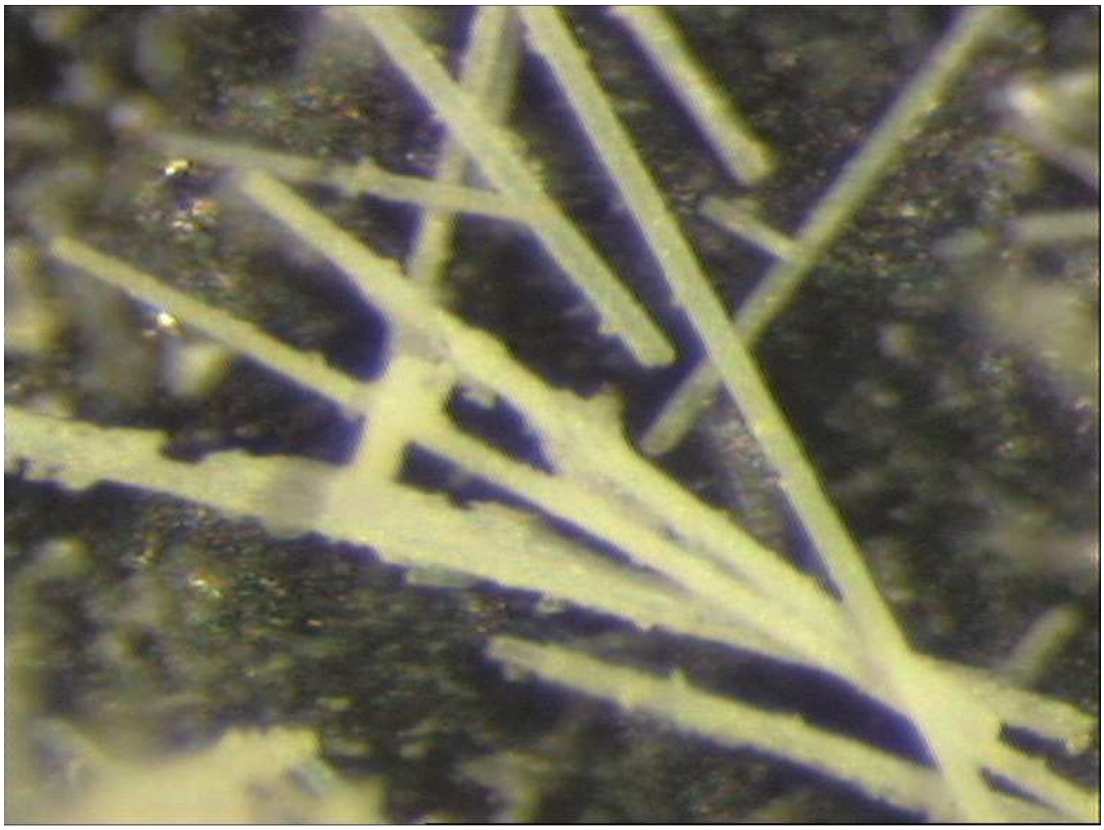
A2.7. Fotografies de la fibra tamisada i atacada

En les fotografies es pot observar l'aspecte deteriorat que presenten les mostres de fibra tamisada després de l'atac alcalí. A banda d'això, la fibra presenta un color blanquinós perquè no s'ha sotmès a la neteja química.

Fotografia A2.7. 1. Fibra tamisada després de l'atac alcalí (x0,8).



Fotografia A2.7. 2. Fibra tamisada després de l'atac alcalí (x4).

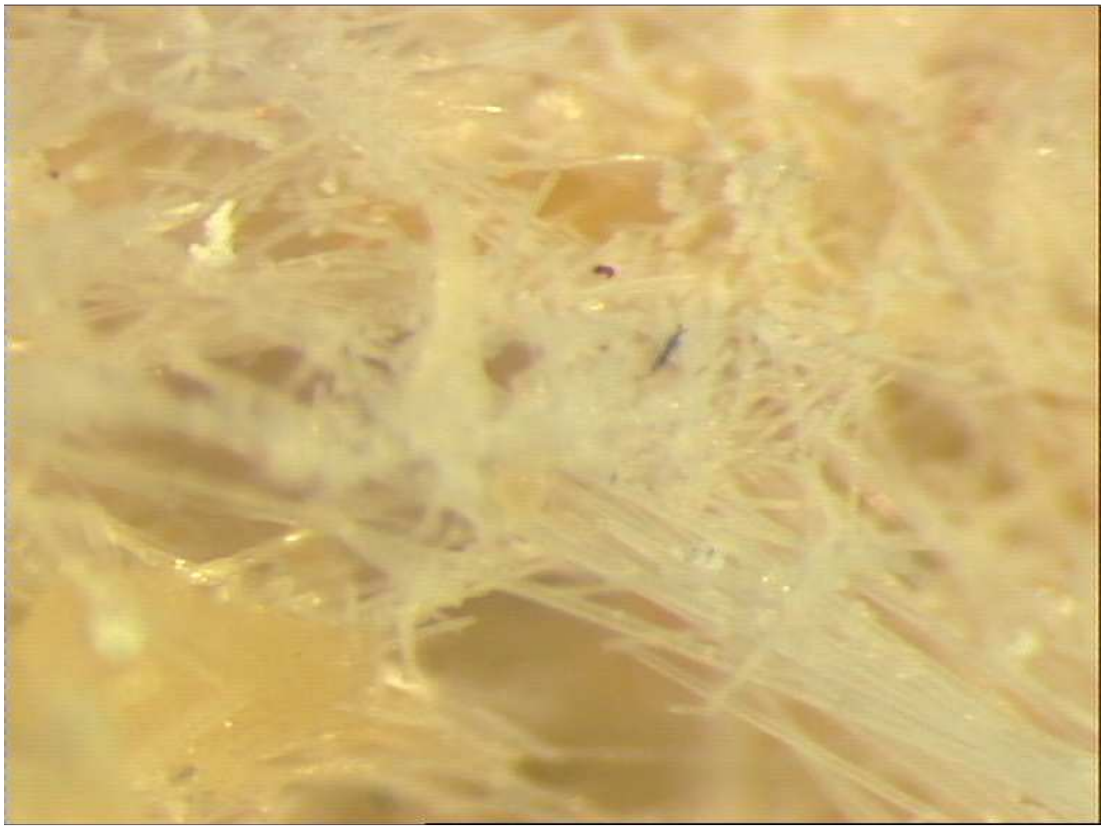


Fotografia A2.7. 3. Fibra tamisada després de l'atac alcalí (x8).

