



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Superior d'Enginyeries Industrial,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa

Estudi del grau de reciclatge d'uniformes elaborats amb cotó i polièster

Document:

Memòria

Autora:

Anna Monturiol Grau

Director:

Francesc Cano

Titulació:

Grau en Enginyeria de Tecnologia i Disseny Tèxtil

Convocatòria:

Tardor, 2022

TREBALL DE FI D' ESTUDIS

Agraïments

Primerament, m'agradaria agrair al meu tutor Dr. Francesc Cano qui m'ha guiat i ajudat durant tota l'elaboració del present estudi.

Voldria agrair també a tot el departament tèxtil de l'ESEIAAT que m'ha recolzat en el transcurs del projecte, especialment a Mercedes Escusa, Francisco Jose Barahona Navarro i Ferran Pares.

Als meus amics, amigues i companyes de pis qui m'han fet companyia i m'han reconfortat.

I per descomptat a la meva família per fer-me costat i ajudar-me.

Moltes gràcies a tots.

Resum

El present estudi planteja una metodologia per avaluar la capacitat i el grau en què es poden reintroduir els residus tèxtils d'uniformes constituïts per cotó i polièster formant-los novament en una estructura compacta de fibres, és a dir, produint nou fil, a màxima semblança al fil provinent del teixit mostra.

Així doncs, primerament s'analitzen les propietats estructurals i mecàniques dels dos teixits mostra, sota les normatives corresponents per tal de determinar la similitud d'aquests i per crear un marc a recrear en la formació del nou fil a partir del residu. Es procedeix a un triturat mecànic dels teixits mostra i seguidament, es realitza la preparació prèvia a la filatura on es netegen i paral·lelitzen les fibres. Partint de la cinta resultant es produeix el fil amb la tipologia de filatura open-end, tenint en compte tots els paràmetres variables de coeficient de torsió i percentatge de matèria reciclada. Posteriorment, es caracteritzen les bobines de fil per determinar quines variables resulten més aptes per a l'aplicació, tot comparant amb els valors del teixit mostra.

En darrer terme, es conclou el projecte amb l'anàlisi dels resultats dels assaigs i les comparatives entre totes les variables i es determina que el fil amb millors resultats de tenacitat i allargament resulta apte per a la circularitat productiva d'aquests uniformes.

Paraules clau: *residus tèxtils, cotó i polièster, triturat mecànic, filatura open-end.*

Abstract

This study proposes a methodology for evaluating the capacity and degree to which textile waste from uniforms made of cotton and polyester can be reintroduced by reforming them into a compact fibre structure, i.e., producing new yarn that closely resembles the yarn from the sample fabric.

Firstly, the structural and mechanical properties of the two fabrics are analyzed under the corresponding regulations to assess their similarity and to create a framework for recreating the new yarn from the waste. Both fabrics are then mechanically shredded and subjected to prior spinning preparation, where the fibres are cleaned and parallelized. From the resulting single sliver, yarn is produced using the open-end spinning method, taking into account all the variable parameters of twist coefficient and percentage of recycled material. Subsequently, the yarn bobbins are characterized to determine which variables are most suitable for the application, by comparing them with the values of the testing fabric.

Finally, the project is concluded with the analysis of the test results and comparisons between all the variables, and it is determined that the yarn with the best strength and elongation results is suitable for the circular production of these uniforms.

Keywords: *textile waste, cotton and polyester, mechanical shredding, open-end spinning.*

Índex de contingut

Agraïments.....	2
Resum	3
Abstract.....	4
Índex de contingut.....	5
Índex de figures.....	8
Índex de taules	11
1. Introducció	12
1.1. Objecte del projecte.....	12
1.2. Abast.....	12
1.3. Especificacions bàsiques	13
1.4. Justificació de l'estudi	14
2. Antecedents i estat de l'art	16
2.1. Fibres tèxtils	16
2.1.1. Cotó.....	16
2.1.2. Polièster	17
2.1.3. Mescles cotó-polièster.....	18
2.2. Residus tèxtils.....	19
2.2.1. Mètodes de reciclat	19
2.2.1.1. Reciclat químic	19
2.2.1.2. Reciclat mecànic	20
3. Procés experimental.....	22
3.1. Materials.....	22
3.1.1. Teixits.....	22
3.1.2. Maquinària.....	22
3.1.2.1. <i>Crimp Tester SHIRLEY</i>	22
3.1.2.2. <i>Aspe</i>	22
3.1.2.3. <i>SDL ATLAS Fabric Sample Cutter</i>	23
3.1.2.4. <i>Espessímetre</i>	23
3.1.2.5. <i>Torsiòmetre</i>	24
3.1.2.6. <i>Dinamòmetre</i>	24
3.1.2.7. <i>Microscopi òptic</i>	25
3.1.2.8. <i>Diable</i>	26
3.1.2.9. <i>Carda</i>	27

3.1.2.10.	Manuar	27
3.1.2.11.	Open End	29
3.1.3.	Reactius	31
3.2.	Processos	31
3.2.1.	Caracterització del teixit i el fil (residu)	31
3.2.1.1.	Numeració del fil.....	31
3.2.1.2.	Lligament.....	32
3.2.1.3.	Gruix	32
3.2.1.4.	Densitat de fils.....	33
3.2.1.5.	Composició.....	33
3.2.1.5.1.	Anàlisi identificativa de la composició	33
3.2.1.5.2.	Composició percentual de cada fibra	34
3.2.1.6.	Massa laminar	37
3.2.1.7.	Tipus de filatura.....	37
3.2.1.8.	Torsió.....	38
3.2.1.9.	Resistència a la tracció	39
3.2.2.	Triturat dels teixits	40
3.2.3.	Preparació de les cintes	42
3.2.3.1.	Cardat.....	42
3.2.3.2.	Pas de manual	43
3.2.4.	Filatura Open-End	46
3.2.5.	Caracterització fil resultant	49
3.2.5.1.	Numeració del fil.....	49
3.2.5.2.	Resistència a la tracció	50
4.	Resultats i anàlisi.....	51
4.1.	Caracterització del teixit i fil (residu)	51
4.1.1.	Propietats de tracció.....	53
4.2.	Obtenció del fil	56
4.2.1.	Triturat.....	56
4.2.2.	Carda	57
4.2.3.	Manuar.....	57
4.3.	Caracterització del fil resultant	58
4.3.1.	Numeració del fil.....	58
4.3.2.	Propietats de tracció fil resultant.....	58
4.3.2.1.	En funció del % de matèria reciclada	58
4.3.2.1.1.	Comparativa entre percentatges.....	64
4.3.2.2.	En funció del coeficient mètric de torsió	66
4.4.	Comparativa entre el fil inicial i el fil resultant	67
5.	Desenvolupament sostenible	71

6. Conclusions	73
7. Pressupost	74
8. Futur treball	75
Bibliografia.....	76

Índex de figures

Figura 1. Secció transversal (esquerra) i vista longitudinal (dreta) de la fibra del cotó. Extret de: [28]	17
Figura 2. Filatura per fusió. Extret de: [27].....	18
Figura 3. Shirley Crimp Tester	22
Figura 4. Aspe	23
Figura 5. Fabric sample cutter. SDL ATLAS.....	23
Figura 6. Espessímetre analògic.....	24
Figura 7. Torsiòmetre electrònic. ZWEIGLE KG REUTLINGEN	24
Figura 8. Dinamòmetre STATIMAT ME. Textechno	25
Figura 9. Microscopi òptic. JENAVAL	26
Figura 10. Diabla. Gingdao Kingtech Machinery co. Ltd.	26
Figura 11. Cilindres del diable amb les corresponents direccions de gir	27
Figura 12. Minicarda. Platts.....	27
Figura 13. Minimanuar. Platts.	28
Figura 14. Tren d'estiratge del minimanuar del taller de filatura de la ESEIAAT	29
Figura 15. Open-end Spintester Schlafhorst	29
Figura 16. Diagrama visual del procés de filatura per rotor. Extret de: [19].....	30
Figura 17. Pictogrames de l'amoníac. GHS05, GHS07, GHS09.	31
Figura 18. Pictograma de l'àcid sulfúric. GHS05.	31
Figura 19. Balança de torsió. SUMPROS.....	32
Figura 20. Exemple del tall de les provetes d'una mostra de laboratori. Extret de: [6] 33	
Figura 21. Mostres de teixit al forn.....	35
Figura 22. Bany d'aigua a 50 °C ± 5 °C dels matrassos cònics.....	36
Figura 23. Rentat de les mostres aplicant el buit.....	36
Figura 24. Representació del fil resultant en la filatura a rotor (esquerra) i en la contínua d'anells (dreta). Extret de: [26]	38

Figura 25. Resultats del tipus de filatura. Teixit blau cel (esquerra) i blau marí (dreta) 38	
Figura 26. Col·locació de les tires de teixit en l'obridora	41
Figura 27. Fibra resultant del triturat dels teixits.....	41
Figura 28. Minicarda processant la fibra de CO/PES verge.....	43
Figura 29. Primer pas de manual. Ecartaments i velocitats dels cilindres	44
Figura 30. Segon pas de manual. Ecartaments i velocitats dels cilindres.....	45
Figura 31. Tercer pas de manual. Ecartaments i velocitats dels cilindres.....	45
Figura 32. Engranatges usats en el manual, ordenats respectivament per a cada pas	46
Figura 33. Òrgans de filatura utilitzats. De esquerra a dreta: boqueta, rotor, disgregador, torque stop.....	47
Figura 34. Madeixes de fil recollides en l'aspe	50
Figura 35. Fitxa tècnica (teixits residu)	51
Figura 36. Composició dels fils d'ordit (esquerra) i de trama (dreta) dels teixits blau marí (superiors) i blau cel (inferiors).....	52
Figura 37. Diagrama Força/Allargament. Teixit BC ordit.....	55
Figura 38. Diagrama Força/Allargament. Teixit BC trama	55
Figura 39. Diagrama Força/Allargament. Teixit BM ordit	55
Figura 40. Diagrama Força/Allargament. Teixit BM trama	55
Figura 41. Gràfic comparatiu dels valors d'allargament	56
Figura 42. Tenacitat/coeficient de torsió del fil amb matèria verge	59
Figura 43. Allargament/coeficient de torsió del fil amb matèria verge	59
Figura 44. Corba torsió-resistència [26].....	60
Figura 45. Tenacitat/coeficient de torsió del fil amb 5% matèria reciclada	61
Figura 46. Allargament/coeficient de torsió del fil amb 5% matèria reciclada.....	61
Figura 47. Tenacitat/coeficient de torsió del fil amb 10% matèria reciclada	62
Figura 48. Resistència/coeficient de torsió del fil amb 10% matèria reciclada	62
Figura 49. Allargament/coeficient de torsió del fil amb 10% matèria reciclada.....	63

Figura 50. Tenacitat/coeficient de torsió del fil amb 20% matèria reciclada	63
Figura 51. Allargament/coeficient de torsió del fil amb 20% matèria reciclada.....	64
Figura 52. Tenacitat/coeficient de torsió del fil en funció del percentatge de matèria reciclada.....	65
Figura 53. Allargament/coeficient de torsió del fil en funció del percentatge de matèria reciclada.....	66
Figura 54. Tenacitat/% de residu en el fil en funció del percentatge del coeficient de torsió	67
Figura 55. Allargament/% de residu en el fil en funció del percentatge del coeficient de torsió	67
Figura 56. Comparativa tenacitat/torsió	68
Figura 57. Comparativa allargament/torsió.....	69
Figura 58. Objectius del Desenvolupament Sostenible. [33].....	71

Índex de taules

Taula 1. Equació per determinar el percentatge de fibra de polièster	37
Taula 2. Condicions de l'assaig de tracció.....	39
Taula 3. Gramatge total de les cintes a reciclar	40
Taula 4. Velocitats de l'obridora	40
Taula 5. Diversificació del gramatge de la carda en funció del % de matèria reciclada	42
Taula 6. Equacions per a l'obtenció de l'estiratge	44
Taula 7. Òrgans recomanats i aplicats en la filatura	47
Taula 8. Coeficients de torsió recomanats i utilitzats en la filatura	47
Taula 9. Paràmetres i valors consigna en la filatura.....	48
Taula 10. Equacions per al càlcul de paràmetres de la open-end.....	48
Taula 11. Paràmetres de la open-end	49
Taula 12. Resultats de l'assaig quantitatiu de la composició	52
Taula 13. Propietats de tracció i estadística. Teixit BC ordit	53
Taula 14. Propietats de tracció i estadística. Teixit BC trama	53
Taula 15. Propietats de tracció i estadística. Teixit BM ordit.....	54
Taula 16. Propietats de tracció i estadística. Teixit BM trama	54
Taula 17. Valors de les propietats mecàniques mitjanes (CO/PES) i obtingudes en l'assaig.....	55
Taula 18. Pèrdua de massa en el procés de triturat.....	57
Taula 19. Pèrdua de massa en el procés de cardat.....	57
Taula 20. Títols dels fils resultants.....	58
Taula 21. Paràmetres de l'assaig de tracció del fil inicial i resultant	68
Taula 22. Valors de les propietats mecàniques mitjanes de la mescla CO/PES.....	69
Taula 23. Pressupost general del projecte	74

1. Introducció

1.1. Objecte del projecte

El motiu de la realització d'aquest estudi és donar resposta a la reciclabilitat de dos teixits de calada provinents de l'ús com a pantaló d'un uniforme de treball. Ens referim a reciclabilitat com a la capacitat de mantenir els paràmetres tècnics en produir el nou fil a partir del residu tèxtil, addicionant la menor quantitat possible de fibres no reciclades, és a dir, trobant un punt mig entre aquests dos aspectes aparentment oposats.

El pantaló en qüestió consta de dos teixits amb una composició de polièster i cotó en una proporció de 65/35%, una de les mescles més usades en el món tèxtil. Quan s'utilitza en mescla íntima, un dels principals problemes d'aquesta mescla és el seu reciclatge ja que no és un monomaterial, s'ha d'analitzar minuciosament quin percentatge de residu es pot reintroduir sense que es vegin compromeses les propietats del fil resultant.

A partir dels estudis dels paràmetres estructurals i mecànics previs, en transcurs i posteriors a tot el procés, es vol determinar la millor opció per fer d'aquest nou fil un producte reintroduïble a la cadena de valor productiva, a semblança del fil relatiu al teixit mostra.

1.2. Abast

El projecte descrit en aquest document inclourà els següents paquets de treball necessaris per dur-lo a terme, descrits a continuació:

- **Estudi previ dels paràmetres estructurals del teixit cotó, polièster provinent dels uniformes.**

Es mesuren diferents paràmetres estructurats dels dos teixit, per tal d'observar si es tracta del mateix teixit. Mitjançant diferents assaigs s'obtenen els fils i passades per centímetre, el gramatge en g/m², el gruix en mm, el lligament del conjunt i es comprova visualment i químicament la composició.

- **Estudi previ dels paràmetres estructurals i mecànics dels fils.**

Mitjançant els aparells necessaris es mesuren els paràmetres estructurals del fil; títol, torsió, respectivament per la trama i l'ordit de cada un dels teixits. El paràmetre de la resistència a la tensió també és analitzat en aquest estudi mitjançant dinamòmetres per ordit i trama.

- **Triturat de la matèria.**

Prèviament, es retallen les mostres del teixit a 400x100mm en direcció trama i ordit, per facilitar el procés de trituració i per obtenir una floca de major qualitat. Per la realització d'aquest paquet de treball es necessita una trituradora

disponible en el taller de Tissatge de l'ESEIAAT per tal de desfibrar i tallar el teixit de manera mecànica.

- **Producció de cintes de cotó i polièster reciclat i ambdues fibres en verge.**

La floca resultant del desfibrat s'introdueix a la carda més la fibra verge per tal de mantenir les propietats tècniques, amb la finalitat d'individualitzar i netejar les fibres. A partir del vel de carda obtinguda es realitzen tres passades de manual el qual ens permet estirar i crear una regularitat en la cinta de sortida. En aquest procés s'haurà de fer un seguiment dels g/m i la composició a part d'altres factors primordials.

- **Procés de filatura, a partir de les cintes, mitjançant Open-End.**

Partint de les cintes assolides en el manual, es procedeix a la filatura Open-End la qual ens permet produir fils d'ençà de les cintes. Tot i que el fil inicial està assolit amb filatura convencional, en aquest projecte s'usà el sistema de filatura a rotor, ja que és ideal per a les fibres reciclades. A més, el temps del que es disposa per completar el projecte no abasta la capacitat de dur a terme tot el procés previ a la filatura i la filatura convencional.

- **Caracterització del fil obtingut.**

En aconseguir el fil a partir de matèria reciclada, es realitzen els mateixos assaigs realitzats en el segon paquet de treball per poder procedir a la posterior comparativa.

- **Anàlisis i comparació dels resultats.**

L'obtenció de les propietats dels fils prèviament i posteriorment ens permet analitzar i comparar els resultats i, per tant, observar si l'objectiu del projecte ha estat assolit o per quin motiu no s'ha aconseguit el que es desitja.

Finalment, tot i ser un estudi sobre la reciclabilitat dels uniformes de treball, la matèria primera utilitzada per realitzar-lo no ha estat un uniforme preconsum sinó que directament han estat els teixits, per aquest motiu no es necessita un procés previ de classificació i eliminació d'adornaments.

1.3. Especificacions bàsiques

Per poder assolir l'objectiu proposat en l'apartat 1 es necessita uns requisits bàsics enumerats i descrits breument a continuació:

- **Ambient de treball**

El projecte es durà a terme en la seva majoria en les instal·lacions de l'ESEIAAT de la UPC, incloïen així; el taller de filatura, el taller de tissatge, el laboratori

d'anàlisis de teixits i el laboratori de química tèxtil, equipats amb la maquinària i les eines necessàries per executar cada una de les operacions que aquest projecte requereix. A més, també s'haurà de fer ús de la Open End ubicada a l'INTEXTER.

- **Aparells d'assaig i maquinària**

Per desenvolupar l'estudi es necessiten diversos aparells per la caracterització del teixit com eines de tall i marcatge, comptafils, espessímetre, bàscula, microscopi òptic, eines bàsiques del laboratori de química, torsiómetre, dinamòmetre... La maquinària serà imprescindible per al reciclatge del teixit, així doncs la usada serà; l'obridora, la carda, el manual i l'open-end.

- **Reactius**

En l'anàlisi de la composició del fil seguint la normativa *UNE-EN ISO 1833-1:2020. Textiles - Análisis químico cuantitativo - Parte 1: Principios generales de ensayo i UNE-EN ISO 1833-11:2017 Parte 11: Mezclas de ciertas fibras de celulosa con otras fibras determinadas (método del ácido sulfúrico)*, s'especifica la necessitat d'amoniac i àcid sulfúric al 75%.

- **Normatives**

En la majoria dels assajos efectuats s'ha seguit la normativa estandarditzada associada per aplicar correctament el procés definit pels organismes governamentals i garantir així la qualitat. Donant com a exemple l'anàlisi de la composició del fil en combinacions binàries, la norma de la qual es troba en l'apartat superior anomenat *reactius*.

Finalment, cal destacar que no es realitzarà novament el teixit, sinó que la comparativa serà des del punt de vista del fil.

1.4. Justificació de l'estudi

En l'actualitat la indústria tèxtil genera gran quantitat de residus als quals no se'ls dona continuïtat en la cadena productiva i acaben en abocadors.

Una de les solucions per abolir aquest tipus de residus és el reciclatge mecànic, un procés que consisteix en la trituració, la preparació i la filatura del fil, però cal destacar que aquest procediment té més efectivitat en els teixits monomaterials.

Avui dia la majoria dels fils destinats a peces de roba amb certes necessitats tècniques no són interinament d'una fibra, ja que la combinació d'elles permet obtenir el confort i els paràmetres tècnics necessaris. N'és un exemple la mescla íntima més emprada; el cotó polièster.

Amb el present estudi, es pretén analitzar en quin grau es pot reciclar un uniforme amb la mescla anteriorment anomenada. Si aquest grau engloba una quantitat

relativa de matèria reciclada mantenint el màxim d'aspectes tècnics significarà l'obtenció d'un nou fil amb la capacitat d'emprar-se altra vegada com a uniforme. És a dir, a més d'aportar circularitat a la matèria residual també aportariem una economia circular a les empreses o institucions que volguessin reutilitzar uniformes d'aquestes característiques.

2. Antecedents i estat de l'art

2.1. Fibres tèxtils

Les fibres es defineixen per Fidel Lockuan [27] com un sòlid amb una minúscula secció transversal i una elevada relació longitud-secció.

Aquestes es poden classificar entre dues grans divisions; les naturals i les químiques.