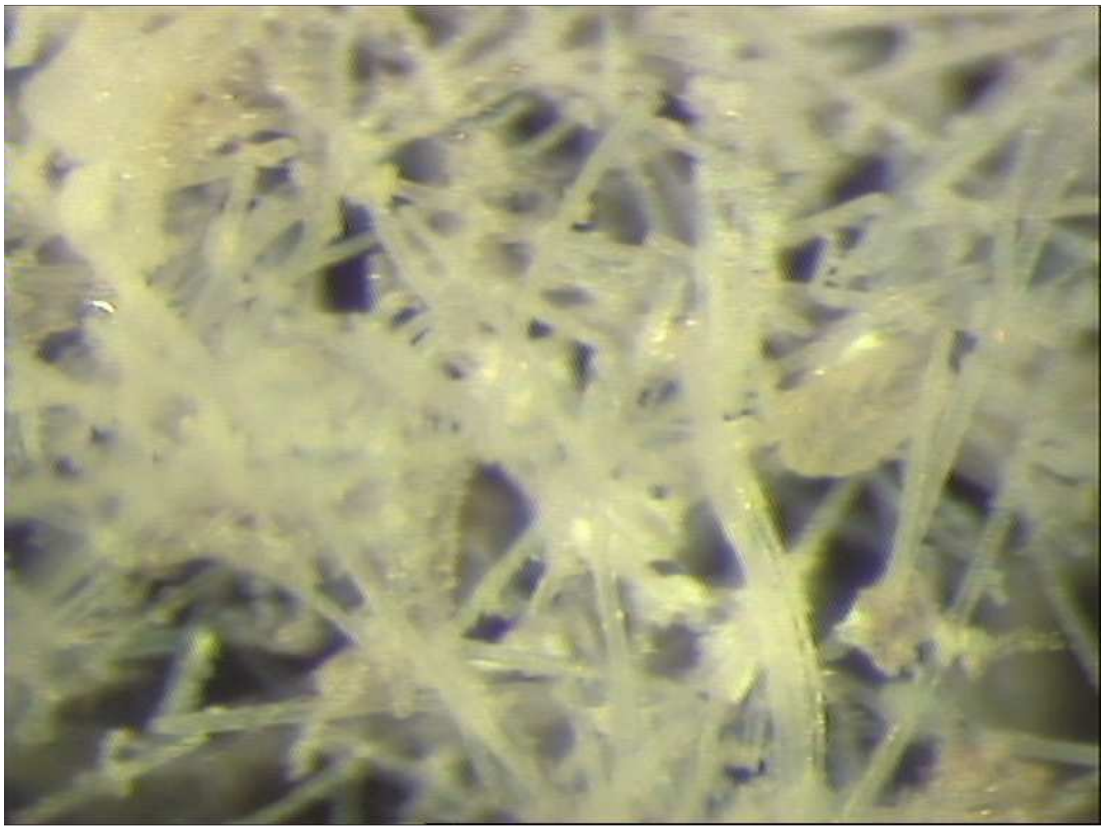
A2.8. Fotografies de la fibra neta i atacada

En el cas de les fibres netes atacades, les mostres presenten una deterioració força important. La coloració groguenca que s'observa en les mostres és causada per la neteja química amb àcid nítric a la que es van sotmetre prèviament.

Fotografia A2.8. 1. Fibra neta després de l'atac alcalí (x0,8).



Fotografia A2.8. 2. Fibra neta després de l'atac alcalí (x4).



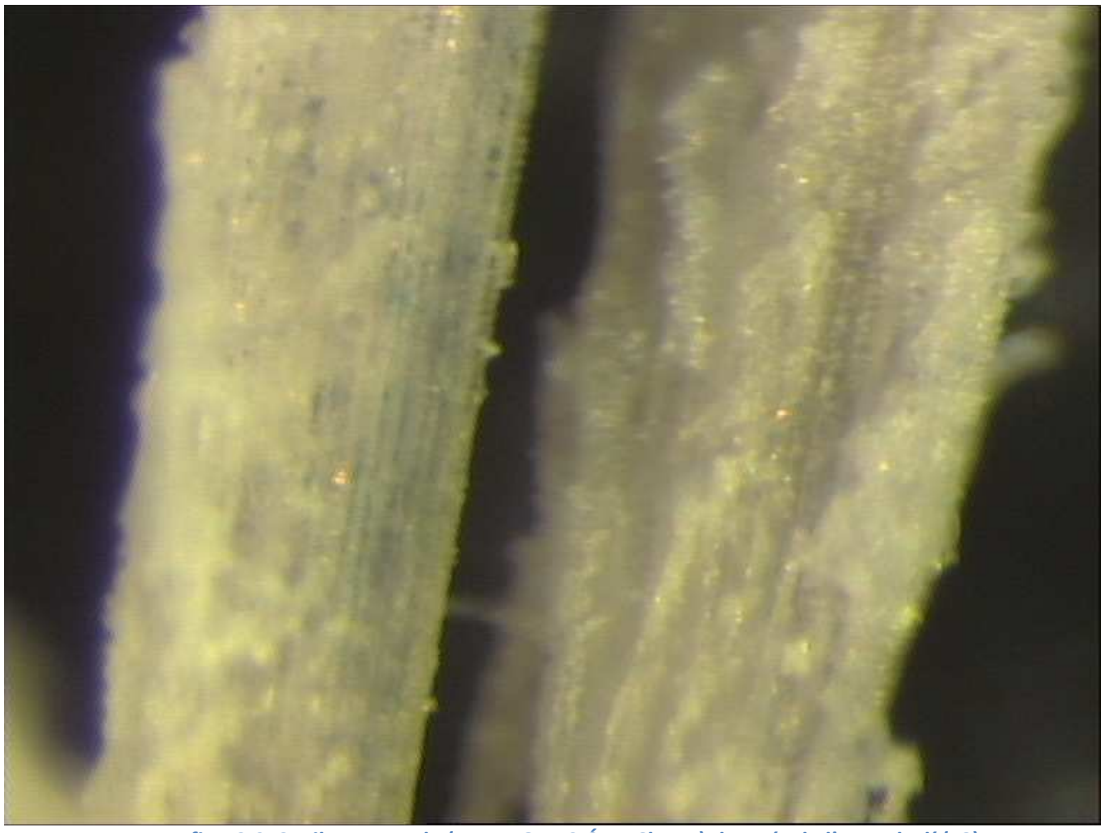
Fotografia A2.8. 3. Fibra neta després de l'atac alcalí (x8).

A2.9. Fotografies de la fibra tractada i atacada

En el cas de les mostres que s'han sotmès a tots els processos del tractament (inclosa la impregnació) es pot veure que l'atac alcalí no ha afectat les fibres. Amb tot, es pot observar que les mostres que s'han sotmès durant més temps a la impregnació per agitació de la Fase 3 del tractament proposat són les que presenten millor aspecte.

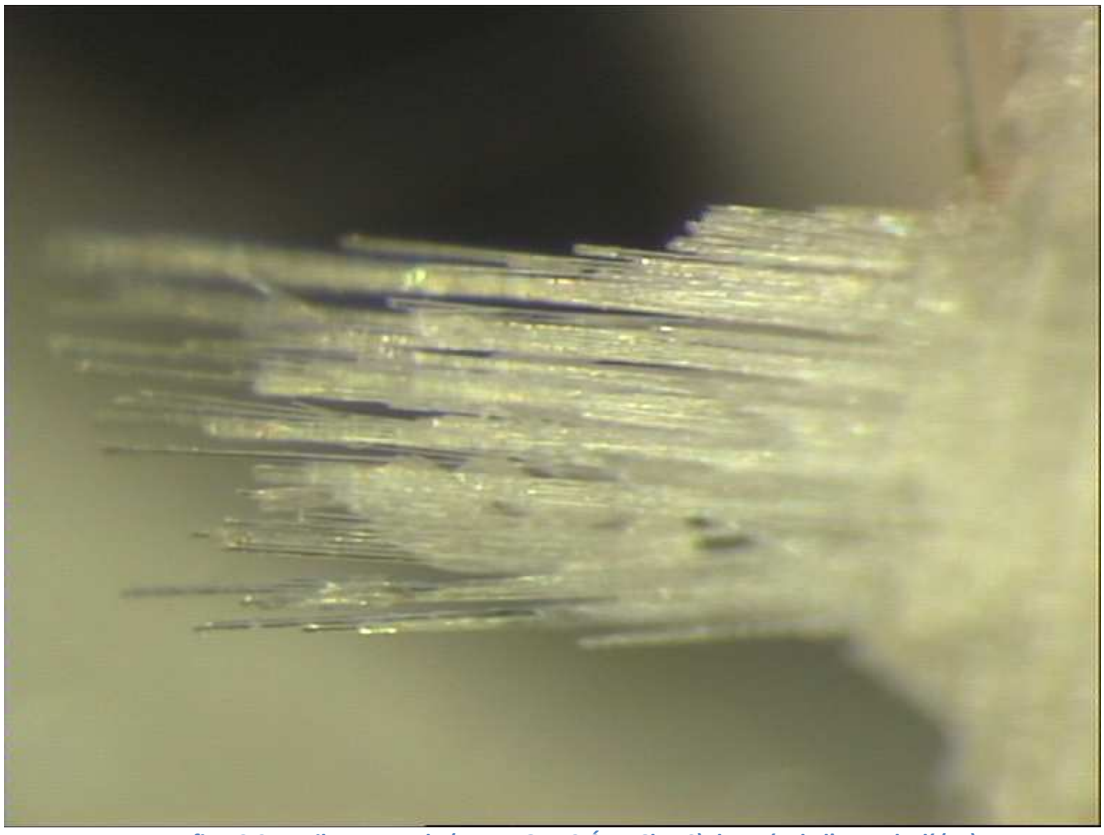
Fotografia A2.9. 1. Fibra tractada (IMPREGNACIÓ – 16h – N) després de l'atac alcalí (x0,8).

Fotografia A2.9. 2. Fibra tractada (IMPREGNACIÓ – 16h – N) després de l'atac alcalí (x4).

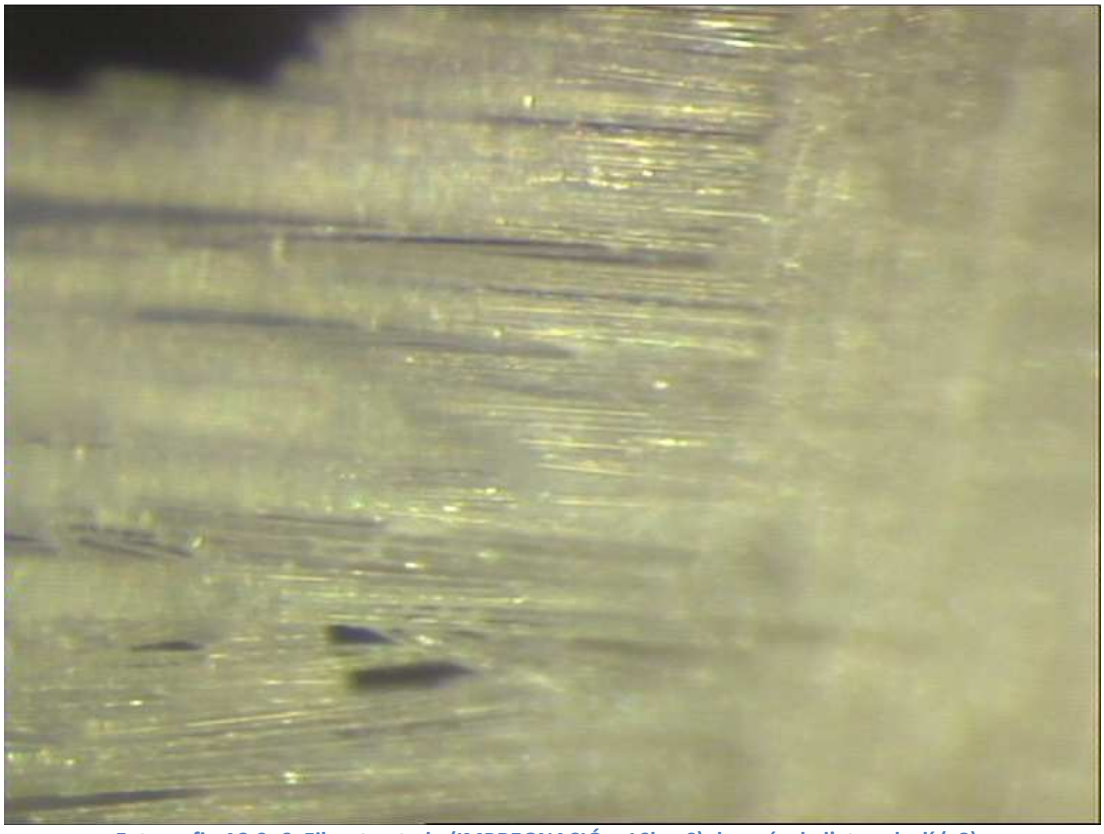


Fotografia A2.9. 3. Fibra tractada (IMPREGNACIÓ – 16h – N) després de l'atac alcalí (x8).