- Fibres naturals:
 - Origen vegetal:
 - Fibres de la llavor: El cotó n'és un exemple
 - Fibres del tall: Un ampli nombre de fibres com el lli, el cànem i el jute provenen d'aquesta part de la planta.
 - Fibres de les fulles: Dins d'aquest grup trobem la ràfia, l'espart i el sisal
 - Origen animal: D'aquest grup pertanyen la llana, els pèls i la seda.
 - Origen mineral: L'única fibra d'origen mineral és l'amiant
- Fibres químiques:
 - Polímer sintètic: S'hi troben la poliamida, el polièster, l'elastà, el polipropilè...
 - Polímer natural: Es poden exemplificar la viscosa, el Lyocell i l'acetat.

D'aquesta classificació només es detallarà la fibra de cotó i la de polièster, respectivament, ja que són les protagonistes en el present estudi.

2.1.1. Cotó

Es tracta de la fibra tèxtil d'origen natural més utilitzada mundialment. Gràcies a la seva versatilitat i les seves propietats tècniques és adequada en diverses àrees com la indústria de la moda, el teixit de la llar i en productes d'ús industrial.

El cotó, conegut també amb forma abreviada CO, és una fibra natural vegetal provinent de la flor de la planta del cotoner, un arbust del gènere del *Gossypium*. Les fibres que produeix aquesta flor estan al voltant de les llavors en forma de borra, i conformen el cotó. Acostumen a tenir una longitud d'entre 0,3 a 5,5 mm amb una secció transversal semblant a la d'un ronyó (Figura 1).

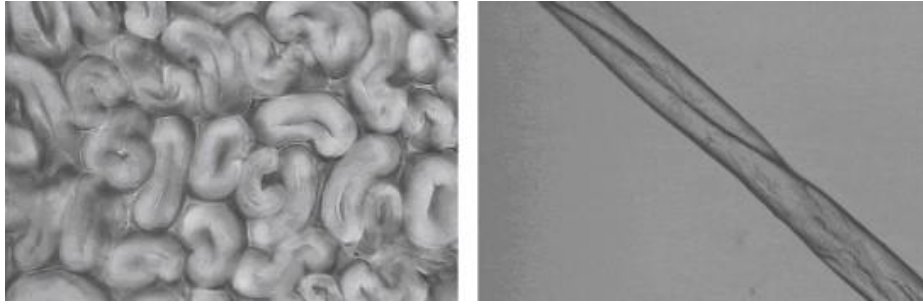


Figura 1. Secció transversal (esquerra) i vista longitudinal (dreta) de la fibra del cotó. Extret de: [28]

Pel que fa a la composició química, està compost per aproximadament un 95% de cel·lulosa la qual està formada per unitats repetitives de cel·lobiosa. La formació de la cel·lobiosa consta de dues molècules de glucosa lineals transformades individualment en cíclics unint el carboni 1 i 5. Seguidament, s'uneixen mitjançant l'enllaç o-glicosídic en el qual reaccionen els grups hidroxil del carboni 1 i 4.

A causa de l'estructura química anomenada anteriorment i física de les fibres, els fils, teixits i no teixits conformats per cotó presenten les següents propietats:

- Alta capacitat d'absorbir humitat i evaporar-la ràpidament, aportant així una sensació de confort. El cotó absorbeix un rang de 7-9% d'humitat.
- Alta capacitat de retenció de l'aigua, entre un 42-53%, per la presència als grups -OH de la cadena de cel·lulosa.
- Bona conducció de la calor.
- Es degrada abans de fondre a causa dels ponts d'hidrogen que creen els grups hidroxil. Són enllaços tan forts que quan s'aplica calor la cadena no pot fluir i es trenquen els punts d'enllaç.
- Tenacitat moderada
- Moderada resistència a la temperatura, fins als 120 °C la fibra no es veu afectada intrínsecament.

2.1.2. Polièster

El polièster forma part d'una de les fibres sintètiques més rellevants en la indústria tèxtil. A similitud del cotó, les fibres de polièster són utilitzades en amplis camps de treball, des d'aplicacions tècniques com el tapís dels automòbils fins a teixits de la llar com llençols.

És un polímer sintètic que es pot obtenir o bé a partir de l'àcid tereftàlic i l'etilenglicol o també del dimetil tereftalat i l'etilenglicol, a través d'una polimerització de policondensació. En el sector tèxtil, el polièster s'abreua com a PES que és com a partir d'ara se li farà referència en aquest estudi.

La producció de les fibres de polièster s'aconsegueix amb l'extrusió mitjançant la filatura per fusió. Aquesta consisteix a fondre el polièster i impulsar-lo entre els forats d'una extrusora on després de sortir s'aplica aire fred per a solidificar el polímer. Seguidament, s'estiren els filaments resultants amb uns corròns com s'observa en la *Figura 2*, per tal d'augmentar la cristal·linitat de l'estructura.

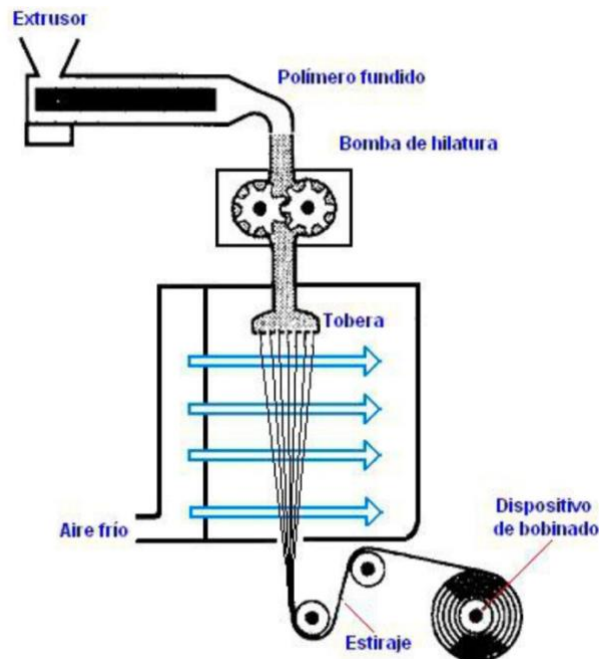


Figura 2. Filatura per fusió. Extret de: [27]

A causa de la metodologia d'obtenció de la fibra aquesta pot tenir les longituds i seccions transversals que hom desitgi.

A continuació, s'enumeren algunes de les propietats generals del PES:

- Molt poca capacitat d'absorció d'humitat, aproximadament té una capacitat d'un 0,4%. Conseqüentment, s'asseca amb facilitat, però causa dificultats en la tintura i la transpiració.
- Elevada resistència a la calor.
- Alta resistència a la tracció i al fregament.
- La temperatura de transició vítria està entre els 69-77 °C, per tant, a aquest rang les regions amorfes comencen a estovar-se. Sobrepasant aquesta temperatura es poden veure afectades les propietats a escala molecular.
- Molt poca capacitat de retenció de l'aigua, això provoca una generació d'electricitat estàtica la qual cosa acostuma a ser d'inconveniència.

2.1.3. Mescles cotó-polièster

La mescla del cotó i el polièster és actualment una de les més populars en molts sectors de la indústria tèxtil, especialment, en la roba del dia a dia.

El cotó aporta confort, conducció de la calor, bona gestió de la humitat, alta porositat mentre que el polièster compensa els desavantatges del cotó aportant resistència a la tracció i a l'arrugat i propietats de ràpid assecat, és a dir, de fàcil cuidat. Aquesta compensació de propietats tècniques permet fer de la mescla cotó-polièster una opció perfecta per a indumentària masculina i femenina i esportiva o de treball.

2.2. Residus tèxtils

En l'actualitat, la indústria tèxtil és responsable del 10% de les emissions mundials de carboni. Aquesta xifra és major a la producció del transport marítim i els vols internacionals combinats. Segons l'Agència Europea del Medi Ambient, el 2017 a la Unió Europea les compres tèxtils van generar un total de 654 kg d'emissions de CO₂ per càpita [18].

A causa de la forta caiguda dels preus de la roba des del 1996, quan es va introduir el concepte de *fast fashion*, la quantitat de roba comprada a la UE per persona ha augmentat un 40%. Es calcula que els europeus consumeixen quasi 26 kg de productes tèxtils i es desfan d'11 kg anualment. En major part aquest residu acaba incinerat o dipositat en abocadors, aproximadament un 73%. Paral·lelament, un 15% del tèxtil acaba en algun procés de reciclatge, del qual únicament un 1% es reconverteix en un nou fil [28].

Observant aquestes dades el Consell de Ministres va aprovar el març del 2022 el Projecte Estratègic per a la Recuperació i Transformació Econòmica de l'Economia Circular. El pla pretén accelerar la transició a un sistema productiu més eficient i sostenible per així complir els objectius de l'Estratègia Espanyola de l'Economia Circular per l'any 2030. Apostant directament pel sector tèxtil, invertint en tecnologies i infraestructures que facilitin la reutilització i el reciclatge a més d'impulsar mesures per a una millor traçabilitat dels productes i materials [17].

La realització d'aquest estudi espera poder reciclar uns uniformes de treball i obtenir un fil amb uns paràmetres tècnics suficients per poder reintroduir-lo en el cicle productiu. Així doncs, promovent el reciclatge i impulsant l'economia circular.

2.2.1. Mètodes de reciclat

Depenent del propòsit del material resultant o del tipus de matèria a reciclar es poden utilitzar diferents metodologies per al procés de reciclat. Els dos tipus poden ser usats tant per fibres naturals com sintètiques.

2.2.1.1. Reciclat químic

El reciclatge químic consisteix en un seguit de processos químics que despolimeritzen o dissolen la fibra en un monòmer o solvent. Aquest resultat es pot emprar per extrudir-la de nou en una fibra o per extreure'n un compost de la mescla.

Aquesta tècnica permet assolir la mateixa qualitat que els seus homòlegs verges, ja que es perden molt poques propietats físiques durant el procés de reciclat, amb el requisit de disposar de tèxtils compostos per la mateixa tipologia de fibra.

Es fa servir habitualment per a fibres sintètiques, però recentment s'han fet avenços en aquesta àrea permetent així regenerar químicament el cotó a viscosa.

El principal desavantatge d'aquesta metodologia és l'afectació al medi ambient amb l'ús de productes químics.

2.2.1.2. Reciclat mecànic

El reciclat mecànic té com a base del procés l'acció de triturar mecànicament materials d'origen tèxtil, amb la finalitat d'obtenir fibres o materials reutilitzables per la producció de nous productes.

Aquesta metodologia té la inconveniència de reduir significament la longitud de les fibres i, per tant, té un impacte en la qualitat del producte resultant. Per aquest motiu habitualment s'empra en mescles amb fibres verges per assegurar la durabilitat del producte final. No obstant, també és un procés més respectuós amb al medi ambient, ja que no es creen residus químics i és més econòmic.

Seguidament, es presenten els processos necessaris per dur a terme aquesta tècnica de reciclatge tèxtil:

- **Classificació**

El reciclat mecànic s'inicia amb una classificació del material d'acord amb la tipologia de fibra, estructura, color, composició...

- **Eliminació d'impropis**

Seguidament, es retiren peces com les cremalleres, els botons i en general els elements no tèxtils presents.

- **Triturat**

Aquest procés talla i tritura fins a desfibrar completament les matèries teixides obtenint com a resultat la fibra.

- **Cardat**

El producte del triturat s'introdueix en l'etapa de cardat per obtenir una mescla homogènia, alinear les fibres i eliminar les impureses presents en la matèria.

- Manuar

Els vels de la carda s'estiren i es doblen en cintes, gràcies al procés en el qual es realitzen els passos de manuar.

- Filatura

A continuació, una de les opcions és procedir a filar. Per aquesta tipologia de reciclat es fila en la majoria de les ocasions amb tecnologies de filatura per rotor.

- No teixits

Posterior a l'etapa del cardat es pot consolidar el vel en diferents metodologies, produint així un no teixit.

En la realització d'aquest treball s'implementarà aquesta metodologia pel fet que es busca una alternativa econòmica i ecològica per a reciclar uns uniformes de CO/PES amb l'objectiu d'estudiar si posteriorment al reciclat mecànic es podrien filar nous fils per a recrear la mateixa peça de roba i donar-li el mateix ús.

3. Procés experimental

3.1. Materials

3.1.1. Teixits

En aquest estudi es fa ús de dos teixits, aparentament iguals, però que s'han caracteritzat per separat per poder comprovar aquesta hipòtesi. En l'apartat de *Resultats – Caracterització del teixit i fil (residu)* es presentaran els resultats obtinguts en la caracterització d'ambdós teixits en un format de fitxa tècnica.

3.1.2. Maquinària

3.1.2.1. Crimp Tester SHIRLEY

El *Crimp Tester* utilitzat es troba al laboratori d'anàlisi de teixits de la UPC Terrassa i és un aparell de mesura de la longitud dels fils. Aquest consisteix en dues pinces que permeten fixar el fil, una mòbil on es pot llegir la mesura mitjançant una línia vermella, i l'altra fixa. Aquesta s'uneix a un braç equilibrat amb un pes que té mobilitat al llarg del braç, per tal d'ajustar la tensió de fil.

Quan es realitza la mesura del fil, se subjecten les dues puntes del fil a les pinces i la mòbil es mou al llarg de l'escala fins que mitjançant un mirall observem que les línies fixes i la línia del pes s'alineen.



Figura 3. Shirley Crimp Tester

3.1.2.2. Aspe

A semblança de l'aparell anomenat anteriorment, l'Aspe també present al mateix laboratori s'empra per a mesurar una longitud de fils desitjada amb precisió i, per tant, poder obtenir el títol del fil pesant-la.



Figura 4. Aspe

Aquest consisteix en una fileta per a suportar les bobines o fusades a determinar, de les quals en surt el fil a la *defileé* en direcció cap a les aspes que es disposen en forma d'hexàgon. El fil s'enllaça en una d'elles mitjançant un piu i es fa girar la maneta que oscil·la les aspes i l'agulla que ens marca els metres fins a arribar als desitjats. És aleshores quan s'atura per extraure la madeixa fent baixar una aspa per facilitar-ho.

3.1.2.3. **SDL ATLAS Fabric Sample Cutter**

És troba al laboratori d'anàlisi de teixits de la ESEIAAT i és una eina que permet tallar mostres de teixit de forma circular amb una superfície de 100 cm². Consta de tres fulles a la part inferior que en aplicar pressió i girar la maneta superior giren, cisellant així la matèria tèxtil en qüestió. Per tal de no danyar les fulles i la taula de treball, es fa ús d'una planxa encoixinada.



Figura 5. Fabric sample cutter. SDL ATLAS

3.1.2.4. **Espessímetre**

El gruix d'un teixit es mesura amb un espessímetre analògic amb una pressió constant de 7 KPa i una superfície de contacte de 35 mm de diàmetre, és a dir, 9,62 cm². Prèviament a dur a terme l'assaig s'ha d'ajustar a zero l'agulla per obtenir un resultat òptim, a més, de manipular amb cura la palanca per aixecar

la superfície de mesura per no desajustar l'aparell. L'espessímetre utilitzat és present a les instal·lacions del laboratori d'anàlisi de teixits de la UPC de Terrassa.



Figura 6. Espessímetre analògic

3.1.2.5. Torsiòmetre

El torsiòmetre, es troba al taller de filatura de la ESEIAAT i és un aparell d'assaigs tèxtils el qual et permet trobar les voltes del fil en funció de la longitud de la mostra (*Figura 7*). Aquest consisteix en dues pinces una de les quals compta amb un moviment giratori i l'altra es desplaça longitudinalment permetent així realitzar l'assaig a diferents mesures. Prèviament, a l'assaig s'ha d'haver comprovat el sentit de la torsió (S o Z) per poder-ho saber cap a on ha de girar el fil en l'assaig. En col·locar els 500 mil·límetres de fil a analitzar s'activa l'aparell perquè la pinça comenci a girar i quan s'ha destorçat completament es torna a torçar en la mateixa direcció fins a tornar al zero d'allargament.



Figura 7. Torsiòmetre electrònic. ZWEIGLE KG REUTLINGEN

Aleshores si es disposa d'una longitud L (500 mm), el torsiòmetre indicarà les voltes de torsió corresponents a una longitud de $2 \cdot L$, que seguidament s'hauran de transformar en voltes per metre.

3.1.2.6. Dinamòmetre

El dinamòmetre (model STATIMAT ME Textechno) ubicat a les instal·lacions del INTEXTER, és un aparell automàtic que permet realitzar assaigs de resistència a la tracció a fils amb un alt rang de mesura de força, vegeu la *Figura 8*.

Consisteix en dues mordaces: una inferior mòbil i una superior estàtica, que es troben linealment en l'eix vertical.



Figura 8. Dinamòmetre STATIMAT ME. Textechno

L'equip està connectat a un ordinador que consta d'un programari mitjançant el qual s'analitzen i es tracten les dades obtingudes dels assaigs i es plasmen en una fitxa.

3.1.2.7. Microscopi òptic

El microscopi òptic que es troba al laboratori d'anàlisi de teixits de l'ESEIAAT de la UPC és un aparell d'examinació basat en lents òptiques. Aquest ens permet observar detalls invisibles a simple vista de les fibres o fils dels teixits mostra amb detall.

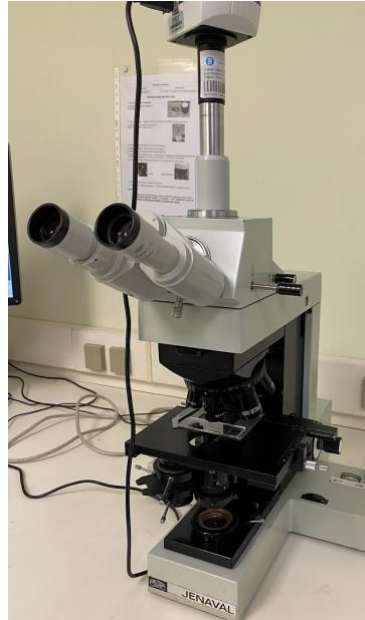


Figura 9. Microscopi òptic. JENAVAL

3.1.2.8. Diable

El diable o obridora trituradora, com el seu nom indica, tritura i desfila els teixits fins a obtenir fibra per tal de reprendre el procés de filatura o per donar-li una nova vida a la matèria resultant.



Figura 10. Diable. Gingdao Kingtech Machinery co. Ltd.

S'utilitza una *Cotton waste recycling machine line* del fabricant *Gingdao Kingtech Machinery co. Ltd.* (Figura 10) present al taller de tissatge de la UPC de Terrassa, un aparell amb tres tambors trituradors gràcies a les puntes de les guarnicions d'acer que omplen tota la superfície dels cilindres. Aquests tambors giren sobre el seu eix estant a una distància molt propera els uns amb els altres, creant així una acció d'esquinçament sobre el teixit i, per tant, la seva transformació en borra (Figura 11).

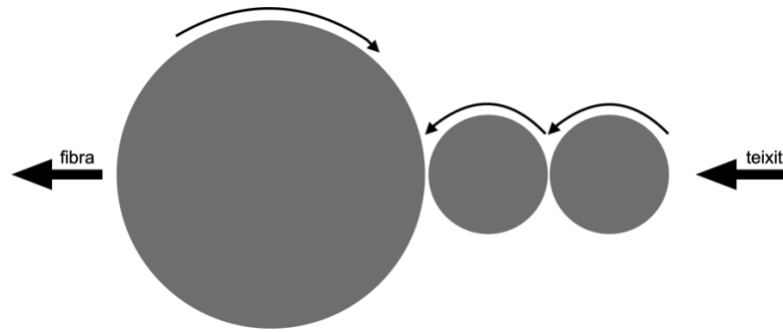


Figura 11. Cilindres del diable amb les corresponents direccions de gir

3.1.2.9. Carda

La carda és una màquina que té com a finalitat la neteja i individualització de les fibres. En aquest projecte s'utilitzarà una versió petita de la carda de xapons anomenada minicarda del fabricant *Platts* ubicada al taller de filatura de l'ESEIAAT, ja que per a estudis d'aquest tipus en els quals s'ha de fer poca producció es facilita i s'agilitza més la feina.



Figura 12. Minicarda. Platts

Aquest aparell està constituït per cinc òrgans: un cilindre alimentador, tres cilindres revestits i els xapons, també revestits de punts elàstics d'acer i guarnicions rígides d'acer en forma de dents de serra. Aquests cilindres es mouen a diferents velocitats quasi en contacte tangencial, igual que amb els xapons (els quals es troben estàtics) creant així l'obertura i individualització de les fibres.

En sortir de l'últim cilindre guarnit, la matèria s'embolcalla en un cilindre d'acer en forma de vel gràcies a un eix que realitza un moviment rectilini per anar disgregant la matèria del cilindre guarnit final.