Fotografia A2.9. 4. Fibra tractada (IMPREGNACIÓ – 16h – S) després de l'atac alcalí (x0,8).

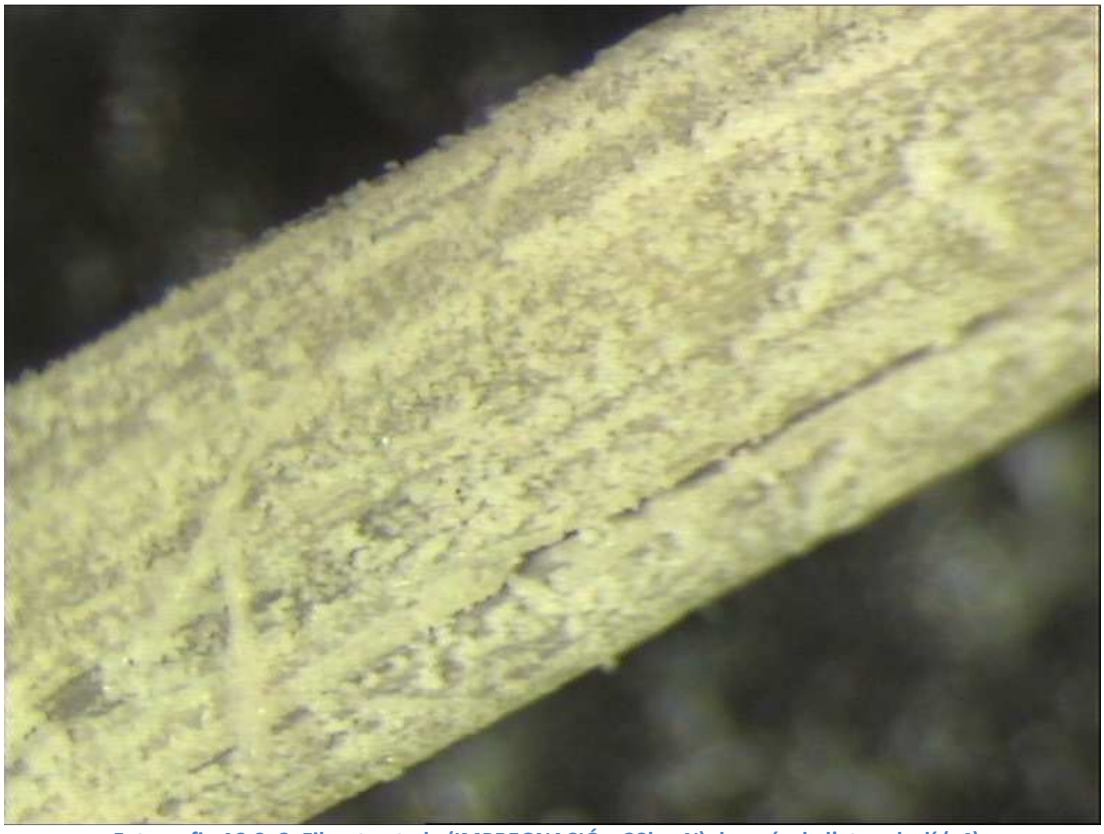


Fotografia A2.9. 5. Fibra tractada (IMPREGNACIÓ – 16h – S) després de l'atac alcalí (x4).

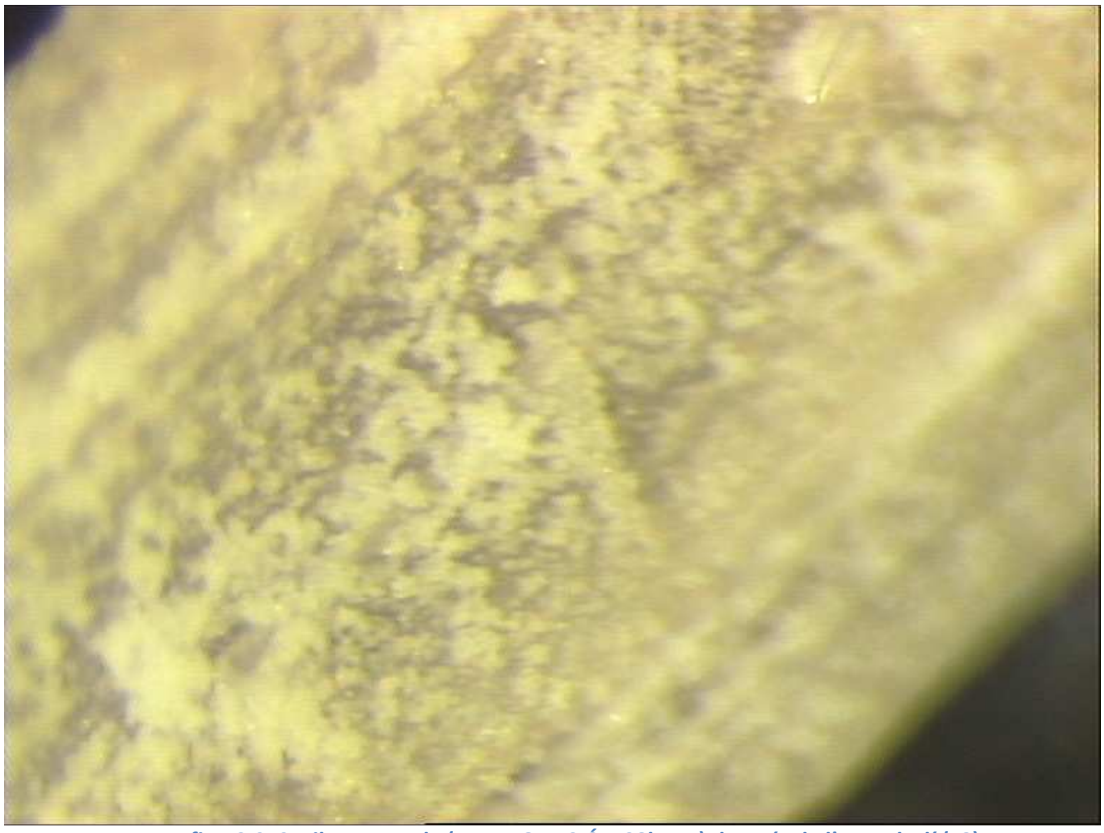


Fotografia A2.9. 6. Fibra tractada (IMPREGNACIÓ – 16h – S) després de l'atac alcalí (x8).