3.1.2.10. Manuar

El manuar és altament rellevant en el procés de filatura, ja que aporta uniformitat al material. La versió usada de manuar també es tractarà d'un minimanuar del fabricant Platts també present al taller de filatura, pels mateixos motius explicats anteriorment.



Figura 13. Minimanuar. Platts.

Està constituït per:

- Una fileta d'alimentació de quatre posicions per costat, que permeten la introducció i separació de les cintes durant tot el procés. A més, asseguren una major facilitat d'observar i reparar les ruptures.
- Tres cilindres acompanyadors a l'entrada, dos mòbils a través d'un eix i un que es col·loca manualment i ambdós mòbils li transfereixen el moviment. Aquests acompanyen a la cinta o el vel de manera que ens assegurem que no hi hagi ruptures i que la matèria no perd la trajectòria.
- Un tren d'estiratge. Es tracta del cor del manuar i consta de dos tipus de cilindres:
 - Els cilindres estiradors estan fets d'acer amb un mollejat axial i transmeten un moviment positiu a través d'engranatges. La distància entre aquests cilindres és ajustable i adaptable segons la longitud de la fibra.
 - Els cilindres superiors no tenen moviment positiu sinó que són d'arrossegament. Tenen un recobriment de cautxú sintètic que pot variar en la duresa, mesurada en shores.

El minimanuar té un sistema d'estiratge de 4 sobre 4, és a dir, que consta de 4 cilindres estiradors sobre 4 de superiors. Vegueu la *Figura 14*.

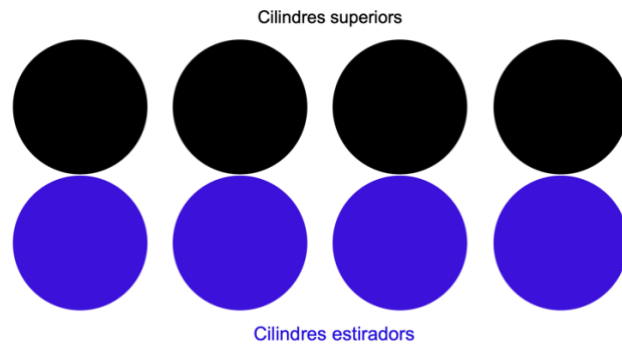


Figura 14. Tren d'estiratge del minimanuar del taller de filatura de la ESEIAAT

- Un plegat final que consta d'una boqueta de condensador (amb diàmetres intercanviables) i dos cilindres que es pressionen entre si a la sortida de la boqueta.

3.1.2.11. Open End

Per a la filatura es farà ús d'una open-end rotor Spintester del fabricant Schlafhorst amb el box de filatura SE10 (Figura 15) que es troba al INTEXTER. Aquesta metodologia té la funció de transformar les cintes en fils mitjançant una sèrie d'elements que posteriorment s'elaboraran. El principal avantatge de produir fil amb aquesta metodologia és que et permet escurçar el procés de filatura eliminant la metxera i la bobinadora.



Figura 15. Open-end Spintester Schlafhorst

El procés de filatura Open-End consta de les següents operacions:

- Alimentació de la cinta. A través d'un cilindre d'alimentació s'introdueix la cinta de manuar al disgregador.

- Obertura de la cinta. El disgregador consta d'unes dents rotatòries que giren a alta velocitat cosa que provoca una separació i individualització de les fibres de la cinta.
- Transport al rotor. Les fibres passen a través del canal convergent, on l'entrada és més gran que la sortida i, per tant, l'aspiració provoca que les fibres s'accelerïn i s'orientïn. A més, el desplaçament d'aquestes és gràcies a la força centrífuga i d'aspiració en la carcassa del rotor que provoquen que les fibres es desenganxin del disgregador i es transfereixin a la paret interior del rotor.
- Agrupació de les fibres. Novament, la força centrífuga empeny les fibres a la paret cònica del rotor formant una anella de fibres.
- Formació del fil. El rotor exerceix una torsió al fil fent que l'extrem surti per la boqueta de l'aparell.
- Bobinat. En sortir el fil aquest s'enrotlla en una bobina per emmagatzemar el fil.

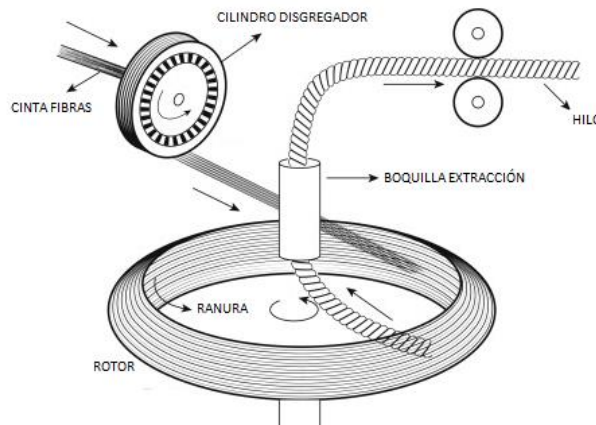


Figura 16. Diagrama visual del procés de filatura per rotor. Extret de: [19]

Hi ha diversos òrgans variables, per adaptar-se a cada procés filatura:

- El disgregador influeix en la regularitat del fil, poca disgregació crea una irregularitat en els fils i un excés de disgregació pot arribar a trencar les fibres. S'en troben dos tipus: d'agulles i de dents de serra.
- El rotor confereix la falsa torsió i s'elegeix en funció del títol del fil, la fibra usada... Les diferències principals entre diferents rotors està en la ranura d'aquest (l'angle que crea) i el diàmetre.
- Les boquetes tenen un impacte en l'aspecte final del fil. N'hi ha de diferents tipologies i es distingeixen en forma i material.

- El torque stop fricciona la superfície del fil perquè les fibres quedin orientades.

3.1.3. Reactius

Per a l'anàlisi de la composició dels teixits necessitem els següents reactius:

- Amoníac. (Amoníac 30%, PanReac) ($\rho = 0,88 \text{ g/ml}$ a $20 \text{ }^\circ\text{C}$) Reactiu utilitzat per a neutralitzar el pH de les fibres en acabar l'assaig. És un producte corrosiu i tòxic, seguidament en la *Figura 17* es troben els pictogrames de perill de l'etiqueta de l'amoníac usat.



Figura 17. Pictogrames de l'amoníac. GHS05, GHS07, GHS09.

- Àcid sulfúric. (Àcid sulfúric 96%, PanReac) Producte usat per a eliminar la part de cotó del teixit, diluït en un 75% amb aigua destil·lada. Es tracta d'un reactiu corrosiu, en la *Figura 18* es visualitza el pictograma de l'envàs.



Figura 18. Pictograma de l'àcid sulfúric. GHS05.

- Aigua destil·lada. Emprada per rentar els teixits i diluir els anteriorment anomenats.

3.2. Processos

3.2.1. Caracterització del teixit i el fil (residu)

Prèviament a cada un dels assaigs esmentats a continuació s'ha realitzat el condicionament dels teixits mostra de com a mínim 24 hores en un ambient de $20 \text{ }^\circ\text{C}$ i a 65% d'humitat, conforme la normativa *UNE-EN 20139 – Textiles. Atmosferas normales para acondicionamiento y ensayos.*

3.2.1.1. Numeració del fil

La numeració de fil, també anomenada títol, és una mesura que relaciona la massa del fil amb la seva longitud. Hi ha dos sistemes de mesura; directa i inversa, però en aquest cas es farà servir la directa i específicament el *tex*.

En el sistema de numeració *Tex* el títol és definit per la massa, mesurada amb grams, d'una longitud constant de 1000 metres.

Per obtenir, la longitud de les mostres es va fer ús del malimetre (*SHIRLEY Crimp Tester*), amb el qual es va mesurar la longitud (aproximadament de 50 cm) de 10 mostres tant per trama com per ordit, dels dos teixits. Les mostres de fil es van extraure de diferents zones del teixit i lluny de la zona de la vora. El pes de l'aparell estava ajustat a 10 grams.

Per determinar el pes es va usar una balança de torsió d'una pressió de 0,02 g. En aquest assaig es van pesar les 10 mostres respectivament mesurades en grups de dos.

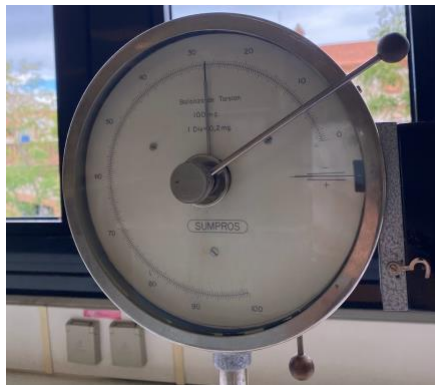


Figura 19. Balança de torsió. SUMPROS

La normativa UNE 40600-5 sosté aquesta anàlisi per obtenir el títol del fil, tot modificant certs aspectes per adaptar-se a la situació de l'assaig.

3.2.1.2. Lligament

El lligament d'un teixit de calada és la disposició d'entrecreuaments entre els fils d'ordit i de trama, per tal de formar una estructura teixida.

En avaluar el lligament dels teixits es va emprar una placa de llum difusora i compta fils per visualitzar l'estructura amb més precisió. La norma amb què s'ha sostingut aquesta anàlisi és l'UNE 40161:1980. *Tejidos de calada. Definiciones relativas a su estructura.*

3.2.1.3. Gruix

El gruix d'un teixit és la mesura de la distància entre les dues cares, l'anvers i el revés, expressat en mil·límetres i mesurat a una pressió i un diàmetre de polsador específics.

Se segueix la norma UNE-EN ISO 5084:1997. *Textiles. Determinación del espesor de los textiles y de los productos textiles.* S'aprovisiona el teixit en la base de l'aparell i es deixa caure el polsador el qual entra amb contacte amb el costat oposat de la mostra. Es llegeix la mesura i es procedeix idènticament amb

les altres mostres, assegurant que la mostra continguda en la base no conté arrugues.

Es realitzen cinc mesures de manera esglaonada al llarg del teixit com s'observa a la *Figura 20*.

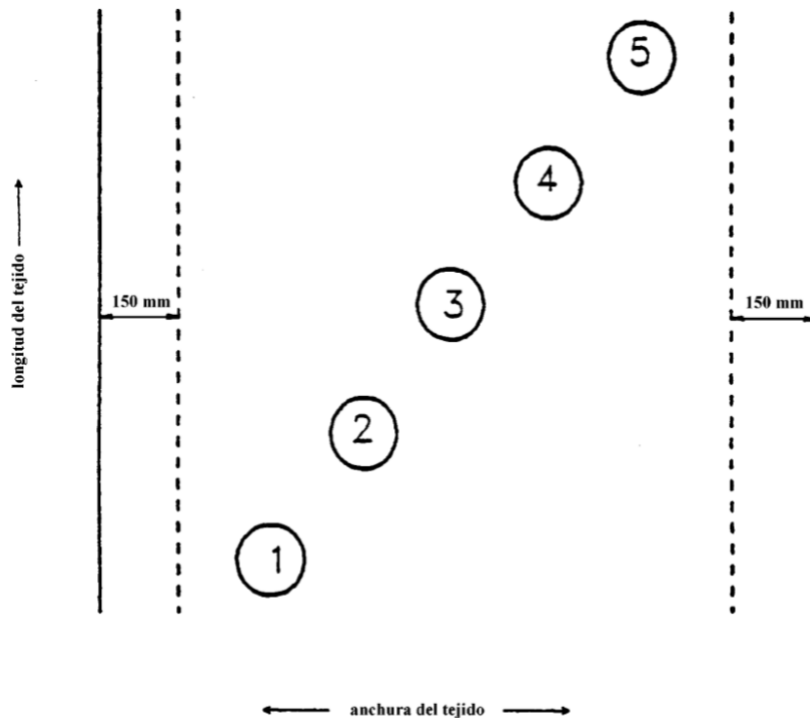


Figura 20. Exemple del tall de les provetes d'una mostra de laboratori. Extret de: [6]

3.2.1.4. Densitat de fils

Es coneix com la quantitat de fils i passades que es troben una unitat de longitud determinada, tant per trama com per ordit.

La norma *UNE-EN 1049-2:1995. Textiles. Tejidos. Construcción. Métodos de análisis. Parte 2: determinación del numero de hilos por unidad de longitud* s'ha emprat en aquesta determinació. Es mesura amb l'ajuda d'un comptafils de 2,25 cm², i es comptabilitzen els fils en aquest espai per obtenir la densitat d'ordit i les passades per la densitat de trama. El nombre es divideix entre la longitud mesurada, és a dir, 1,5 cm i s'obté en funció de centímetres. Es realitzen un total de 10 mesures en cada sentit, amb la mateixa metodologia esglaonada que en l'obtenció del gruix per a un resultat més acurat.

3.2.1.5. Composició

La composició d'un teixit i/o fil és el determini qualitatiu i quantitatiu de la fibra o fibres que el conformen.

3.2.1.5.1. Anàlisi identificativa de la composició

Per a observar i distingir els diferents tipus de fibres que conté un fil o teixit, es necessita un microscopi òptic. L'ús d'aquesta metodologia ens permet caracteritzar principalment les fibres animals i vegetals, ja que en les artificials resulta limitat pel fet que es poden extrudir en la superfície longitudinal i transversal desitjada.

Mitjançant una inspecció preliminar del fil desfibrat prèviament amb un punxó sobre una placa de vidre, podem afirmar a priori si es tracta d'una mescla de fibres o un sol tipus. A partir d'aquí podem analitzar en profunditat les imatges del microscopi per tal de concloure la identificació de les fibres o fibra.

En la realització d'aquest procés es van obtenir les imatges corresponents a cada un dels fils de trama i ordit d'ambdós teixits analitzats. Aquestes imatges es troben en l'apartat de "*Caracterització del fil inicial (residu)*" on es comenten profundament.

Gràcies als resultats de la vista longitudinal s'observa que la totalitat dels fils analitzats consten de cotó, a causa d'aquesta forma semblant a la d'un ronyó, i de polièster, per la secció circular que se li pot apreciar. És necessari mencionar aquests resultats, ja que per a la posterior anàlisi de la composició quantitativa són essencials.

3.2.1.5.2. Composició percentual de cada fibra

Seguidament, s'ha d'obtenir el valor de la quantitat de cada una de les fibres presents en el teixit per tenir coneixement de la composició exacta. Aquest procediment es realitza seguint la normativa *ISO 1833-1:2020. Textiles. Análisis químico cuantitativo. Parte 1: Principios generales de ensayo. i la ISO 1833-11:2017. Textiles. Análisis químico cuantitativo. Parte 11: Mezclas de ciertas fibras de celulosa con otras fibras determinadas (método del ácido sulfúrico)* la qual s'especifica per als teixits que contenen fibres de cel·lulosa i altres fibres, sent una d'elles el polièster. Així doncs, aquestes normes permeten analitzar el contingut de les dues fibres de la mescla binària present als fils.

Preparació dels reactius

- Amoníac: es dilueixen 80 ml d'amoníac en 1 l d'aigua destil·lada.
- Àcid sulfúric: es dilueixen 700 ml en 350 ml d'aigua. L'àcid reacciona escalfant-se i, per tant, part de l'aigua s'evapora. En refredar-se s'enrasa al litre amb aigua destil·lada.

Preparació de les mostres

Es preparen quatre mostres d'aproximadament 1 g tallades en tires per tal de tenir més superfície de contacte i facilitar l'assaig:

- 2 mostres del teixit BLAU MARÍ

- BM1: Mostra blau marí 1
- BM2: Mostra blau marí 2
- 2 mostres del teixit BLAU CEL
 - BC1: Mostra blau cel 1
 - BC2: Mostra blau cel 2

A continuació, s'assequen les mostres en un pesasubstàncies obert dins un forn a $105\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ entre 4 i 16 hores, en aquest cas va ser de 6 h. Seguidament, es col·loquen en un dessecador durant com a mínim 2 hores. Passat aquest temps es pesen les mostres en una bàscula de pressió 0,0001 g.

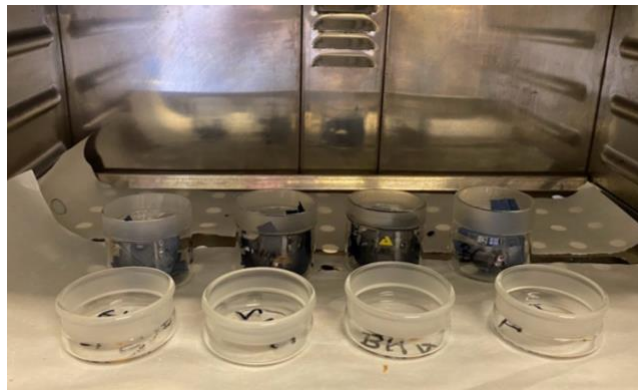


Figura 21. Mostres de teixit al forn

Eliminació de les fibres de cotó

S'afegeixen en cada un dels matrassos cònics la mostra corresponent i 200 ml de l'àcid sulfúric diluït inicialment. Es tapa el recipient i s'agita per impregnar la totalitat de les mostres. Els matrassos s'introdueixen en un bany durant una hora a $50\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ agitant suaument cada 10 minuts (*Figura 22*).



Figura 22. Bany d'aigua a $50\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ dels matrassos cònics

Seguidament, es filtra el contingut del matràs a través d'un gresol de vidre prèviament tarat, rentant el restant del matràs amb àcid. S'aplica el buit al kitasato quan ja ha filtrat per gravetat i es renta el residu omplint el gresol amb àcid. Es renta de nou amb aigua destil·lada diverses vegades i dues rentades amb amoníac per neutralitzar el residu, escorrent amb el buit a cada adhesió. A més, es comprova el pH amb una tira de pH per assegurar la neutralització.



Figura 23. Rentat de les mostres aplicant el buit

Assecat i mesura del pes del residu

A similitud de l'assecat de les mostres en l'apartat de *preparació de les mostres* el procediment és el mateix, en aquesta ocasió introduint els gresols dins el pesasubstàncies.

Es traspassen els pesasubstàncies tancats al forn ràpidament al dessecador per un mínim de 2 hores i es pesen en la mateixa bàscula anteriorment emprada. Per a determinar el percentatge de fibra resultant (és a dir, polièster) s'aplica l'equació de la *Taula 1*.

Taula 1. Equació per determinar el percentatge de fibra de polièster

$$\% \text{ fibra de poliester} = \left(\frac{A - B}{C - D} \right) \cdot 100$$

On:

- A: pes sec (mostra inicial + pesasubstàncies) [g]
- B: pes sec pesasubstàncies [g]
- C: pes sec (mostra final + gresol) [g]
- D: pes sec gresol [g]

3.2.1.6. Massa laminar

La massa laminar és la mesura de la massa d'una superfície coneguda d'un teixit dividida entre aquella superfície, expressada en grams per metre quadrat.

Així doncs, seguint la normativa *UNE - EN 12127 – Textiles - Tejidos - Determinación de la masa por unidad de superficie de muestras pequeñas*, els teixits analitzats es deixen sense tensió durant com a mínim 24 hores prèvies a l'assaig. Passat aquest temps es procedeix a tallar les cinc provetes de manera escalada al llarg del teixit com s'observa a la *Figura 20*. L'aparell utilitzat pel tall és el SDL ATLAS (Fabric Sample Cutter), un dispositiu de tall circular amb una superfície tallada de 100 cm². Al pesar les mostres amb àrea constant en una balança electrònica Mettler PC-400 d'una precisió de 0,01 g s'obté el pes per metre quadrat del teixit mostra en qüestió.

En la realització d'aquesta mesura no es va dur a terme l'assecat de la mostra perquè es va considerar que el gramatge del teixit no era una dada primordial, ja que posteriorment no era comparable i, per tant, era únicament per tenir una visió general del teixit a reciclar.

3.2.1.7. Tipus de filatura

L'anàlisi del sistema de filatura usat per a formar el fil dels teixits mostra és necessari per poder-ho tenir en compte en la posterior filatura de la matèria reciclada.

Es procedeix extraient un fil de cada un dels teixits amb un punxó i col·locant-lo entre dues plaques de vidre. Seguidament, s'introdueix al microscopi òptic i s'elegeix l'objectiu més adient i s'enfoca l'aparell fins a observar clarament el fil.

Per poder distingir ambdues tipologies de filatura cal saber que els fils produïts mitjançant filatura a rotor tenen fibres que les envolten irregularment i a l'interior es troben altres fibres amb torsió. En canvi, els fils resultants de la contínua d'anells mostren molta més regularitat i no compten amb fibres de gavellat a l'entorn (*Figura 24*).

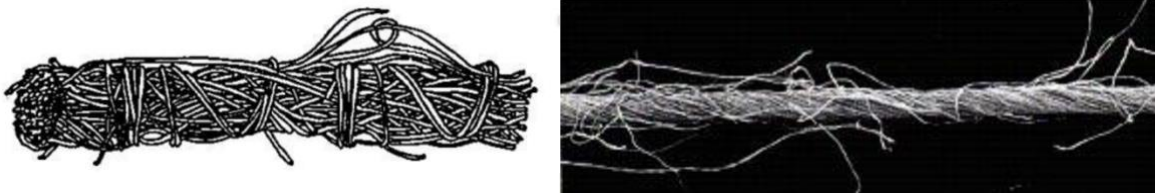


Figura 24. Representació del fil resultant en la filatura a rotor (esquerra) i en la contínua d'anells (dreta). Extret de: [26]

Excepcionalment, es comenta el resultat d'aquesta anàlisi, ja que és imprescindible per a entendre la continuació del procediment experimental i per justificar l'elecció de la filatura. Així doncs, es va concloure en una filatura per contínua d'anells a causa de la linealitat i regularitat de les fibres que el constitueixen i de l'absència de les fibres de gavellat presents en els fils filats a rotor. Es mostren en la *Figura 25* les captures obtingudes de l'assaig en el microscopi.

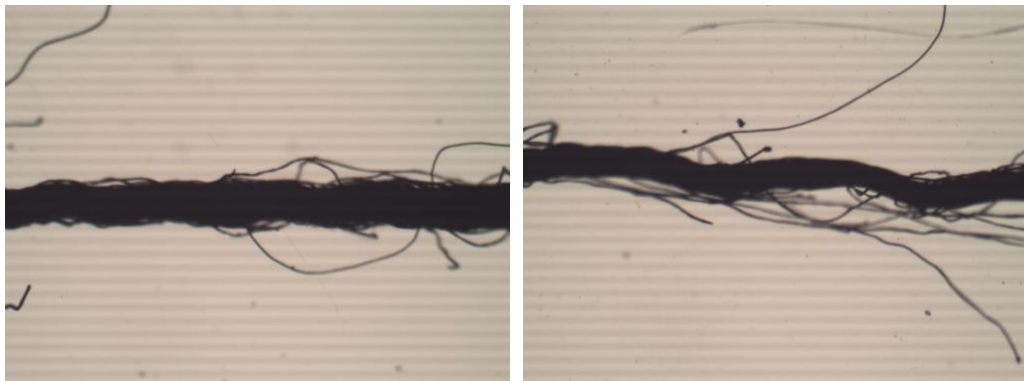


Figura 25. Resultats del tipus de filatura. Teixit blau cel (esquerra) i blau marí (dreta)

3.2.1.8. Torsió

La torsió és el nombre de voltes per unitat de longitud que es donen a un fil per tal que les fibres assoleixin més resistència al desplaçament.

Per mesurar-la s'utilitza un torsiómetre electrònic en aquest cas el model D312 de la marca *Zweigle Kg Reutlingen* i la norma *UNE 40600-4:1996 ERRATUM – Textiles – Tejidos - Construcción. Métodos de análisis. Parte 4: Determinación de la torsión de los hilos de un tejido*. Com indica la norma, s'extrauen els fils del teixit amb un punxó, s'analitza el sentit de la torsió (sentit "Z") i s'observa que es tracta d'un fil a un cap. Se subjecten les puntes del fil a les dues pinces que constitueixen l'aparell procurant que l'agulla marqui 0 i, per tant, la longitud de

l'assaig sigui de 50 cm exactes. S'activa l'aparell i aquest s'atura quan ha obtingut les voltes per metre del fil mostra.

Es mesuren un total de 10 fils de mig metre cada un per ambdós teixits de trama i ordit.

3.2.1.9. Resistència a la tracció

La resposta dinàmica d'un fil o teixit sotmès a un esforç de tracció ens permet avaluar com es comporta durant l'ús i, per tant, entendre quines funcions pot portar a cap aquell teixit o el fil que el constitueix.

El dinamòmetre automàtic STATIMAT ME ens permet realitzar l'assaig de resistència a la tracció. S'extrauen els fils d'una longitud major a 500 mm amb l'ajuda d'un punxó, procurant evitar les zones properes a les vores del teixit i esglaonant l'extracció dels fils al llarg del teixit. Seguidament, es col·loquen els fils centrats en la mordaç superior i inferior i s'acciona la maquinària. Aquesta estira el fil fins a la ruptura mesurant paràmetres mitjançant el programari de l'equip.

Es realitzen 10 mostres per trama i ordit dels dos teixits mostra.

A continuació, la *Taula 2* mostra les condicions de l'assaig de resistència que es fixen per a totes les anàlisis elaborades als fils d'aquest projecte, d'acord amb la normativa UNE-EN ISO 2061 *Textiles. Hilos arrollados. Determinación de la fuerza o carga de rotura y del alargamiento en la rotura de hilos individuales con un equipo de velocidad constante de alargamiento (CRE)*.

Taula 2. Condicions de l'assaig de tracció

<i>Cèl·lula de càrrega</i>	100 N
<i>Distància entre pinces</i>	500 mm
<i>Velocitat d'assaig</i>	500 mm/min
<i>Pretensió</i>	0,5 cN/tex

Els paràmetres rellevants obtinguts després de dur a terme l'assaig es mostren en un format de fitxa que realitza l'ordinador, i són:

- L'allargament (%)

Representa l'increment de longitud de la fibra a conseqüència de la càrrega axial aplicada.
- La força (cN)

La càrrega necessària per provocar la ruptura al fil.
- Corba força-allargament

És un format gràfic per mostrar com es comporta el fil davant un esforç axial on l'eix de les abscisses és la deformació per culpa de la càrrega i l'eix de les coordenades expressa la tensió axial aplicada.

- El treball (cN·cm)

L'energia necessària per a trencar el fil i es determina calculant l'àrea de la corba de força-allargament.

- La tenacitat (cN/tex)

És la càrrega per unitat de gruix de la fibra, és a dir, tenint en compte el títol del fil analitzat.

3.2.2. Triturat dels teixits

El procés del triturat dels teixits mostra necessita una obridora o diable. Es tracta d'una màquina que tritura mitjançant uns tambors amb puntes afilades que permeten desfibrar els teixits que l'alimenten.

Es retallen les mostres d'ambdós teixits en cintes de 400x100 mm en direcció ordit i trama. S'usa aquesta mesura, ja que encaixen a la perfecció en la cinta d'alimentació i a més permet un triturat homogeni i ràpid. Una vegada retallades les mostres es pesen per tal d'obtenir aproximadament el mateix pes en cada un dels teixits mostra, s'observen els gramatges en la *Taula 3*.

Taula 3. Gramatge total de les cintes a reciclar

<i>Teixit Blau Marí Trama</i>	312 g
<i>Teixit Blau Marí Ordit</i>	313 g
<i>Teixit Blau Cel Trama</i>	315 g
<i>Teixit Blau Cel Ordit</i>	314 g

Es realitza aquest triturat en el diable del taller de tissatge de TR4 de la UPC Terrassa, amb les velocitats de l'obridora mostrades en la *Taula 4*.

Taula 4. Velocitats de l'obridora

	Unitats	Velocitats
<i>Telera entrada obridora</i>	rpm	410,4
<i>Cilindre obridora</i>	rpm	2463,0
<i>Aspiració obridora</i>	rpm	2233,2

S'introdueixen les mostres a la cinta d'alimentació lentament i de forma alternada com en la *Figura 26*. Passat el primer pas de la matèria a través de l'obridora i abans d'extraure la bossa de matèria triturada, es retira la caixa inferior del diable on es troba el retorn del processat i es pesa en una balança. Aquesta floca

s'introdueix de nou a la màquina i s'acciona afegint-la així al total, és a dir, obtenint així el gramatge de matèria obtingut en el primer pas de triturat.

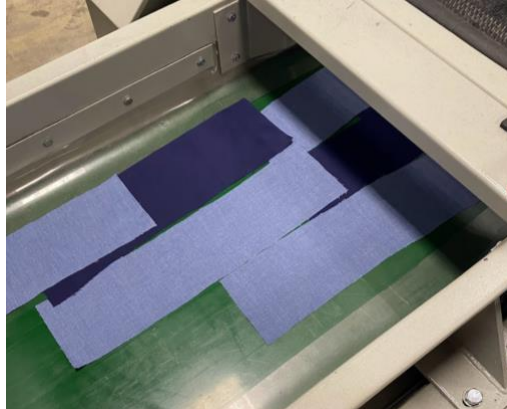


Figura 26. Col·locació de les tires de teixit en l'obridora

Posteriorment, s'observa que un primer pas no és suficient, ja que encara es troben trossos de teixit de mesures notables en la borra resultant.

Es realitza un segon pas de l'obridora introduint a poc a poc la matèria sobre la cinta d'alimentació, a similitud del primer pas. En acabar, es procedeix de la mateixa manera que en el primer pas amb el retorn del processat. Aquesta dada permetrà analitzar en l'apartat "resultats" quina és la pèrdua de matèria que hi va haver durant aquesta successió.

Seguidament, s'analitza la matèria resultant i es pren la decisió de dividir-la en dues parts i realitzar un tercer pas amb una part d'aquestes dues, exactament, és du a terme un tercer pas a 781 g de la matèria resultant del segon pas (1194 g). La decisió es deu al fet que la matèria es trobava quasi completament desmembrada, però encara es trobaven alguns fragments de teixit que no eren prou petits com ser segmentats pel següent processat, la carda.

El tercer pas es desenvolupa idènticament al segon, anotant les mesures resultants. A continuació, la *Figura 27* mostra com es mostra la fibra resultant del tercer pas de l'obridora.



Figura 27. Fibra resultant del triturat dels teixits

3.2.3. Preparació de les cintes

Seguidament, la borra obtinguda del triturat es processa per a l'obtenció de cintes. Els percentatges de matèria reciclada analitzats són 0, 5, 10 i 20%, per a poder observar fins a quin percentatge de teixit reciclat pot estar present en el fil resultant obtenint el millor resultat en aspectes tècnics, sent el 0% de matèria reciclada un punt de comparació per analitzar sobre els altres fils produïts.

Aquesta preparació prèvia a la filatura Open-End es subdivideix únicament en dos processos: el cardat i els passos de manual.

3.2.3.1. Cardat

El cardat és du a terme en la minicarda del Taller de Filatura de la UPC Terrassa i es tracta d'una versió miniatura d'una carda generalitzada. L'objectiu d'aquest aparell és l'obertura de les fibres i la individualització d'aquestes, la paral·lelització i l'estirament de les mateixes, l'eliminació d'impureses i de fibres curtes.

Prèviament, es fa una neteja de la carda; s'aixequen els xapons i amb la cardeta (una eina semblant a un raspall amb fines pues d'acer) es rasquen a contra direcció tots els cilindres i els xapons. Amb l'ajuda de l'aire comprimit s'extrau la fibrilla més incrustada.

A continuació, es tara una capsa de cartó estandarditzada del taller per pesar els gramatges de matèria reciclada i verge. El gramatge d'alimentació de la carda s'estableix a 50 grams, ja que en estudis anteriors utilitzant mescla de CO/PES era l'opció més adequada. Donat que la totalitat eren 50 grams es va calcular en funció dels percentatges obtenint els resultats de la *Taula 5*.

Taula 5. Diversificació del gramatge de la carda en funció del % de matèria reciclada

% FIBRA RESIDU	20%	10%	5%	0%
<i>PES reciclat [g]</i>	6,5	3,3	1,6	0
<i>CO reciclat [g]</i>	3,5	1,8	0,9	0
TOTAL reciclat [g]	10	5	2,5	0
<i>PES verge [g]</i>	26	29,3	30,9	32,5
<i>CO verge [g]</i>	14	15,8	16,6	17,5
TOTAL [g]	50	50	50	50

Tot seguit, es col·loca la fibra sobre la cinta d'alimentació de manera que ocupi uns 25 cm aproximadament, afegint homogèniament el polièster verge, el cotó verge i la mescla reciclada, en aquest ordre (de més a menys en funció dels grams). El cilindre d'alimentació s'acciona manualment amb l'embragatge i d'aquesta manera s'introdueix pressionant amb una mà la fibra i amb l'altra el cilindre. S'activa l'embragatge de nou i s'acciona la màquina fins a obtenir el vel

embolcallat al cilindre final. Aquest s'extrau i es pesa en la caixa prèviament tarada per obtenir una visió de la pèrdua de matèria.



Figura 28. Minicarda processant la fibra de CO/PES verge

Novament, es col·loca el vel en la cinta alimentadora i es realitzen els mateixos passos anteriorment mencionats, d'aquesta manera obtenim el vel de la carda, en dues passades de carda. Per cada percentatge es realitzen 5 vels, ja que es necessitaran 4 pel manual i el cinquè es produeix per tenir marge de maniobra en cas d'error.

3.2.3.2. Pas de manual

El minimanuar del taller de filatura de l'ESEIAAT ens permet fer els passos de manual. Com s'ha explicat anteriorment, aquest procés ens transformarà els vels en cintes i realitzarà un estirat i doblat a aquestes.

Primerament, s'apliquen els ecartaments que es mostren en les *Figures 29, 30 i 31*. L'elecció d'aquests es deu a estudis anteriors realitzats amb aquest tipus de maquinària, mateix tipus de matèria i tenint en compte la longitud del polièster (38 mm). Es realitzen 3 passos de manual com s'explica seguidament:

- Primer pas de manual

Inicia amb la conversió dels vels de la carda a cintes i el considerarem el primer pas de manual, per a portar-ho a terme s'utilitza l'engranatge de 117 dents i el condensador de 6 mm diàmetre (*Figura 32*). A continuació, la *Figura 29* mostra les velocitats que s'obtenen amb aquest engranatge, obtenint un estiratge de **9,37**. L'estiratge total és la divisió entre la velocitat de producció i la velocitat d'alimentació, aquesta dada ens permet saber quin serà el títol de sortida de la cinta.

Taula 6. Equacions per a l'obtenció de l'estiratge

$$E_{real} = \frac{tex\ entrada}{tex\ sortida} \qquad E_{mecànic} = \frac{V_{lineal\ sortida}}{V_{lineal\ entrada}}$$

Suposant que:

$$E_{real} = E_{mecànic}$$

On:

- E = estiratge
- V_{lineal} = velocitat lineal [m/min]
- tex = títol en [tex]

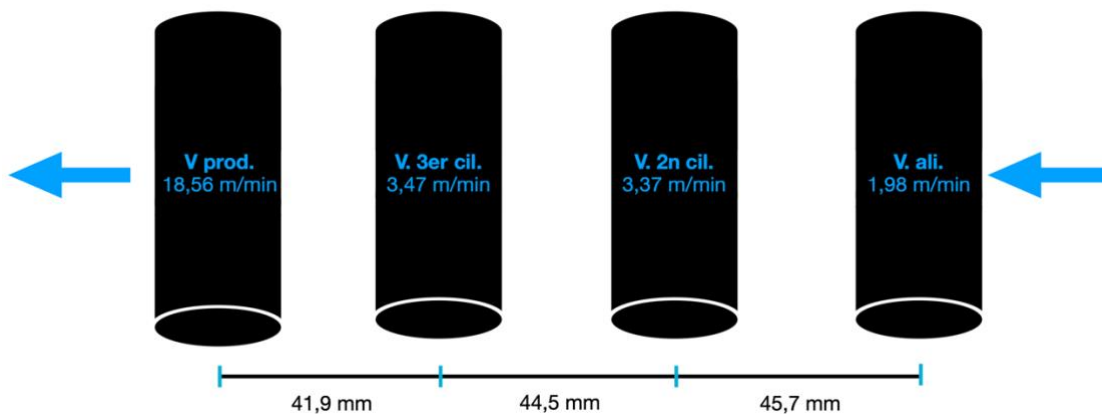


Figura 29. Primer pas de manual. Ecartaments i velocitats dels cilindres

S'introdueix el vel en els cilindres acompanyadors i es col·loca el cilindre superior manualment de manera que tota la fibra quedi dins de la longitud. Amb l'ajuda de la mà es dirigeix la fibra en el cilindre alimentador i s'acciona el manual. La matèria passa a través dels 4 cilindres i en sortir s'atura la màquina per fer la punta del vel i introduir-la al condensador perquè en activar l'aparell de nou la cinta passi a través del coiler fins al bot. Aquesta acció es realitza amb 4 vels de cada percentatge de matèria reciclada per obtenir 4 cintes, les quals es pesen en la bàscula i es mesuren en un aparell que mesura la longitud de les cintes, obtenint així el títol.

- Segon pas de manual

En aquest segon pas ja es realitza un doblat, canviant el pinyó al de 87 dents i la boqueta de 3,5 mm de diàmetre (Figura 32). En la Figura 30 es mostren les velocitats dels cilindres, resultant en un estiratge de **6,75**.

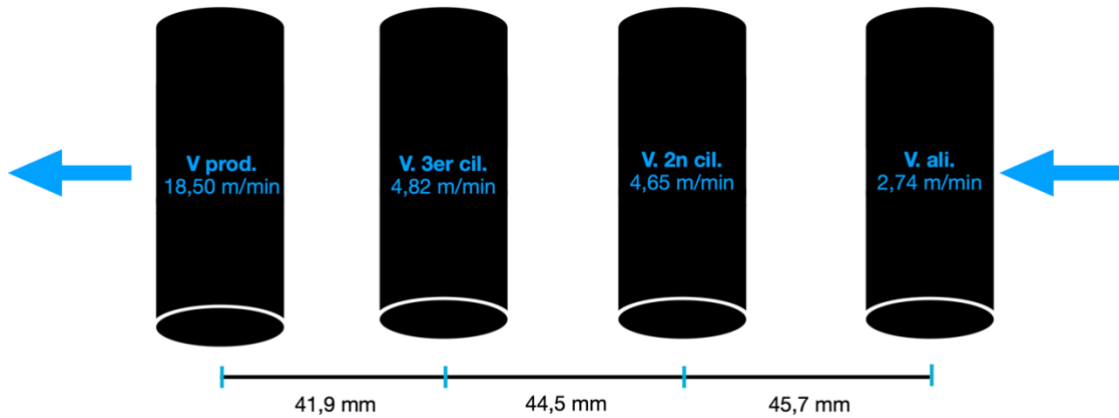


Figura 30. Segon pas de manual. Ecartaments i velocitats dels cilindres

Les quatre cintes obtingudes en l'anterior pas es passen a través de la fileta d'alimentació i s'encaminen fins a l'entrada del cilindre alimentador per damunt dels cilindres acompanyadors. S'acciona la màquina i es procedeix a similitud del primer pas. En acabar, es divideix la cinta resultant en 4 cintes de la mateixa longitud per doblar de nou.

- Tercer pas de manual

El tercer i últim pas de manual, es tracta novament d'un doblat que en aquest cas, necessita el pinyó de 40 dents i el condensador de 2,5 mm de diàmetre (Figura 32). Les velocitats es mostren en la Figura 31 i l'estiratge és de **3,38**.

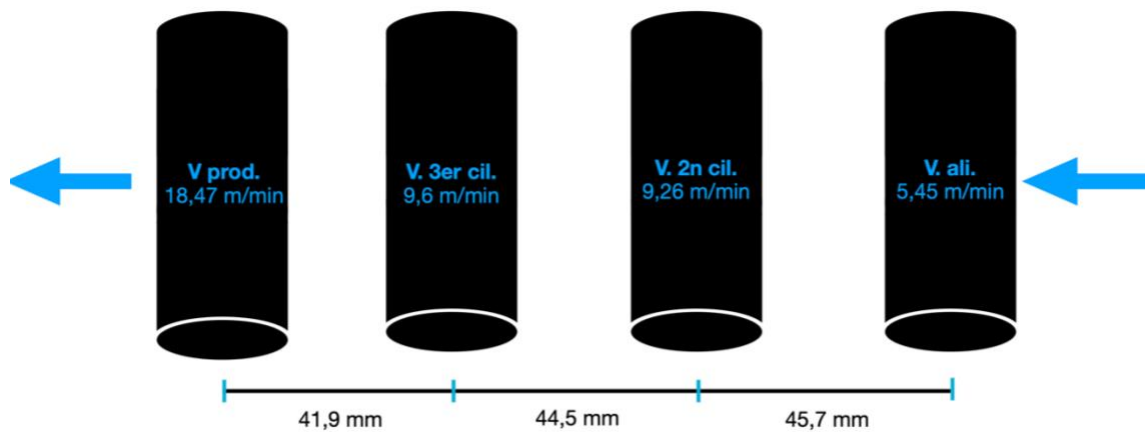


Figura 31. Tercer pas de manual. Ecartaments i velocitats dels cilindres

Partint de les quatre cintes dividides es realitza un tercer pas de la mateixa manera que s'ha dut a terme el segon, exceptuant, la divisió de la cinta final. Es pesa i mesura la cinta per obtenir el títol de la cinta, una dada que serà essencial en la següent operació.