Fotografia A2.9. 7. Fibra tractada (IMPREGNACIÓ – 28h – N) després de l'atac alcalí (x0,8).

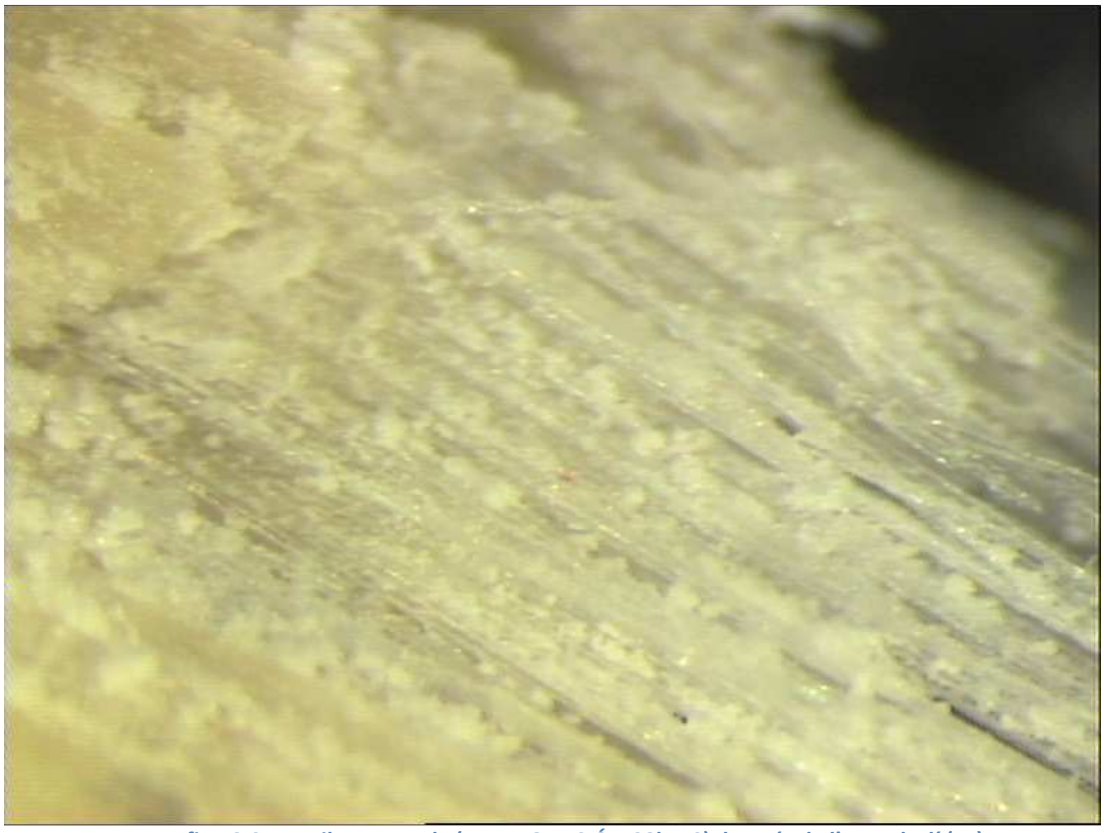


Fotografia A2.9. 8. Fibra tractada (IMPREGNACIÓ – 28h – N) després de l'atac alcalí (x4).

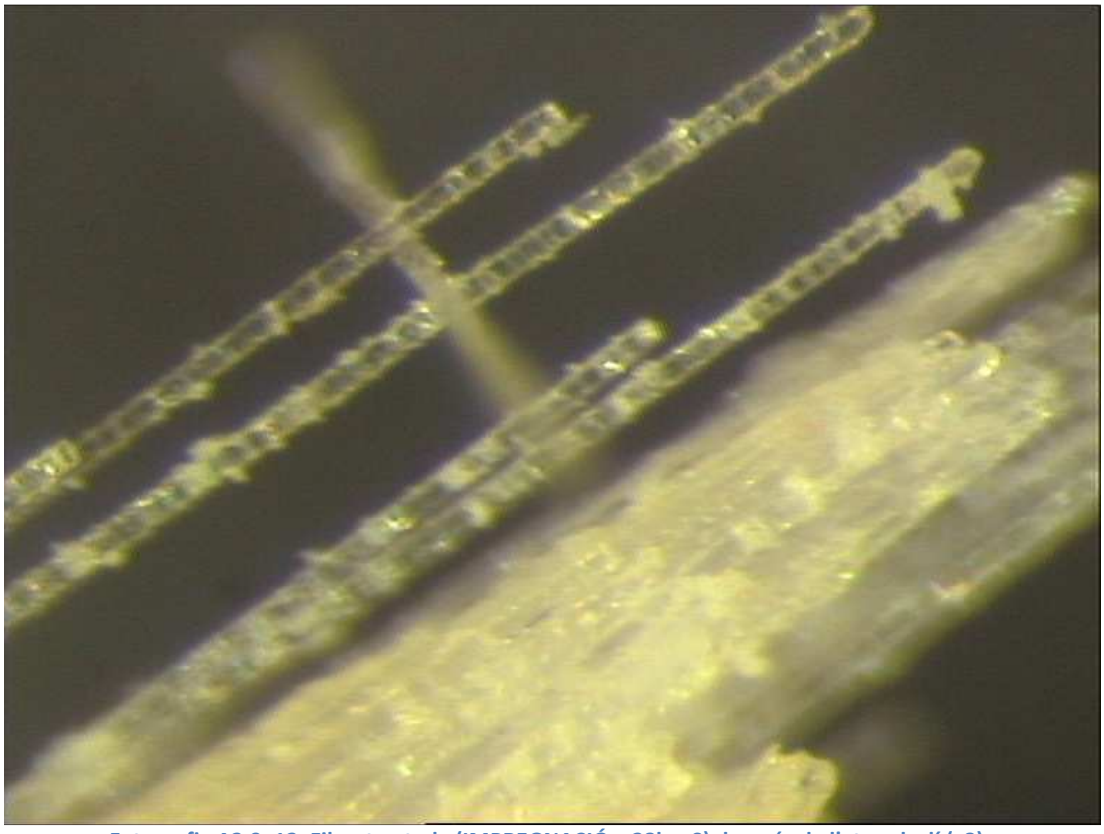


Fotografia A2.9. 9. Fibra tractada (IMPREGNACIÓ – 28h – N) després de l'atac alcalí (x8).