Figura 32. Engranatges usats en el manual, ordenats respectivament per a cada pas

3.2.4. Filatura Open-End

El procés de filatura és du a terme a l'open-end rotor Spintester del fabricant Schlafhorst de l'INTEXTER.

La decisió de produir el fil amb aquesta metodologia, tenint en compte que el fil inicial estava filat amb filatura convencional, és deu a què:

- El procés és més ràpid, ja que es generen fils a partir de cintes, per tant, si es mira des d'un punt de vista industrialitzat, es podria reciclar més matèria en menys temps. A més s'abaratiria el cost de producció a causa de la necessitat de menys màquines i s'obtindria major valor gràcies a la producció més gran en el mateix temps.
- La filatura a rotor és adient per a fils de títols entre 14 i 90 tex, aproximadament. El fil que es vol produir ha de ser a semblança de l'inicial i aquest rang inclou el títol desitjat (27 tex). Segons V. Rohlena, els fils de 25 tex de cotó produïts en una màquina open-end tenen una major regularitat, millor regularitat de la resistència a la tensió i major resistència a l'abrasió.[32].
- El cotó seguit del polièster són les dues fibres més utilitzades en aquest tipus de filatura pel fet que l'open-end obté millors resultats amb fibres de longitud mitjana i curta. A més, les fibres reciclades solen ser de longitud menor a les verges la qual cosa dificulta el procés en filatures convencionals. La filatura a rotor és capaç de processar de manera efectiva aquestes fibres gràcies a la capacitat d'obrir i separar-les de manera eficient.

Aquesta màquina és un aparell complex amb capacitat de modular diversos òrgans per abastir a diferents tipus de fibres i finalitats diferents. Per aquest

motiu, es va fer un estudi previ de les tipologies que el fabricant de la màquina recomanava tot adherint-se al màxim a aquestes, tenint en compte que no es tenien a l'abast tots els models d'òrgans. Vegeu la *Taula 7* on es detallen les recomanacions i l'elecció real per a la filatura, i la *Figura 33* on es mostren cada un dels òrgans utilitzats.

Taula 7. Òrgans recomanats i aplicats en la filatura

Paràmetre	Recomanat	Filatura
Tipus de rotor	T BD	T 256 D
Ranura boqueta	KN 4	KN 4
Diàmetre rotor	40 / 46	56
Disgregador	S 21 DN	B 20 DN
Torque stop	Blanc	Blanc



Figura 33. Òrgans de filatura utilitzats. De esquerra a dreta: boqueta, rotor, disgregador, torque stop

També es recomanaven certes torsions per dur a terme la filatura, a continuació es presenta la *Taula 8* on s'especifiquen les aconsellades pel fabricant i les usades realment.

Taula 8. Coeficients de torsió recomanats i utilitzats en la filatura

Coeficient de torsió (α_m)	Recomanació			Filatura
	CO	PES	PES/CO 50/50%	
115		●	●	
120		●	●	
125		●	●	
130		●	●	●
135	●		●	
140	●			●
145	●			
150	●			●

La taula superior ens mostra les recomanacions enfront de les torsions finalment seleccionades. Tot i observar que la mescla de cotó-polièster recomana alfes mètriques més baixes, es va decidir treballar amb valors de 130, 140 i 150 perquè hi havia presència de fibra reciclada i, per tant, les fibres serien més curtes de l'habitual, necessitant així una torsió major per poder compactar el fil amb efectivitat.

Paral·lelament, per a procedir amb la filatura es necessiten uns paràmetres desitjats: velocitat del rotor, títol del fil produït, títol de la cinta alimentada i coeficient de torsió, per tal d'obtenir els següents valors de consigna que s'apliquen a la màquina: velocitat del rotor, velocitat d'alimentació i velocitat de producció.

El càlcul d'aquests valors consigna s'obtenen gràcies a un document Excel facilitat pel director d'aquest projecte, en Francesc Cano. En la *Taula 9* es recullen aquests paràmetres i valors consigna per a la filatura desitjada en cada percentatge de matèria reciclada.

Taula 9. Paràmetres i valors consigna en la filatura

Paràmetre	Unitats	0%			5%			10%			20%		
Velocitat rotor	rpm	45000											
Títol fil produït	tex	27											
Títol cinta	tex	4500			3708			3465			3736		
Coef. de torsió	α_m	130	140	150	130	140	150	130	140	150	130	140	150
Consigna vel. rotor	-	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456
Consigna vel. alimentació	-	35	33	31	42	39	37	45	42	39	42	39	37
Consigna vel. producció	-	211	196	183	211	196	183	211	196	183	211	196	183

Per comprendre aquest procés es necessita conèixer uns paràmetres rellevants com l'estiratge, la velocitat d'alimentació i producció i la torsió (es troben en la *Taula 11*). Obtenim aquestes dades amb les equacions de la *Taula 10*.

Taula 10. Equacions per al càlcul de paràmetres de la open-end

$E_{real} = \frac{tex_{entrada}}{tex_{sortida}}$	$VPM = \alpha_m \cdot \sqrt{Nm}$
Suposant que: $E_{real} = E_{mecànic} = \frac{Vel. lineal_{prod}}{Vel. lineal_{ali}}$	Conversió Nm \rightarrow tex: $\frac{tex}{1000} = \frac{1}{Nm}$
On: <ul style="list-style-type: none"> - E_{real} = estiratge real - $E_{mecànic}$ = estiratge mecànic - $tex_{entrada}$ = títol cinta [tex] 	On: <ul style="list-style-type: none"> - VPM = torsió [voltes per metre] - α_m = coeficient de torsió - Nm = Número mètric

<ul style="list-style-type: none"> - $tex_{sortida}$ = títol fil [tex] - $Vel. lineal_{ali}$ = Velocitat lineal alimentació [m/min] - $Vel. lineal_{prod}$ = Velocitat lineal producció [m/min] 	<ul style="list-style-type: none"> - tex = títol fil [tex]
---	--

Taula 11. Paràmetres de la open-end

Paràmetres	Unitats	0%			5%			10%			20%		
		130	140	150	130	140	150	130	140	150	130	140	150
Estiratge	-	166,7			137,3			128,3			138,4		
Vel. Producció	m/min	56,9	52,8	49,3	56,9	52,8	49,3	56,9	52,8	49,3	56,9	52,8	49,3
Vel. Alimentació	m/min	0,34	0,32	0,30	0,41	0,38	0,36	0,44	0,41	0,38	0,41	0,38	0,36
Torsió	voltes/m	791,2	852,0	912,9	791,2	852,0	912,9	791,2	852,0	912,9	791,2	852,0	912,9

Es procedeix a la filatura amb unes consignes establertes i una cinta qualsevol, quan s'ha aconseguit filar, es canvien a poc a poc les consignes introduint les desitjades (Taula 11) i s'enllaça la cinta desitjada. En enllaçar es col·loca cinta d'un color vibrant per saber on hi ha la transició de matèria.

En finalitzar s'obtenen les 12 bobines de fil amb els tres valors de torsió i les quatre quantitats de fibra reciclada.

3.2.5. Caracterització fil resultant

Per la caracterització els fils obtinguts de tot el procés de filatura, es van determinar els següents paràmetres: el títol i les propietats de tracció. El paràmetre de la torsió no s'avalua, ja que s'obté en el procés de la filatura.

Com que la caracterització inicial es va realitzar a un teixit i aquesta posterior es realitza a un fil hi ha uns quants assaigs que no s'han pogut dur a terme.

3.2.5.1. Numeració del fil

En aquesta ocasió el títol l'obtidrem gràcies a l'aspe, un aparell que permet reunir una quantitat desitjada de fil per posteriorment obtenir el pes de la madeixa i resultar amb la numeració del fil. Es reuneixen 50 metres de cada bobina i es pesen en una balança elèctrica Mettler PC-400 de precisió 0,01 g, es fa únicament una mesura a causa de la poca quantitat de fil produït, vegeu la Figura 34.



Figura 34. Madeixes de fil recollides en l'aspe

A la normativa *UNE 40600-5 – Textiles. Tejidos. Construcción. Métodos de análisis. Parte 5: Determinación de la densidad lineal (número o título) de los hilos de un tejido* es descriuen els procediments i requisits per a aquesta metodologia d'obtenció de la numeració del fil. En aquest assaig, excepcionalment, no es condicionen les mostres prèviament.

3.2.5.2. Resistència a la tracció

L'assaig de tracció es du a terme novament amb el dinamòmetre automàtic STATIMAT ME de l'INTEXTER, però es procedeix distintament.

Donat que el format és en bobina, la maquinària es pot automatitzar de manera que les pròpies mordaces en acabar l'assaig es troben en el punt superior per a recollir més fil i realitzar les següents mostres. Per a iniciar el procés es col·loca la bobina en la fileta posterior i es fa passar el fil a través de la mordassa superior i inferior i s'acciona l'inici de l'assaig. Així doncs, s'estira el fil fins a la ruptura recopilant la paramètrica en l'ordinador.

S'analitzen 25 mostres de fil de totes les variants de percentatges de matèria reciclada i coeficient de torsió. La *Taula 2* de l'apartat *Resistència a la tracció – Caracterització del teixit i del fil (residu)* mostra els paràmetres assignats a l'aparell. Òbviament, aquests no varien perquè han de ser resultats comparables entre si.

4. Resultats i anàlisi

4.1. Caracterització del teixit i fil (residu)

A continuació, es presenten els resultats de la caracterització dels teixits en un format de fitxa tècnica. Incloent ambdós teixits per poder analitzar si efectivament es tracta del mateix format en diferent tonalitat.

Fitxa tècnica

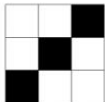
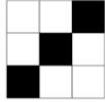


		Teixit Blau Cel	Teixit Blau Marí
Ample acabat:		160 cm	160 cm
Numeració del fil:		27 tex	27 tex
Lligament:		b1,2 2e1 	b1,2 2e1 
Gruix:		0,6 mm	0,6 mm
Densitat de fils	Ordit:	46 fils/cm	46 fils/cm
	Trama:	24 passades/cm	24 passades/cm
Composició	Qualitativa:		
	Quantitativa:	65% PES 35% CO	65% PES 35% CO
Massa laminar:		189 g/m ²	184 g/m ²
Tipus de filatura:		Convencional	Convencional
Torsió:		638 voltes per metre	631 voltes per metre
		105 α _m	104 α _m

Figura 35. Fitxa tècnica (teixits residu)

La Figura 35, verifica la suposició de què els dos teixits són anàlegs. La desviació en paràmetres com la massa laminar i la torsió són ínfims i es poden deure a l'error humà en l'assaig o la transcripció o a la mateixa variabilitat del fil produït.

Com podem comprovar, fins a aquest punt la caracterització afirma que fils d'ordit i trama són els mateixos, ja que tenen el mateix títol, torsió i en analitzar amb el microscopi també s'aprecia que ambdós tenen la mateixa composició des d'un punt de vista qualitatiu. En la *Figura 36* es presenta la informació anomenada representant un fil de trama i ordit del teixit blau cel i blau marí.



Figura 36. Composició dels fils d'ordit (esquerra) i de trama (dreta) dels teixits blau marí (superiors) i blau cel (inferiors)

Com mostra la *Figura 36*, la totalitat dels fils analitzats contenen una presència de cotó i una fibra sintètica gràcies a la circularitat i regularitat del seu diàmetre. Es va suposar que es tractava de PES, ja que és la combinació més habitual i usada en els últims temps i posteriorment, l'anàlisi quantitativa ens va verificar que es tractava d'aquesta fibra degut a que no el va afectar l'àcid sulfúric.

Taula 12. Resultats de l'assaig quantitatiu de la composició

	BC1	BC2	BM1	BM2
<i>(B)Pesa substàncies (g)</i>	45,4573	42,0271	41,256	42,1767
<i>(A)Pesa substàncies + mostra (g)</i>	46,4764	43,0405	42,3072	43,1835
Mostra seca inicial (g)	1,0191	1,0134	1,0512	1,0068

(C)Gresol + mostra (g)	29,9201	29,3026	32,3304	29,2398
(D)Gresol (g)	29,2509	28,6467	31,6415	28,587
Mostra resultant de PES (g)	0,6692	0,6559	0,6889	0,6528
% de PES	65,7%	64,7%	65,5%	64,8%
Mitjana % PES	65%		65%	
% de CO	34,3%	35,3%	34,5%	35,2%
Mitjana % CO	35%		35%	

En la *Taula 12* es mostren en detall els gramatges mesurats i els càlculs entre aquestes dades, per l'obtenció dels percentatges corresponents a cada teixit, és a dir, la composició quantitativa. S'observa una mínima variabilitat en els percentatges resultants que novament es deuen a errors humans de manipulació, mesura o transcripció.

4.1.1. Propietats de tracció

Per a l'anàlisi de les propietats de tracció dels fils inicials, es van assajar 10 provetes de cada teixit i d'ordit i trama, respectivament.

En la *Taula 13* es presenta de manera resumida la mitjana dels resultats de l'assaig de tracció dels fils d'ordit del teixit blau cel i les seves corresponents avaluacions estadístiques. S'observa que els paràmetres de la força i el treball tenen una considerable dispersió entre mostreig, tal com s'observa en els seus elevats valors de desviació típica.

Taula 13. Propietats de tracció i estadística. Teixit BC ordit

	Blau Cel Ordit					
	X	S	CV	Q (95%)	MIN	MAX
Allargament	8,76 %	0,84	9,56	0,53	7,43	9,79
Força	440,66 cN	39,53	8,97	25,00	354,70	479,77
Treball	1069,82 cN·cm	193,04	18,04	122,09	712,60	1285,07
Tenacitat	15,97 cN/tex	1,42	8,87	0,90	12,93	17,43
Títol	27,60 tex					
Temps	5,94 sec	0,63	10,68	0,40	4,78	6,76

La següent *Taula 14* mostra els valors dels fils de trama del teixit blau cel on s'observa novament l'alta disparitat en la força i el treball, ja que com es pot apreciar en els màxims i els mínims hi ha una gran dispersió.

Taula 14. Propietats de tracció i estadística. Teixit BC trama

	Blau Cel Trama					
	X	S	CV	Q (95%)	MIN	MAX
Allargament	10,71 %	1,19	11,15	0,76	8,69	12,43
Força	442,04 cN	68,01	15,39	43,02	351,91	548,12

<i>Treball</i>	1246,66 cN·cm	324,33	26,02	205,13	818,63	1788,63
<i>Tenacitat</i>	16,50 cN/tex	2,54	15,39	1,61	13,13	20,45
<i>Títol</i>	26,80 tex					
<i>Temps</i>	6,98 sec	0,78	11,11	0,49	5,77	7,97

Repetidament, en les *Taules 15 i 16* s'observa una major disparitat en els paràmetres de la força i el treball. Així doncs, en observar aquesta ocurrència reiteradament podem concloure que no és una alerta de rellevància sinó que es deu a la irregularitat dels fils i a l'error humà en la manipulació.

Taula 15. Propietats de tracció i estadística. Teixit BM ordit

Blau Marí Ordit						
	X	S	CV	Q (95%)	MIN	MAX
<i>Allargament</i>	7,89 %	0,69	8,69	0,43	6,79	8,96
<i>Força</i>	467,94 cN	22,80	4,87	14,42	424,70	503,44
<i>Treball</i>	1066,37 cN·cm	141,02	13,22	89,19	837,95	1283,17
<i>Tenacitat</i>	17,03 cN/tex	0,83	4,88	0,53	15,44	18,34
<i>Títol</i>	27,50 tex					
<i>Temps</i>	5,21 sec	0,66	12,58	0,41	4,23	6,10

Taula 16. Propietats de tracció i estadística. Teixit BM trama

Blau Marí Trama						
	X	S	CV	Q (95%)	MIN	MAX
<i>Allargament</i>	10,87 %	1,11	10,24	0,70	9,34	12,56
<i>Força</i>	456,22 cN	35,04	7,68	22,16	405,08	507,61
<i>Treball</i>	1256,41 cN·cm	227,35	18,10	143,79	918,54	1582,39
<i>Tenacitat</i>	16,72 cN/tex	1,29	7,70	0,81	14,84	18,59
<i>Títol</i>	27,30 tex					
<i>Temps</i>	7,25 sec	0,94	12,96	0,59	5,77	8,30

Conjuntament amb els resultats de les taules anteriors també obtenim els diagrames de força-allargament a partir de l'aparell. La importància d'aquestes corbes és major, ja que descriu el comportament del fil des del valor zero de la càrrega i l'allargament fins al punt de ruptura.

Les *Figures 37, 38, 39 i 40* mostren aquests diagrames que efectivament coincideixen amb les corbes típiques dels fils amb mescla de cotó i fibres sintètiques. La relació entre la força i l'allargament no és lineal per culpa de la influència de les fibres de polièster i el PES presenta una desviació de la linealitat per allargaments baixos, la presència d'aquesta fibra en el fil ens provoca observar aquesta situació en els diagrames inferiors.

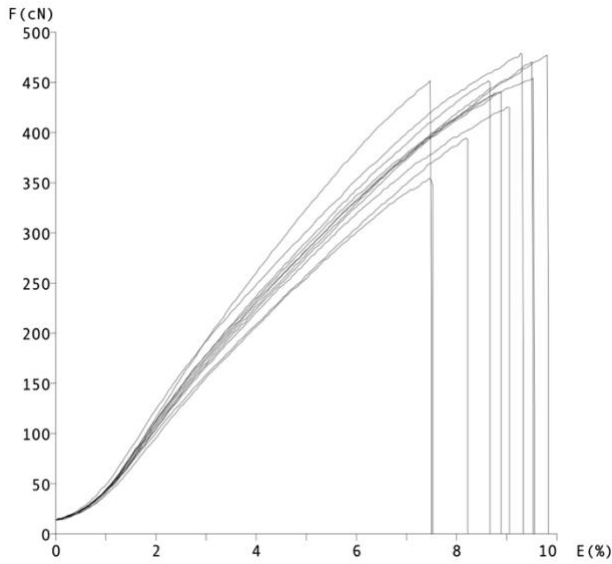


Figura 37. Diagrama Força/Allargament. Teixit BC ordit

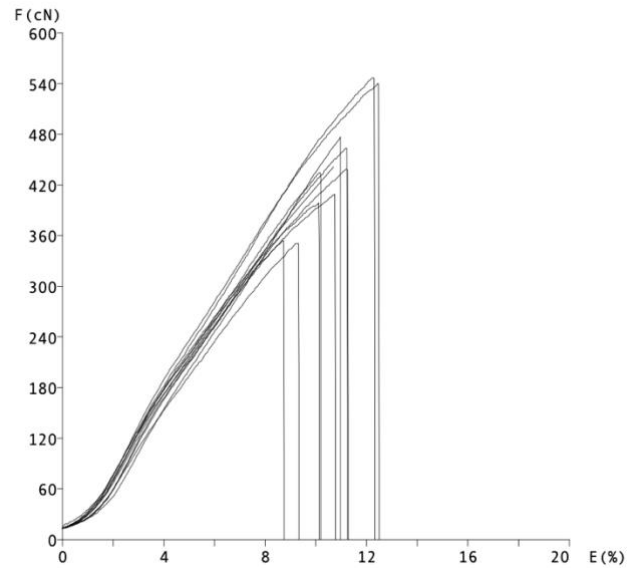


Figura 38. Diagrama Força/Allargament. Teixit BC trama

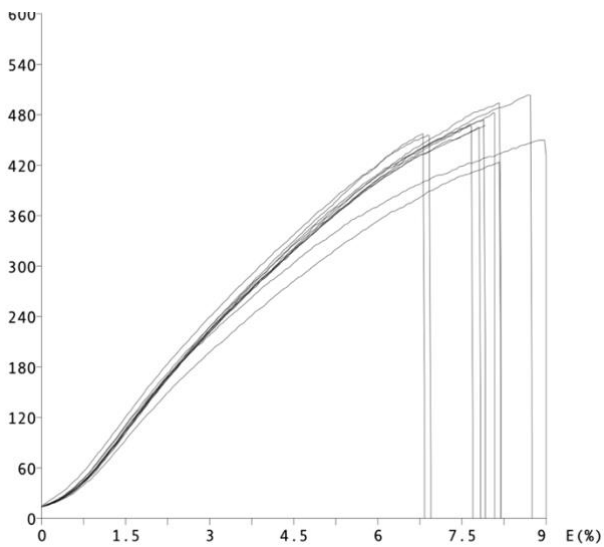


Figura 39. Diagrama Força/Allargament. Teixit BM ordit

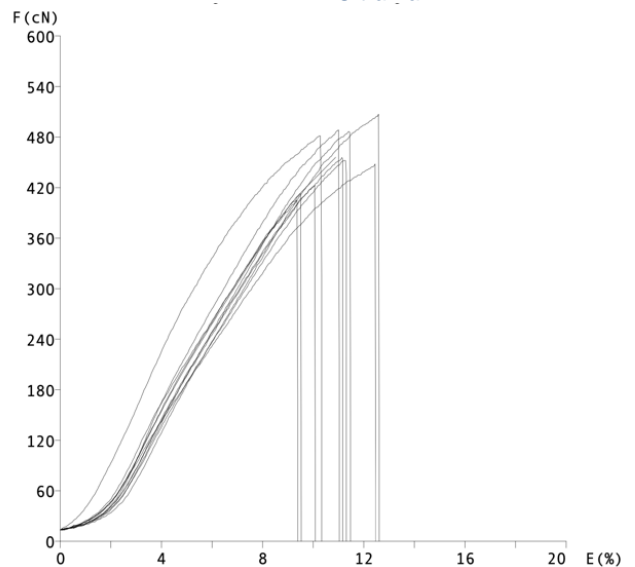


Figura 40. Diagrama Força/Allargament. Teixit BM trama

Referenciant la *Taula 17*, es presenta la comparativa entre els valors mitjans habituals per a mesclades de cotó-polièster segons Fidel Lockuan [26] contra els valors obtinguts.

Taula 17. Valors de les propietats mecàniques mitjanes (CO/PES) i obtingudes en l'assaig.

	Unitats	Valors mitjans	Blau cel Ordit	Blau cel Trama	Blau marí Ordit	Blau marí Trama
Allargament	%	10-30	8,76	10,71	7,89	10,87
Tenacitat	cN/tex	15-25	15,97	16,50	17,03	16,72
Títol	tex	-	27,60	26,80	27,50	27,30

Aquesta confrontació permet establir que el fil inicial se situa dins els valors freqüents de tenacitat però no dins els cabals de l'allargament en el cas de l'ordit.

Tots els paràmetres obtinguts se situen molt propers als límits inferiors dels paràmetres habituals, concloent així en quèes tracta d'un fil menys resistent i amb menys capacitat d'elongació que l'usual en un fil de cotó-polièster.

Paral·lelament, aquesta confrontació de valors entre teixits i direccionalitats dels fils en deixa entreveure un fet que es desenvolupa en la següent *Figura 41*.

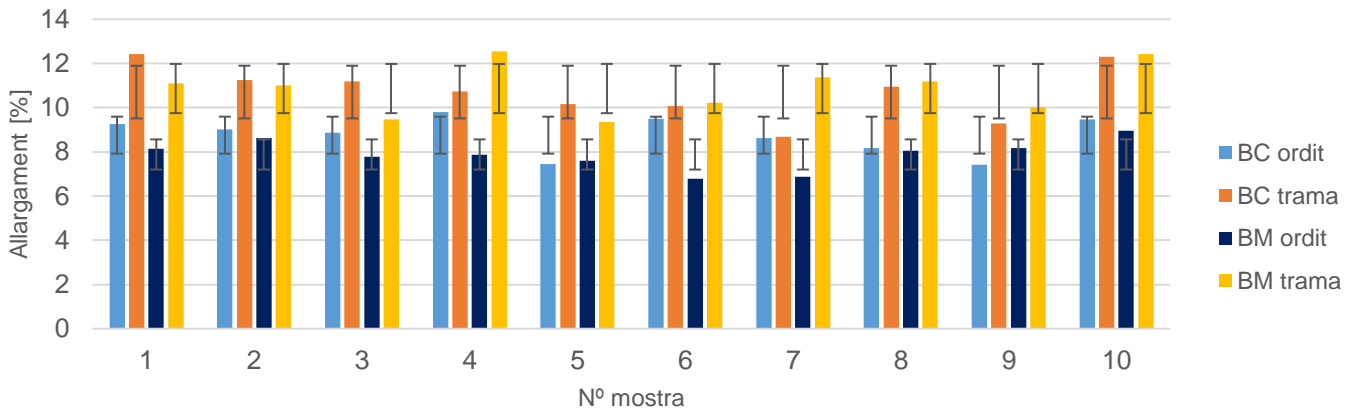


Figura 41. Gràfic comparatiu dels valors d'allargament

En aquesta gràfica observem que la trama d'ambdós teixits (tenint en compte la totalitat de les mostres) presenta un percentatge d'allargament major al de l'ordit. Aquest fenomen és anòmal, ja que, generalment, en els teixits de calada els fils d'ordit requereixen una major elongació i més alta resistència que els fils de trama, per les majors forces de tracció i flexió que han de suportar. Però es justifica arrelant a l'afirmació de què es tracta d'un mateix fil per ambdues direccions, i que el menor allargament en l'ordit es pot donar arran de què el fil ja ha estat en tensió durant el procés de teixedoria, per l'acció d'estar enrotllat i tensat cosa que pot estirar i estabilitzar el fil, disminuint així el % d'allargament. Per tant, els fils ja s'assagen des d'un estat que prèviament ha suportat un allargament.

Resumint per a la futura comparació amb les dinamòmetries dels fils realitzats a partir d'aquest teixit, obtenim que l'allargament dels fils està entre [7,89 - 10,87] % i la tenacitat resideix entre [15,97 - 17,03] cN/tex, tot tenint en compte que hi ha variabilitats en el títol, però que són tan ínfimes que no tenen capacitat d'afectar si s'avaluen conjuntament. Finalment, la força i el treball no seran rellevants en la comparativa degut a que estan relacionats de manera directa a la càrrega i a l'allargament de la mostra, per tant, ja es reflecteix en altres paràmetres.

4.2. Obtenció del fil

4.2.1. Triturat

En la *Taula 18* s'expressa la pèrdua de matèria respecte la matèria prèviament introduïda, en cada pas de triturat del procés del diable.

Taula 18. Pèrdua de massa en el procés de triturat

	Inicial	1r pas	2n pas	2n pas a 3r	3r pas
Pes [g]	1254,00	1228,00	1194,00	781,00	695,00
Retorn rebutjat [g]		2,00	21,00		10,00
% de pèrdua		2%	3%		12%
% de matèria usada per al tercer pas				53%	

S'observa que la pèrdua de massa entre passos augmenta a mesura que succeeixen aquests. Això és degut al desgast progressiu del material, la reducció de la mesura de les fibres per l'acció mecànica pot fer que el material es perdi en forma de petites partícules i pols; amés, de dificultar el procés d'extracció en disminuir la longitud de les fibres.

Tot i aquesta pèrdua, l'ideal seria poder filar amb únicament dos passos de diable, però únicament amb aquestes dues passades la matèria no quedava completa i uniformement triturada. Per tant, se sacrifica aquesta pèrdua de matèria major per poder realitzar una filatura de millor qualitat, resistència, evitant problemes tècnics de la maquinària.

4.2.2. Carda

Seguidament, es presenta la *Taula 19* on es mostren les pèrdues de massa entre passos i total del procés de cardat. Les dades es mostren en funció de les quatre tipologies de vel, és a dir, depenent de la quantitat de matèria reciclada.

Taula 19. Pèrdua de massa en el procés de cardat

	Pèrdua de massa en el primer pas	Pèrdua de massa en el segon pas	Pèrdua total
0% residu tèxtil	2,15%	1,64%	3,83%
5% residu tèxtil	2,17%	1,87%	4,08%
10% residu tèxtil	2,80%	2,52%	5,38%
20% residu tèxtil	3,18%	2,63%	5,89%

S'aprecia que, com major és el percentatge de fibres de residu tèxtil, major és la pèrdua de massa en cada pas de la carda. També s'observa un major augment entre el 5% de residu i el 10% que es tindrà en compte posteriorment.

En aquesta taula es mostra com el primer pas de carda elimina major part de la massa, això és degut a que aquest separa i alinea les fibres, eliminant impureses. En canvi, el segon pas continua tenint la mateixa funció que el primer, però se centra més en uniformitzar els vels.

4.2.3. Manuar

Pel que fa a l'operació del manuar, no es pot presentar una taula amb les respectives pèrdues en cada percentatge de fibres de residu tèxtil, ja que es

tracta d'un procés molt manual en el que es perd molta matèria degut a la manipulació. Per exemple, quan s'introdueix la cinta en el condensador es necessita força pràctica per fer-ho a la primera, per tant, es perd part de la massa intentant-ho.

4.3. Caracterització del fil resultant

4.3.1. Numeració del fil

A partir de les mesures del títol fent ús de la normativa UNE 40600-5 es va obtenir la següent *Taula 20* de resultats.

Taula 20. Títols dels fils resultants

	0%	5%	10%	20%
130 α_m	22,2 tex	25,4 tex	24,0 tex	24,2 tex
140 α_m	23,4 tex	26,6 tex	25,0 tex	24,8 tex
150 α_m	24,2 tex	26,6 tex	23,8 tex	23,8 tex

S'observa una dispersió de resultats entre els títols tant des de la comparativa de percentatges com de torsió. Això és degut a la irregularitat dels fils per l'acció de la matèria reciclada. La desviació estàndard del conjunt és d'1,27, un valor relativament baix que ens permet obviar la disparitat entre ells en les futures caracteritzacions, per a poder comparar objectivament els paràmetres de tracció.

Altrament, s'aprecia una considerable disparitat en funció del títol desitjat introduït a l'open-end de 27 tex. Per aquest motiu es realitza aquesta comprovació del títol, ja que la maquinària no proporciona un fil en exactitud de títol desitjat, obtenint així un valor de títol de $24,4 \pm 2,2$ tex.

4.3.2. Propietats de tracció fil resultant

Per dur a terme la caracterització de les propietats de tracció del fil resultant es van assajar 25 mostres de fil per cada variable. Es distribuirà aquest apartat en dues divisions on primerament, s'analitzaran les dades des del punt de vista de la quantitat de matèria reciclada i seguidament s'examinaran en funció del coeficient de torsió.

4.3.2.1. En funció del % de matèria reciclada

- 0%

A continuació, la *Figura 42* mostra el punt de torsió saturant, a partir de la qual la torsió i la resistència deixen de tenir una proporcionalitat directa i en l'augment de la torsió la tenacitat del fil disminueix, degut a l'acumulació de tensions internes. Es consideraria doncs que la torsió ideal per a la matèria verge és d'un coeficient de torsió de 130, és a dir, la que es troba en la zona de la torsió

industrial. Fent ús de l'equació de la *Taula 10* obtenim una torsió de 832 voltes per metre.

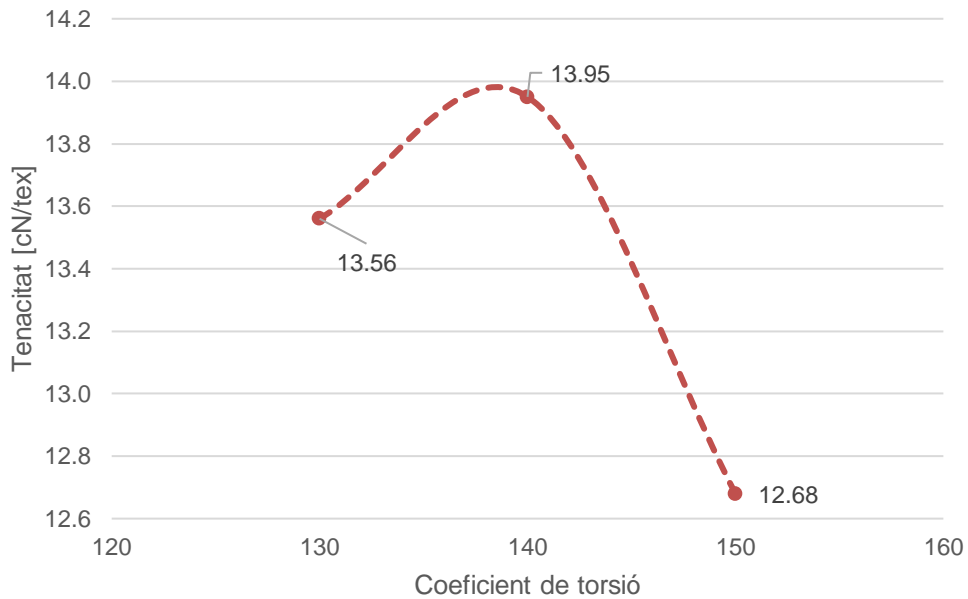


Figura 42. Tenacitat/coeficient de torsió del fil amb matèria verge

En relació amb l'allargament de ruptura (*Figura 43*), s'aprecia que en augmentar el coeficient de torsió del fil augmenta l'allargament de ruptura a causa de la major compactació de fibres per metre.

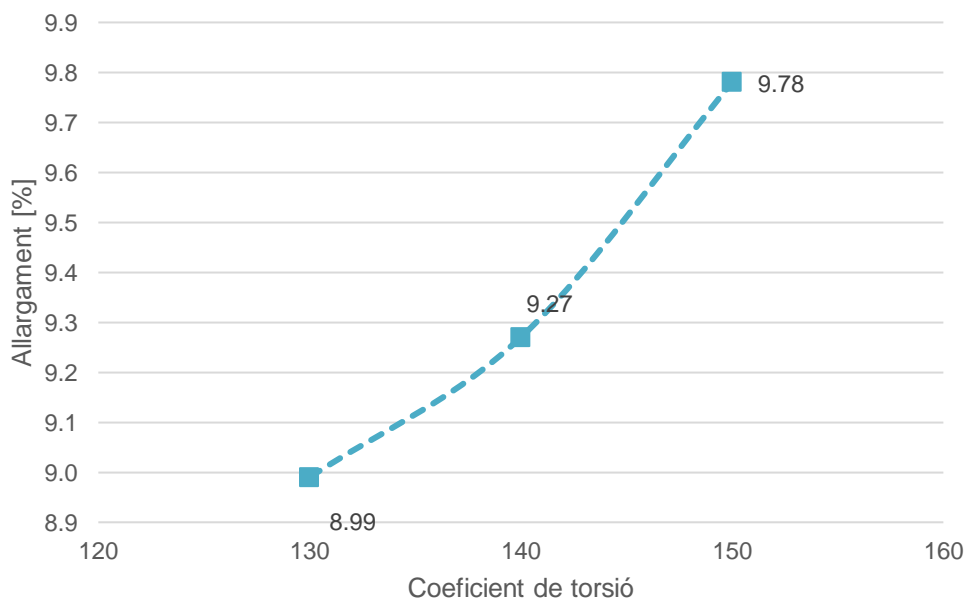


Figura 43. Allargament/coeficient de torsió del fil amb matèria verge

Concloïem l'anàlisi del comportament de la matèria verge utilitzada, amb l'observació que no es pot utilitzar un coeficient igual o major a 140 perquè la corba de la tenacitat on s'aprecia que aquest coeficient es troba després de la torsió saturant. Així doncs, tot i saber que l'allargament augmenta de manera

proporcional a la torsió s'ha de conformar amb el menor allargament, és a dir, el coeficient adequat per aquest fil seria de 130.

- **5%**

Seguidament, la *Figura 45* mostra el desenvolupament de la tenacitat en funció del coeficient mètric de torsió, en produir un fil amb el 5% de matèria reciclada. S'aprecia com l'evolució no segueix la corba habitual de torsió-tenacitat (*Figura 44*).

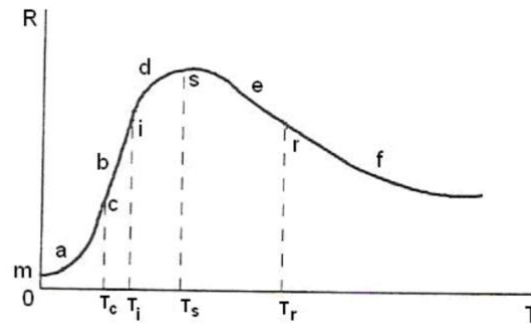


Figura 44. Corba torsió-resistència [26]

Els diagrames amb matèria reciclada és habitual que no segueixin la regressió habitual per culpa del triturat el qual no és suficient per homogeneïtzar completament la borra, a més de la quantitat d'impureses presents en el material reciclat que poden influir directament en les propietats mecàniques. En aquesta ocasió, a més, la breu variabilitat del títol també influeix directament. Per tant, obtenim valors quelcom dispersos, però considerant les causes anteriors no resulten tant dispars, tot i que els valors limitants de l'ordenada ho incrementen visualment.

Analitzant la gràfica conclouem que la tenacitat és major quan el coeficient és menor. Amb la justificació anterior se suposa que la gràfica real seria una corba descendent i, per tant, observariem la zona de torsió saturant. L'elecció adient dels tres coeficients seria doncs de 130.

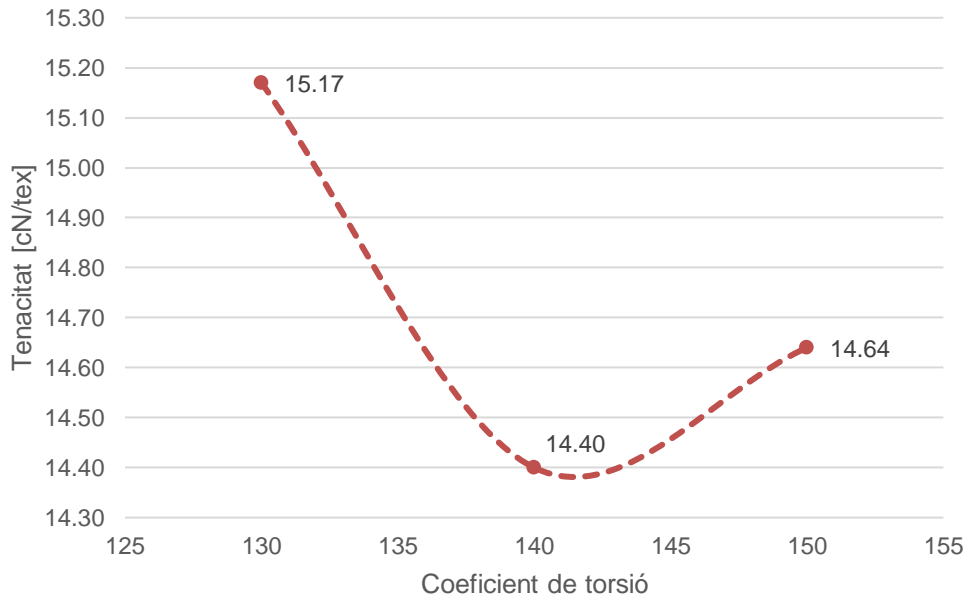


Figura 45. Tenacitat/coeficient de torsió del fil amb 5% matèria reciclada

Continuant amb la *Figura 46*, observem que l'allargament de ruptura també progressa inusualment. La irregularitat del fil comentada pot provocar aquests resultats que disten de poques dècimes.

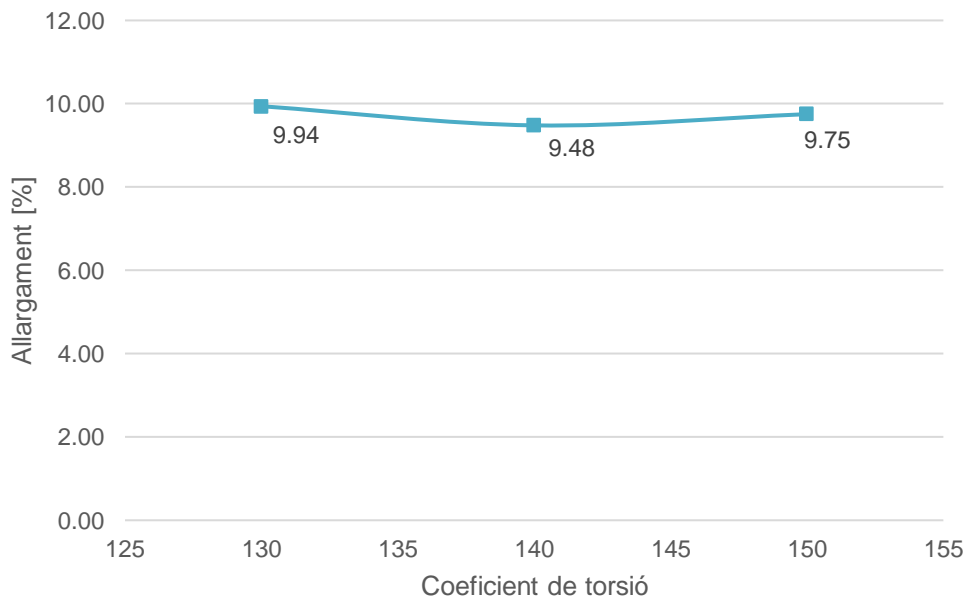


Figura 46. Allargament/coeficient de torsió del fil amb 5% matèria reciclada

Novament, el coeficient de torsió mètric de 130 obté el millor resultat d'allargament a la ruptura, per tant, resulta en la millor alternativa.

- **10%**

La *Figura 47* mostra la gràfica de la tenacitat dels fils amb 10% de matèria reciclada. Observem de nou una anomalia en la gràfica, ja que no conforma cap part de la corba habitual (*Figura 44*).