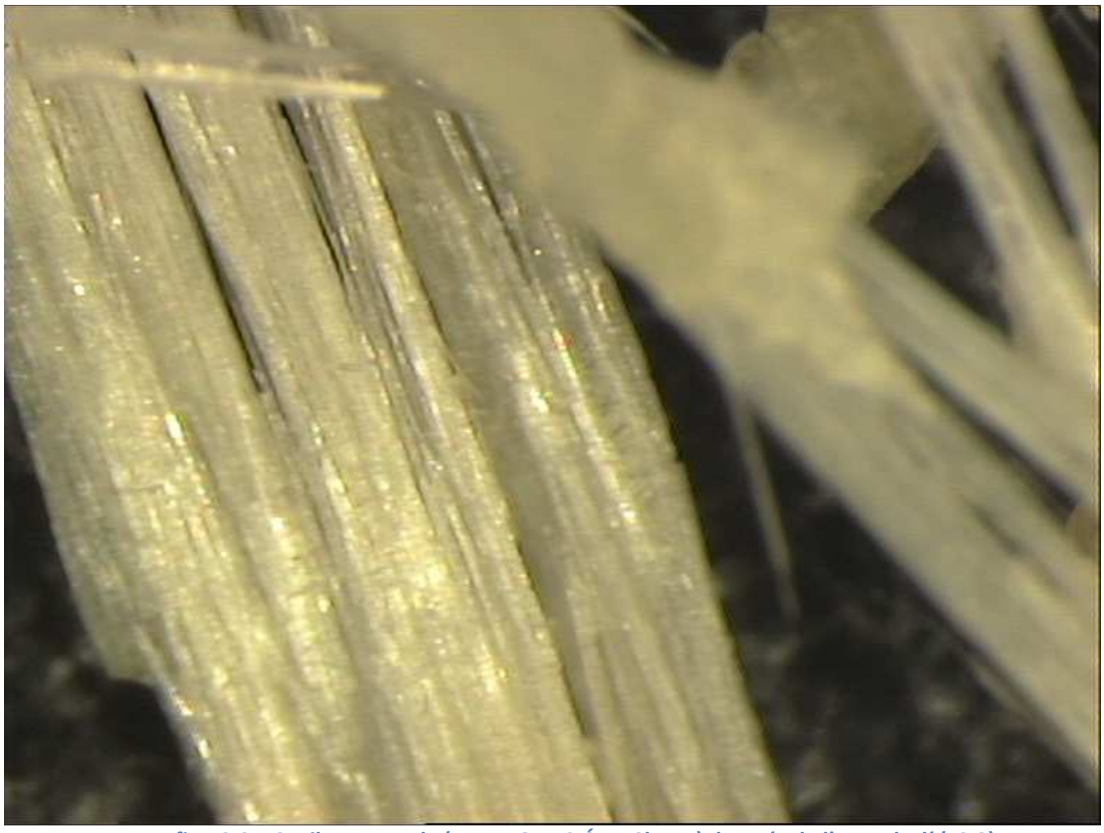
Fotografia A2.9. 10. Fibra tractada (IMPREGNACIÓ – 28h – S) després de l'atac alcalí (x0,8).



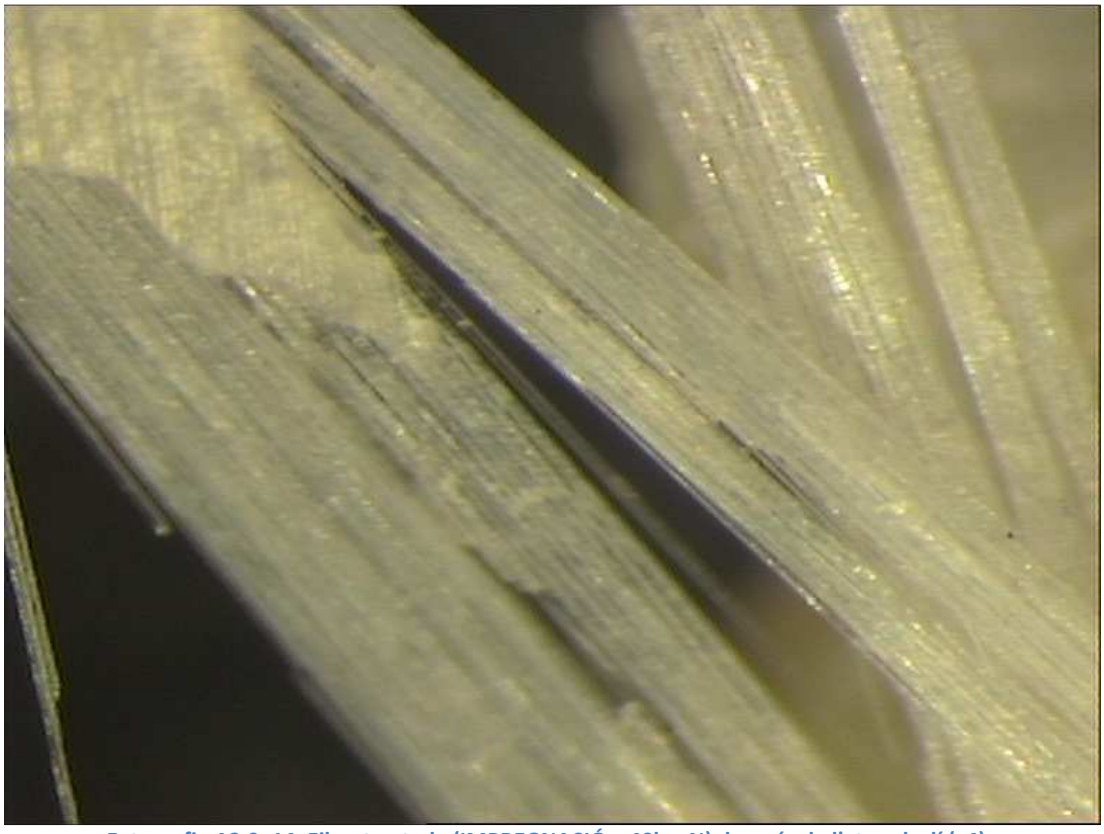
Fotografia A2.9. 11. Fibra tractada (IMPREGNACIÓ – 28h – S) després de l'atac alcalí (x4).



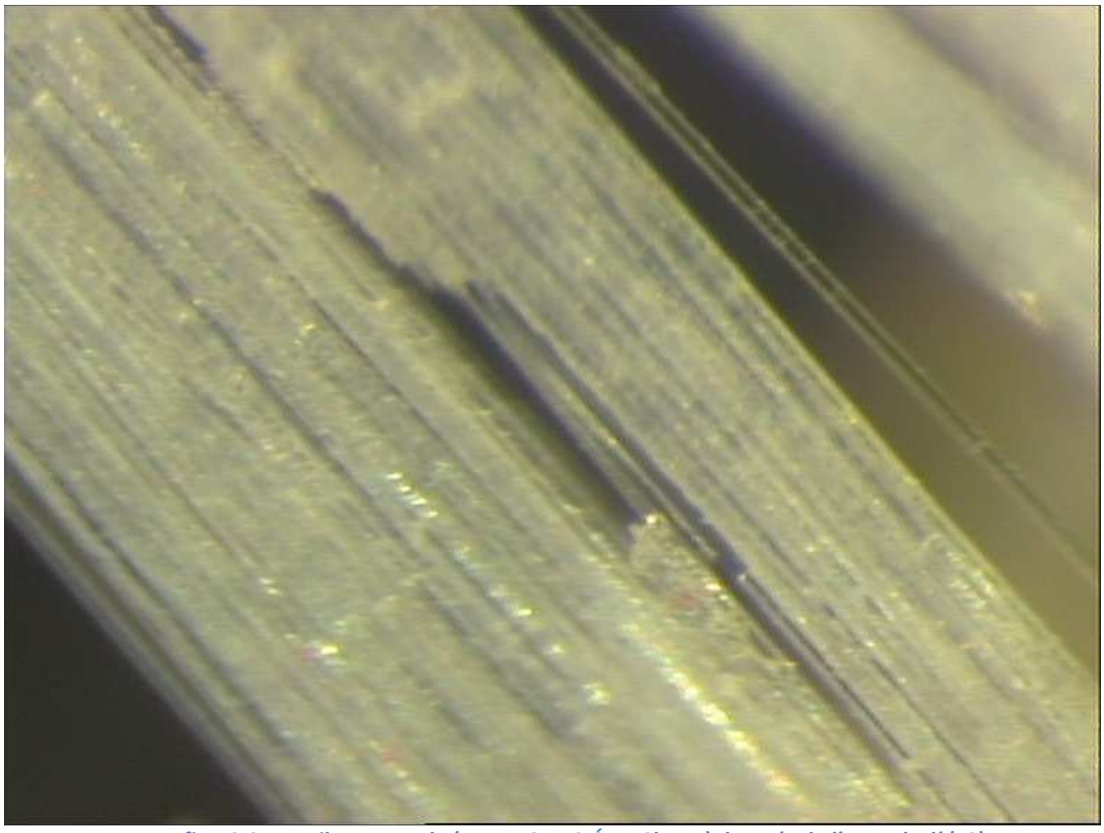
Fotografia A2.9. 12. Fibra tractada (IMPREGNACIÓ – 28h – S) després de l'atac alcalí (x8).



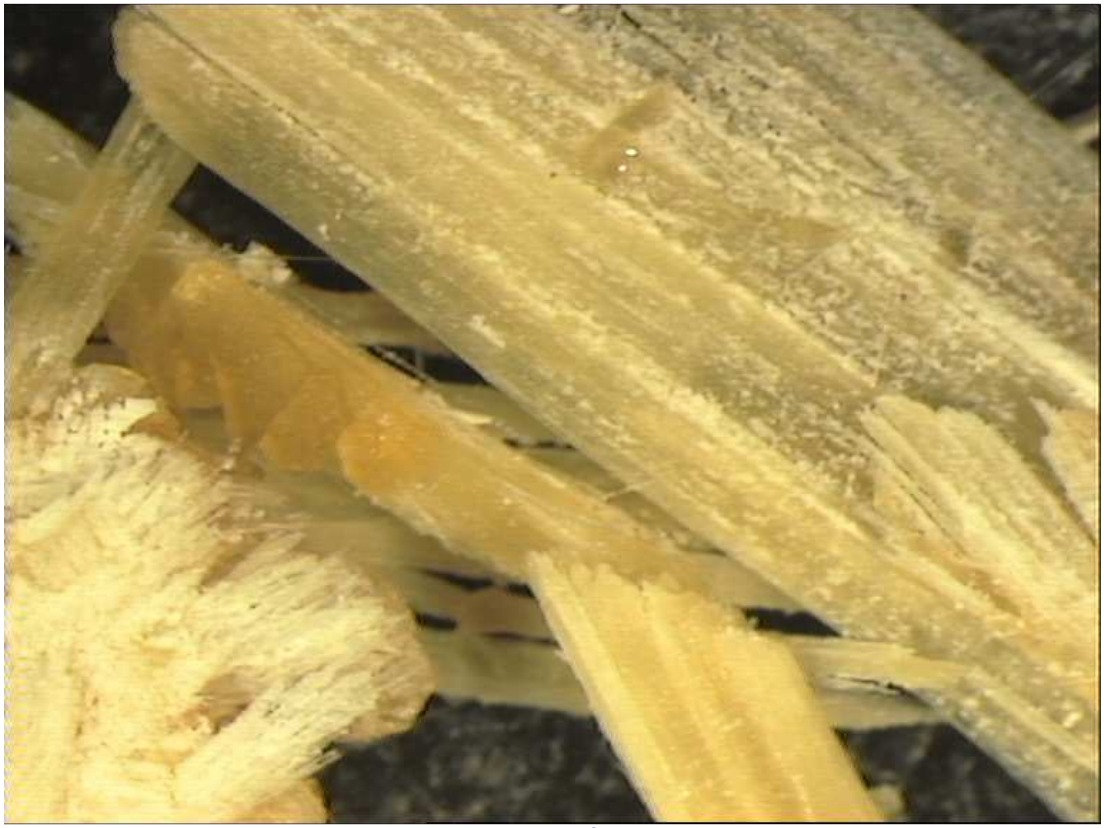
Fotografia A2.9. 13. Fibra tractada (IMPREGNACIÓ – 40h – N) després de l'atac alcalí (x0,8).