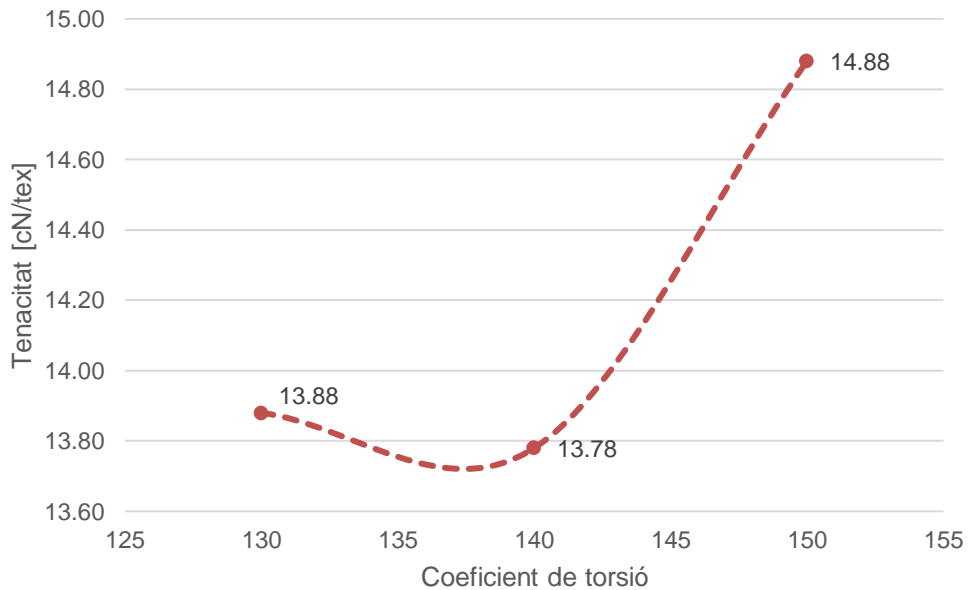


Figura 47. Tenacitat/coeficient de torsió del fil amb 10% matèria reciclada

Gràcies a la *Figura 48* on trobem el coeficient de torsió en funció de la resistència, observem que aquesta anomalia es deu a la variabilitat en el títol que es deu a la irregularitat en la producció del fil per la prèvia trituració.

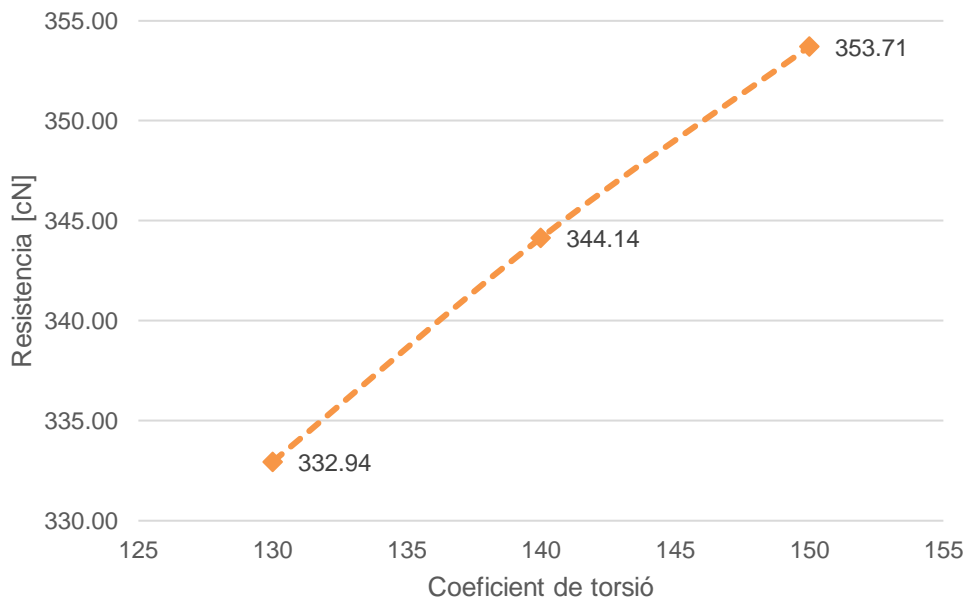


Figura 48. Resistència/coeficient de torsió del fil amb 10% matèria reciclada

Per tant, el coeficient més adequat per al 10% de matèria reciclada és el de 150, contràriament a les situacions anteriors. Seguidament, amb la gràfica de l'allargament (*Figura 49*) observem que el coeficient adequat obté el menor

resultat d'allargament, contràriament al progrés usual. Tot i això, es considera una mesura acceptable i dins els límits habituals.

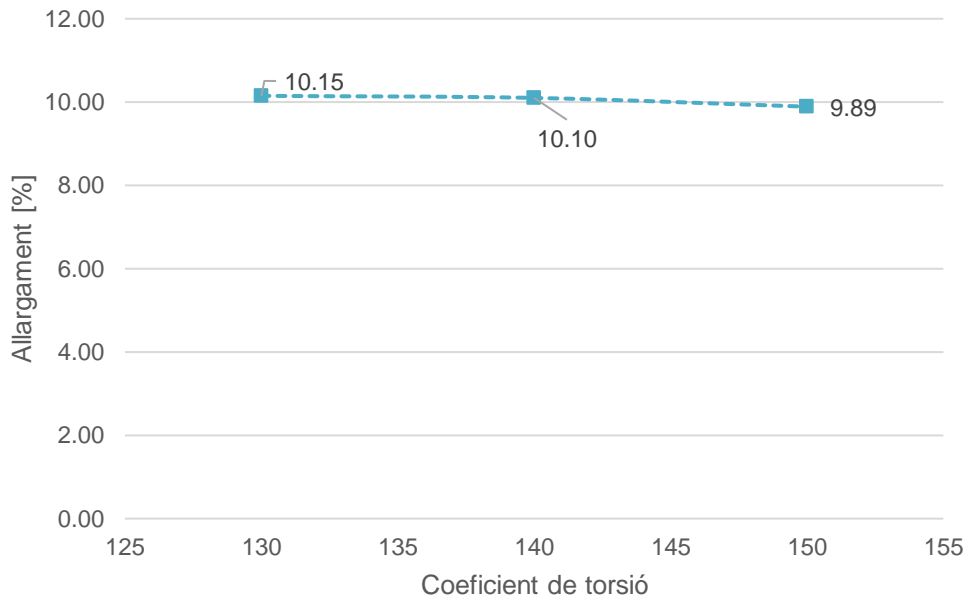


Figura 49. Allargament/coeficient de torsió del fil amb 10% matèria reciclada

- **20%**

La gràfica de la tenacitat amb un 20% de contingut de matèria reciclada evidencia de nou un comportament anòmal (Figura 50). S'aprecia un pic inferior molt marcat en el 140 α_m el qual té una desviació estàndard d'1,65, el valor més alt de tots els assaigs. Per aquest motiu i per culpa de la irregularitat dels fils suposem que es tractava d'una corba descendent posterior a la torsió saturant.

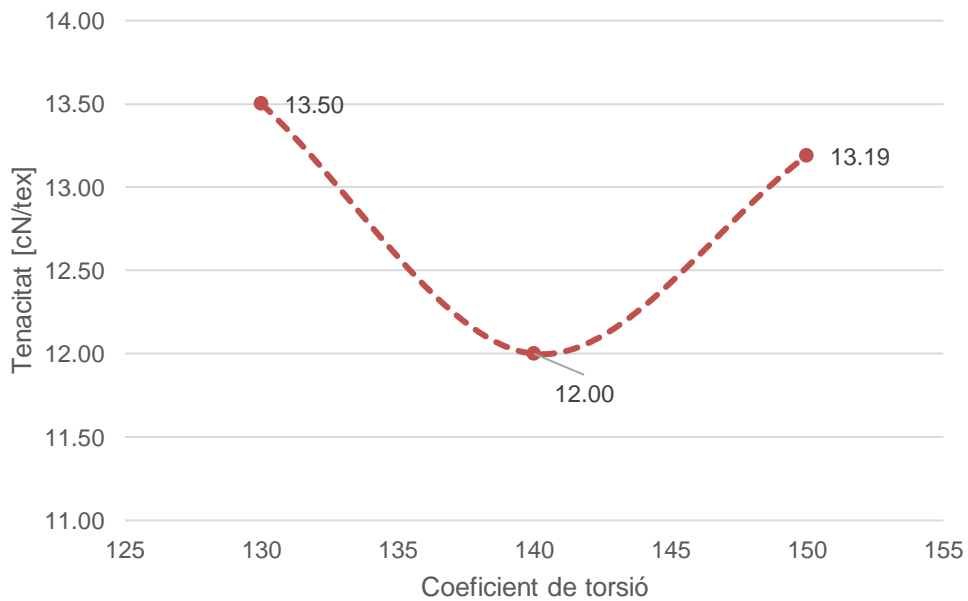


Figura 50. Tenacitat/coeficient de torsió del fil amb 20% matèria reciclada

Consegüentment, la torsió adequada entre les provades seria de 130 α_m . Però si tenim en compte la suposició de què es tracta d'una corba descendent s'haurien de realitzar coeficients menors per trobar la zona de la cobra prèvia a la torsió saturant. Trobant així la torsió ideal per a la producció dels fils.

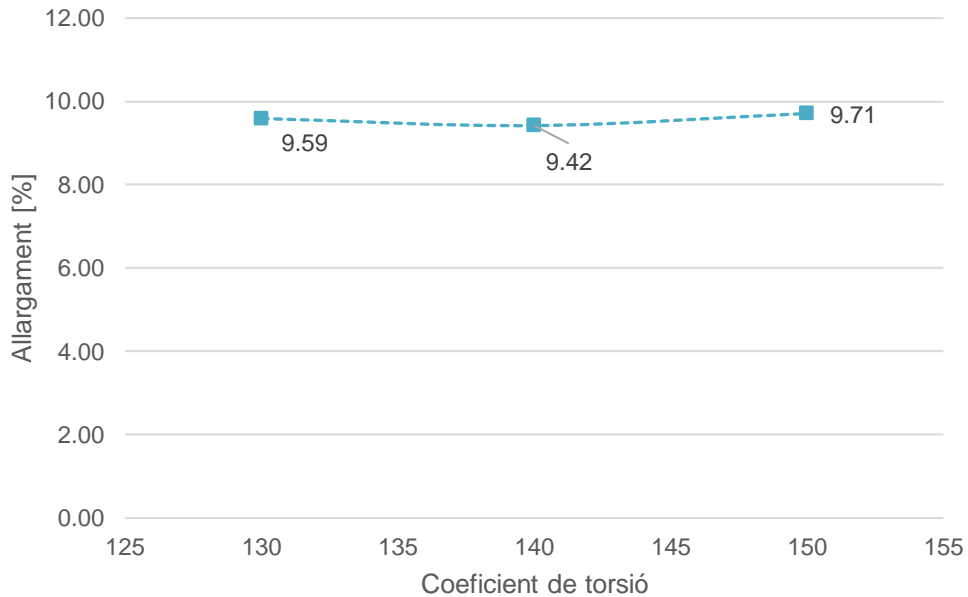


Figura 51. Allargament/coeficient de torsió del fil amb 20% matèria reciclada

El coeficient elegit anteriorment, obté un valor de 9,59% d'allargament una mesura semblant a les obtingudes en altres percentatges de matèria reciclada (*Figura 51*). Cal destacar altra vegada, que l'habitual és una recta ascendent i en aquest cas el coeficient de 140 altera aquesta assiduitat probablement pel mateix motiu que l'altera en la grafica de la tenacitat.

4.3.2.1.1. Comparativa entre percentatges

Es contrasten els valors de tots els percentatges en la *Figura 52*, on els valors destacats en l'apartat anterior estan ressaltats amb un marcador rodó.

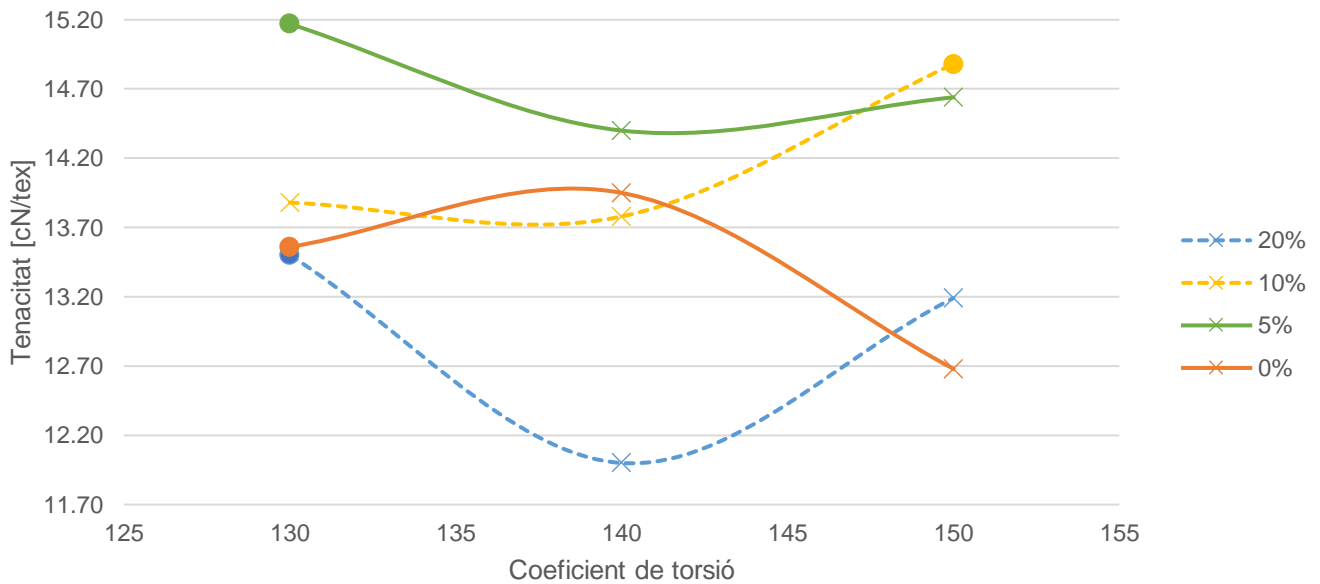


Figura 52. Tenacitat/coeficient de torsió del fil en funció del percentatge de matèria reciclada

S'observa amb claredat que els dos valors més prominents són els del 10% i 5%, a més la regressió del 20% de matèria reciclada queda certament per sota d'ambdós altres percentatges. Així doncs, tot i ser el màxim percentatge i evidentment el més interessant des del punt de vista del reciclatge no resulta tan efectiu.

Paral·lelament, cal fer referència a la corba del fil conformat per la matèria verge, ja que s'aprecia com aquesta se situa a baix d'una de les corbes amb matèria reciclada. Aquest fet ens permet afirmar que la fibra usada per a mesclar era de menor qualitat que la fibra usada per constituir el fil posteriorment triturat. Tenint en compte que aquest fet incapacitarà el fil resultant a obtenir les mateixes capacitats tècniques que el fil inicial.

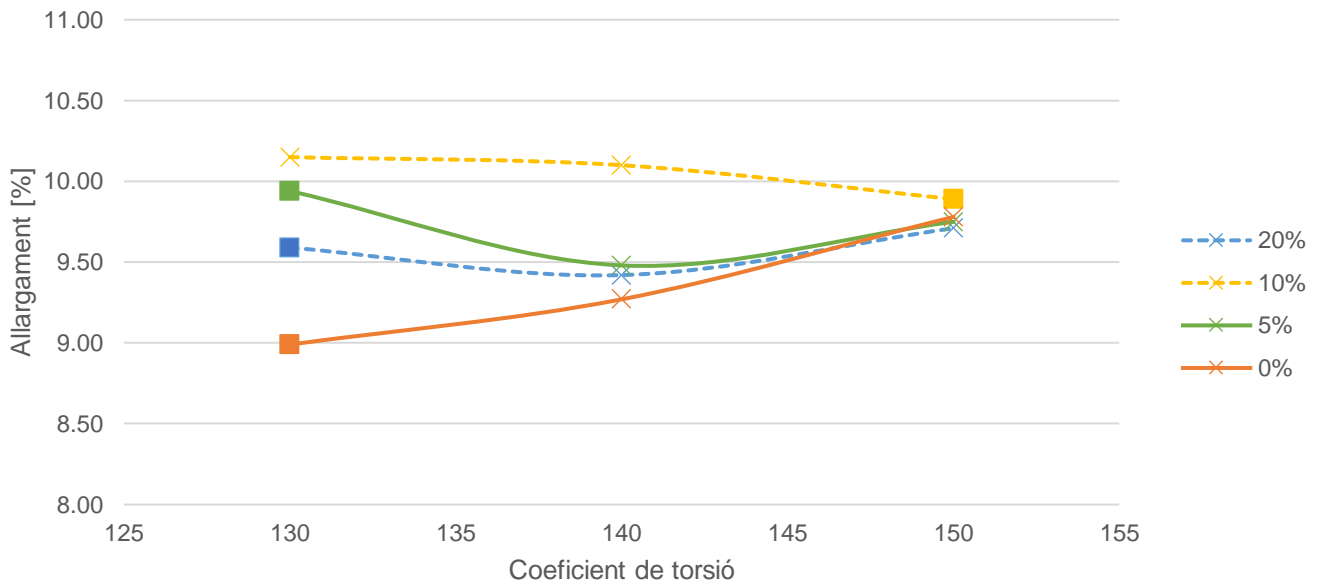


Figura 53. Allargament/coeficient de torsió del fil en funció del percentatge de matèria reciclada

Pel que a l'allargament es refereix, s'aprecia poca variabilitat entre tots els resultats coincidint inclús molts d'ells (Figura 53). A similitud de la gràfica anterior, en aquesta els valors destacats anteriorment es ressalten amb un marcador quadrat. Gràcies a això s'observa que novament els dos marcadors amb millors resultats en aquest cas l'allargament són el 5 i 10%.

4.3.2.2. En funció del coeficient mètric de torsió

La Figura 54 mostra el desenvolupament de la tenacitat dels tres coeficients en cada % de residu estudiat. S'observa que les tres torsions segueixen una corba semblant amb un únic màxim. Aquests màxims coincideixen amb els valors ideals elegits anteriorment, exceptuant en el 0% on ja s'ha especificat el motiu d'elecció del $130 \alpha_m$.

Per tant, gràcies a la confrontació dels valors observem que els dos pics que més destaquen són; 5% residu en el fil amb torsió de $130 \alpha_m$ i 10% residu en el fil amb torsió de $150 \alpha_m$.

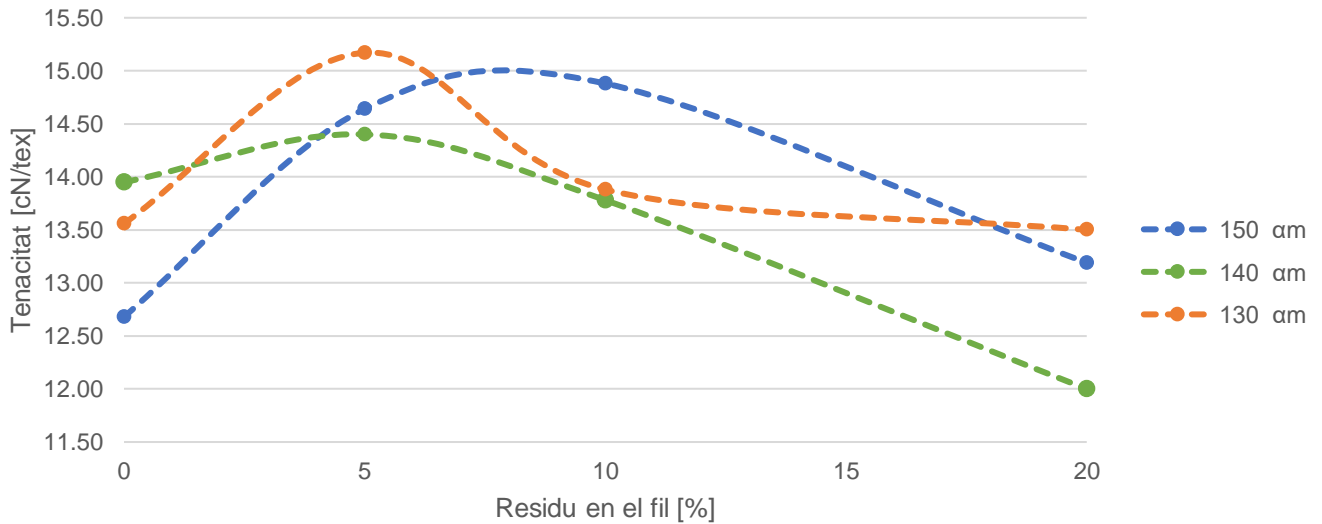


Figura 54. Tenacitat/% de residu en el fil en funció del percentatge del coeficient de torsió

En relació amb l'allargament de la Figura 55, s'observa que les tres variables són relativament lineals i homogènies entre si. Per aquest fet, s'opta per prioritzar l'elecció en la tenacitat, ja que en l'elongació tots els valors es contenen entre aproximadament els mateixos valors.