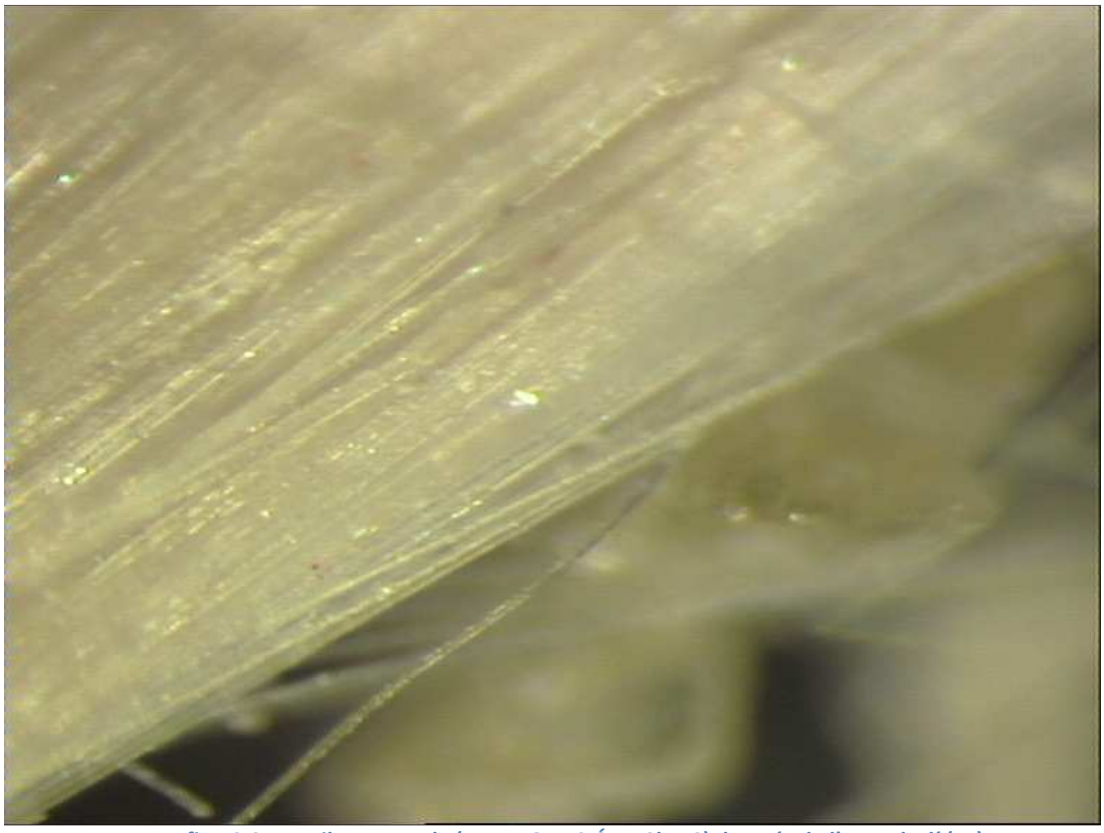
Fotografia A2.9. 14. Fibra tractada (IMPREGNACIÓ – 40h – N) després de l'atac alcalí (x4).



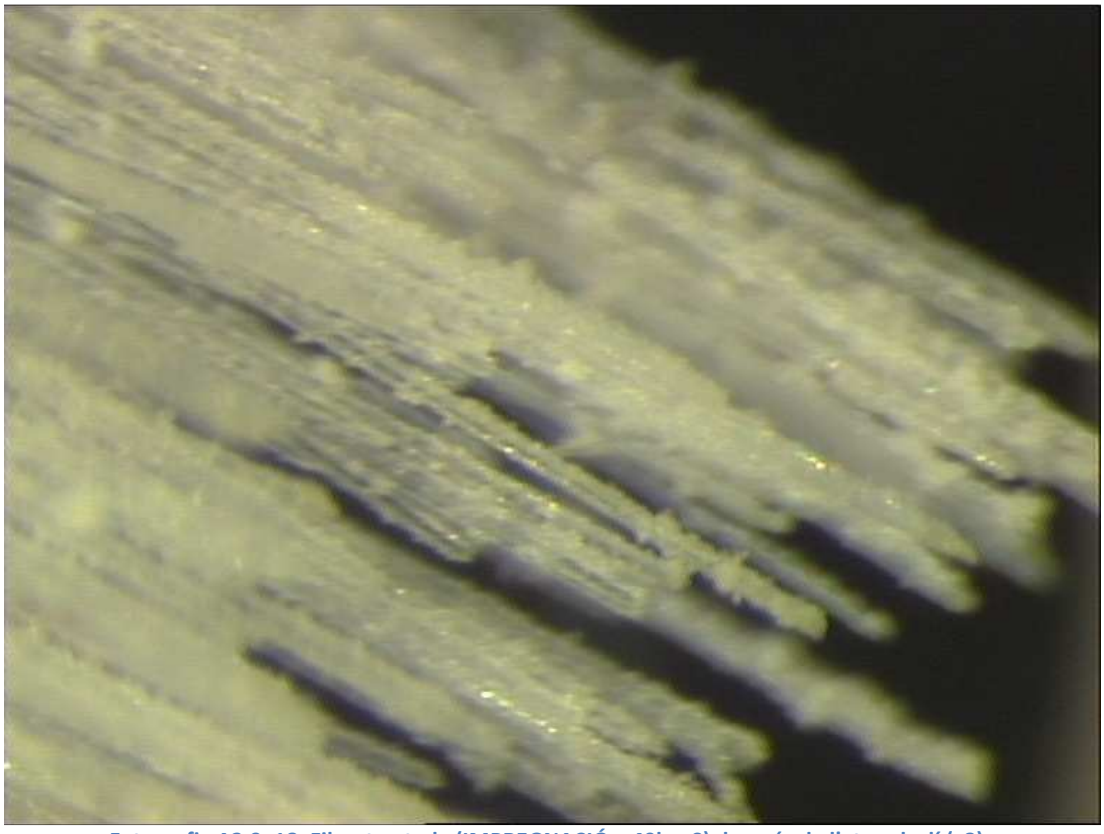
Fotografia A2.9. 15. Fibra tractada (IMPREGNACIÓ – 40h – N) després de l'atac alcalí (x8).



Fotografia A2.9. 16. Fibra tractada (IMPREGNACIÓ – 40h – S) després de l'atac alcalí (x0,8).



Fotografia A2.9. 17. Fibra tractada (IMPREGNACIÓ – 40h – S) després de l'atac alcalí (x4).



Fotografia A2.9. 18. Fibra tractada (IMPREGNACIÓ – 40h – S) després de l'atac alcalí (x8).