Consegüentment, els valors elegits són novament (5% residu, 130 α_m) i (10% residu, 150 α_m), que corresponen al quart i tercer valor d'allargament més alts, respectivament.

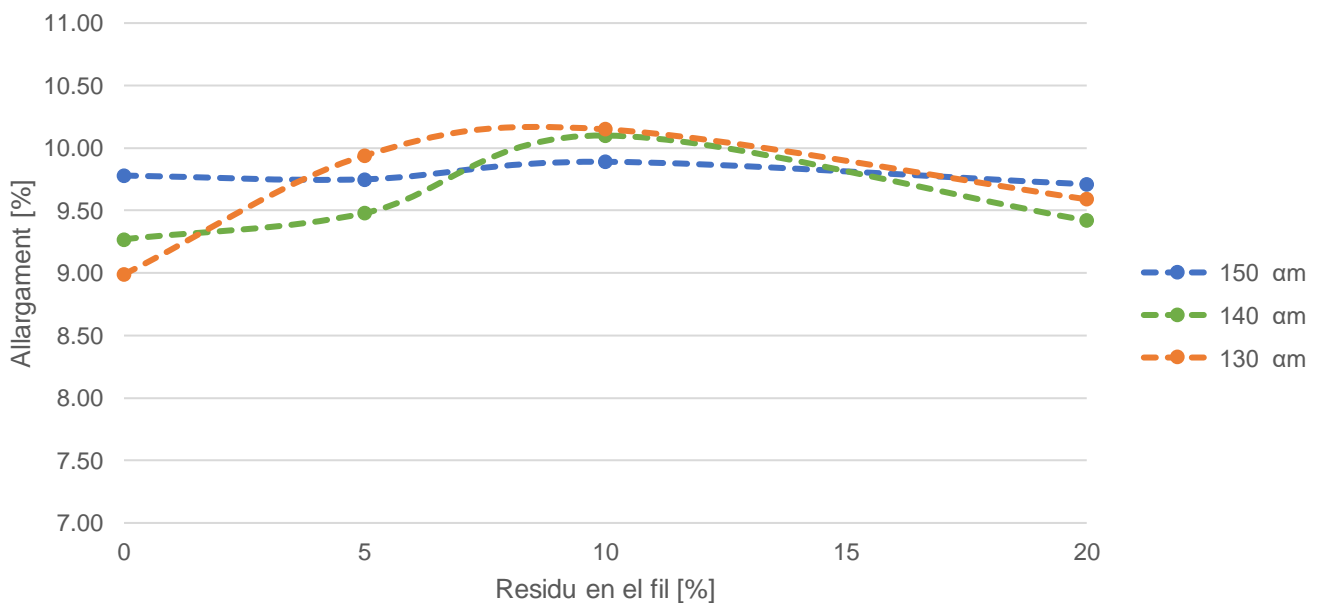


Figura 55. Allargament/% de residu en el fil en funció del percentatge del coeficient de torsió

4.4. Comparativa entre el fil inicial i el fil resultant

Finalment, es conclou l'anàlisi dels resultats amb la confrontació de les propietats de tracció del fil inicial amb les del fil resultant. Pel que al fil resultant es refereix,

s'extrauen únicament les dues variabilitats anomenades en l'apartat anterior. Per a donar una mica de perspectiva, primerament, es presenta la *Taula 21* on es mostren els valors més rellevants extrets de l'assaig de tracció i el títol de cada fil.

Taula 21. Paràmetres de l'assaig de tracció del fil inicial i resultant

	Unitats	Fil inicial				Fil resultant	
		BC ordit	BC trama	BM ordit	BM trama	5%, 130 α_m	10% 150 α_m
Allargament	%	8,76	10,71	7,89	10,87	9,94	9,89
Tenacitat	cN/tex	15,97	16,50	17,03	16,72	15,17	14,88
Títol	tex	27,60	26,80	27,50	27,30	25,40	23,80

Destaquem, com en l'anterioritat, la variabilitat del títol, la causa principal essent la incapacitat de l'open-end per a realitzar en exactitud la numeració del fil desitjada.

En la *Figura 56* es presenten els valors mitjans de la tenacitat dels fils inicials i els dos valors elegits dels fils resultants, en un format de punts en funció de la torsió. Es recorda que en calcular les voltes per metre dels fils inicials s'obté conseqüentment el coeficient mètric de torsió i que aquest és molt menor a les tres variables elegides posteriorment en produir el fil. Tot i l'objectiu de realitzar un fil a similitud de l'inicial, en l'operació de filatura, la maquinària aconsellava una sèrie de coeficients els quals es van tenir en compte, per aquest motiu no hi ha una coincidència en aquesta variable.

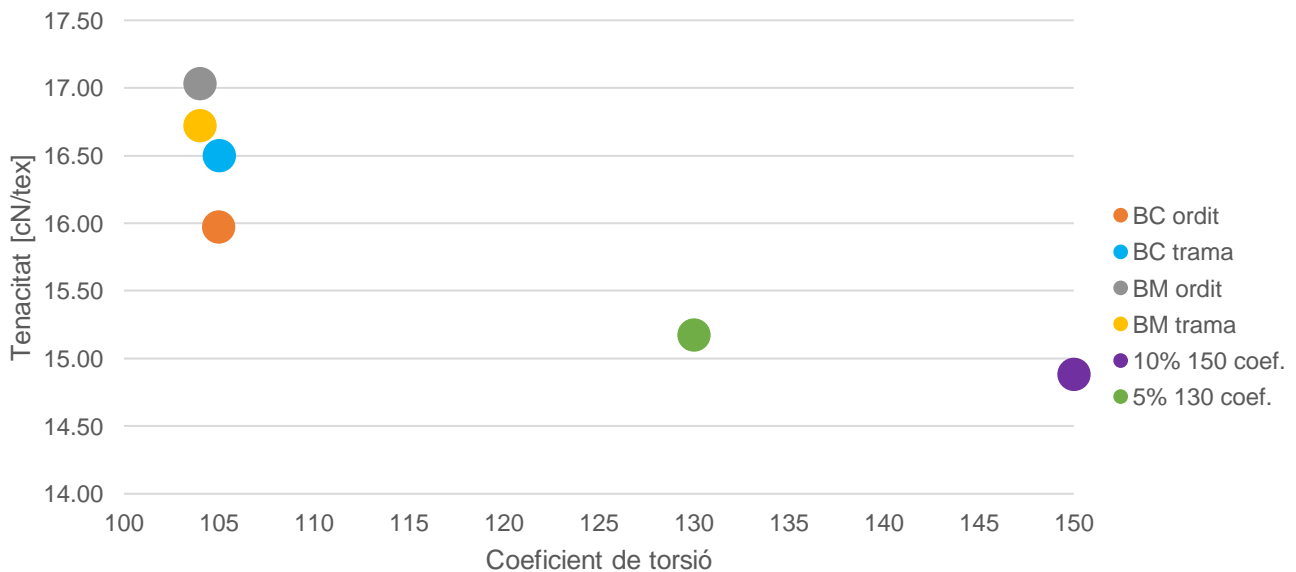


Figura 56. Comparativa tenacitat/torsió

L'anterior gràfica mostra la diferència en el paràmetre de la tenacitat entre els fils inicials i els resultants. Òbviament, això es deu a la matèria reciclada que perd propietats mecàniques en el triturat a causa de la disminució de la longitud de la

fibra, cosa que redueix els punts de contacte entre si, disminuint la fricció i la resistència a la tracció del fil.

Així mateix, com s'observava en la *Figura 52* de l'apartat “*Comparativa entre percentatges*” el fil configurat 100% per matèria verge obté resultats de tenacitat menors als fils amb una breu presència de matèria reciclada. És a dir, que la matèria verge és de menor qualitat que la matèria constituïda pel fil inicial creant així una situació que dificulta clarament la possibilitat d'assimilar els resultats de tenacitat entre els fils inicials i resultants.

Malgrat això s'obtenen valors minoritaris, però dins o propers als valors mitjans habituals establerts per Fidel Lockuan [26], d'un fil de cotó-polièster (*Taula 22*). El fil amb 5% de residu i 130 α_m està comprès entre aquests valors, per tant, es tracta de l'opció més adequada des d'un punt de vista de resistència.

Taula 22. Valors de les propietats mecàniques mitjanes de la mescla CO/PES

	Unitats	Valors mitjans
<i>Allargament</i>	%	10-30
<i>Tenacitat</i>	cN/tex	15-25
<i>Títol</i>	tex	-

Seguidament, es presenten (*Figura 57*) els valors mitjans d'allargament de les mostres de major rellevància.

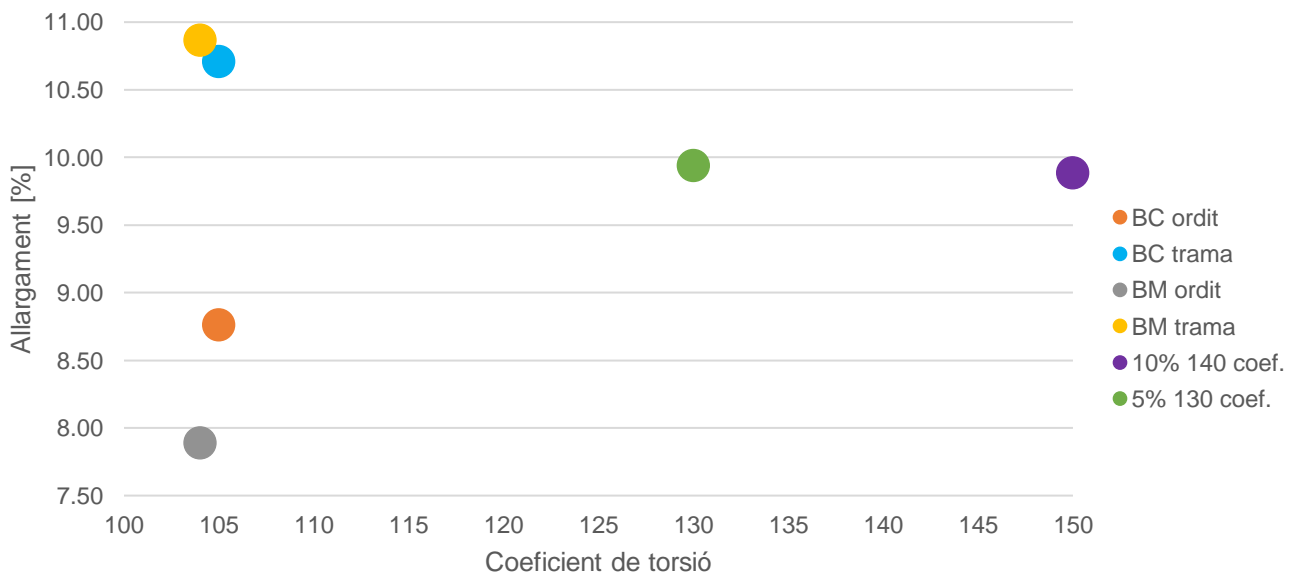


Figura 57. Comparativa allargament/torsió

Pel que a l'allargament es refereix, els valors seleccionats dels fils resultants resten en mig dels valors de la trama i l'ordit. A causa de la mescla d'ambdues tipologies de fils en el triturat, el resultant obté valors equilibrats entre els dos extrems.

Altra vegada, el fil de 5% de residu i coeficient de torsió de 130 assoleix majors resultats d'allargament a la ruptura. Això no obstant, no resideix entre els valors mitjans de la *Taula 22*, com també el fil (10%, 140 α_m), amb poques centèsimes de distància del rang menor.

5. Desenvolupament sostenible

En el desenvolupament del fil constituït per matèria reciclada i l'execució d'aquest projecte, es pot afirmar que ambdues iniciatives promouen el desenvolupament sostenible.

Principalment, la producció d'un fil amb un percentatge de residu tèxtil, provocaria una reducció de l'ús de matèria fibrosa verge per produir-lo, a més, es crearia un reaprofitament i una reducció de residus d'origen tèxtil reintroduint aquests al cicle de vida i circularitzant el producte.

L'elecció proposada per al procés de reciclat opta pel reciclat mecànic i no pel químic la qual cosa representa un estalvi de l'ús de químics i l'ús d'aigua i energia per a reutilitzar aquests químics. Un altre aspecte significatiu és l'elecció de filatura per rotor, aquesta tipologia en comparació a la filatura convencional és més curta i amb menys operacions i, per tant, suposa un estalvi elevat d'energia en el procés.

Resumint, podríem considerar que l'obtenció d'aquest fil amb un percentatge de residu tèxtil, representa un menor consum d'energia, d'aigua i s'estalviaria l'ús de productes químics. Així doncs, el projecte permet sostenir alguns dels Objectius de Desenvolupament Sostenible aprovats per les Nacions Unides el 25 de setembre del 2015 (*Figura 58*), a continuació s'elaboren [33]:



Figura 58. Objectius del Desenvolupament Sostenible. [33]

- Objectiu 8, Treball decent i creixement econòmic:
 - Objectiu 8.3: Fomentar polítiques de desenvolupament que suportin activitats productives, ocupació decent, emprenedoria, creativitat i innovació.

- Objectiu 9, Indústria, innovació i infraestructura:
 - Objectiu 9.4: Modernitzar la infraestructura i reconvertir les indústries perquè siguin sostenibles i utilitzin millor els recursos, amb tecnologies i processos nets i ambientalment raonables.
 - Objectiu 9.5: Augmentar la recerca científica i millorar la capacitat tecnològica, fomentant la innovació.
- Objectiu 12, Producció i consum responsables:
 - Objectiu 12.5: Reduir considerablement la generació de residus mitjançant activitats de prevenció, reducció, reciclatge i reutilització.

6. Conclusions

Aquest projecte basat en l'estudi del grau de reciclatge d'uniformes elaborats amb cotó i polièster confirma la viabilitat en produir fil format pel residu tèxtil preconsum d'uniformes amb la composició anteriorment anomenada. No només això, sinó que és plausible la fabricació d'aquest dins uns marges de paràmetres tècnics semblants als del fil de la peça inicial. Essent així una opció significament més sostenible a la producció de nous uniformes a partir d'una totalitat de fibres verges.

Els assaigs de caracterització dels teixits han mostrat que es tracta d'un mateix teixit amb variabilitat en el color, a més del mateix fil per a l'ordit i la trama, facilitant així el procés de reciclat i filatura. Paral·lelament, l'anàlisi de tracció ens ha permès verificar aquesta informació i ha mostrat i descrit les dades a reproduir en el fil resultant del residu tèxtil.

Posteriorment a la filatura, la caracterització del fil resultant conclou un títol menor al desitjat, afectant així a l'assiduïtat del fil procedent de l'uniforme. Similarment, el fil produït amb un 0% de residu tèxtil mostra paràmetres de tenacitat i allargament menors al fil inicial provocant directament una incapacitat a igualar les propietats tècniques.

El fil amb un coeficient mètric de torsió 130 i un 5% de material residual tèxtil i el fil de 150 alfa mètric i 10% de residu tèxtil, obtenen els millors valors des d'un punt de vista de tenacitat i allargament a la ruptura, destacant el primerament denominat. Partint de l'impediment anteriorment anomenat es troben aquestes dades breument per sota de les inicials, però oferint la qualitat requerida per a l'aplicació desitjada. A més de tenir en compte que els fils han estat produïts en condicions de laboratori, és a dir, en petita escala i quasi de forma artesanal, sense optimitzar propietats en alguns punts del procediment.

Per tant, després d'una anàlisi exhaustiva dels valors obtinguts en el present estudi es pot afirmar que per a la reproducció més homogènia de l'uniforme, discriminant els impediments, s'ha de produir un fil amb un 5% de residu tèxtil i un coeficient de torsió de 130 α_m . Es confirma així la capacitat de reproduir uniformes a partir d'aquests mateixos en un format de preconsum, és a dir, per a la *merma* de la producció, reduint així l'ús de noves fibres per a la fabricació i creant una economia circular on aquest residu es reintrodueix en la cadena productiva.

7. Pressupost

En la següent *Taula 23* es mostra un resum del pressupost de l'estudi, el pressupost complet es troba adjuntat en l'annex *Pressupost*.

Taula 23. Pressupost general del projecte

Referència	Descripció	Import
Partida 1	Material i equips	1.671,57 €
1.1	Matèria primera	34,58 €
1.2	Material de laboratori	375,00 €
1.3	Aparells i eines	37,00 €
1.4	Productes químics	15,24 €
1.5	Material de seguretat	20,50 €
1.6	Lloguer/ús de l'equipament	1.189,25 €
Partida 2	Execució	13.940,00 €
2.1	Autor	12.340,00 €
2.2	Tutor/a o director/a	1.600,00 €
TOTAL		15.611,57 €

S'observa que el pressupost general ascendeix a 15.611,57 €, aproximadament.

8. Futur treball

Arran dels resultats i el procediment d'aquest projecte, es presenten noves idees de recerca que poden donar continuïtat a aquest estudi. A continuació, s'enumeren propostes que poden ser desenvolupades:

- Realitzar l'estudi del teixit en format postconsum, per veure com influeix en la resistència amb capacitat de poder fer la comparativa de l'afectació entre el reciclatge del preconsum i el postconsum.
- Recerca d'una nova matèria verge (tant de cotó com de polièster) amb millors paràmetres tècnics intentant seleccionar valors que s'assimilin als del fil del teixit inicial.
- Estudiar la comparativa des del punt de vista del teixit, és a dir, teixir els fils resultants d'aquest projecte per poder caracteritzar l'estructura tèxtil, comprovant així la viabilitat de produir novament uniformes.
- Cerca d'altres aplicacions industrials del fil amb un 20% de residu tèxtil, ja que seria interessant poder donar una funcionalitat a l'opció amb més presència de matèria reciclada.
- Utilitzar les cintes de manuar i filar novament tenint en compte el decalatge inicialment desconegut, entre el títol introduït als paràmetres de la open-end i el títol resultant.

Bibliografia

- [1] Aitex. (n.d.). *Reciclaje Textil*. Retrieved October 14, 2022, from <https://www.aitex.es/reciclaJETextil/>
- [2] Alvarado Vázquez, K. (2005). *Aplicación del análisis térmico a la caracterización de materias textiles*. [Instituto Politecnico Nacional]. https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/781/559_2005_ESIT_MAESTRIA_karina_alvarado.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [3] Arafat, Y., & Uddin, A. J. (2022). Recycled fibers from pre- and post-consumer textile waste as blend constituents in manufacturing 100% cotton yarns in ring spinning: A sustainable and eco-friendly approach. *Heliyon*, 8(11), e11275. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2022.E11275>
- [4] Ardanuy, M., Parés, F., & Ventura, H. (2021). *EQUIPAMIENTO PARA EL RECICLADO MECÁNICO DE RESIDUOS TEXTILES EN LA SECCIÓN DE INGENIERÍA TEXTIL*.
- [5] Asociación Española de Normalización y Certificación. *UNE-EN 1049-2:1995. Textiles. Métodos de análisis. Parte 2: determinación del número de hilos por unidad de longitud*. Madrid: AENOR, 1995.
- [6] Asociación Española de Normalización y Certificación. *UNE-EN 12127:1998 Textiles. Determinación de la masa por unidad de superficie de muestras pequeñas*. Madrid: AENOR, 1998.
- [7] Asociación Española de Normalización y Certificación. *UNE-EN ISO 1833-1:2021. Textiles. Análisis químico cuantitativo. Parte 1: Principios generales de ensayo. (ISO 1833-1:2020)*. Madrid: AENOR, 2021.
- [8] Asociación Española de Normalización y Certificación. *UNE-EN ISO 1833-11:2018. Textiles. Análisis químico cuantitativo. Parte 11: Mezclas de ciertas fibras de celulosa con otras fibras determinadas (método del ácido sulfúrico). (ISO 1833-11:2017)*. Madrid: AENOR, 2018.
- [9] Asociación Española de Normalización y Certificación. *UNE 40600-4:1996 ERRATUM. Textiles. Métodos de análisis. Parte 4: Determinación de la torsión de los hilos de un tejido*. Madrid: AENOR, 1996.
- [10] Asociación Española de Normalización y Certificación. *UNE-EN ISO 2062:2010. Textiles. Determinación de la fuerza o carga de rotura y del alargamiento en la rotura de hilos individuales con un equipo de velocidad constante de alargamiento (CRE) (ISO 2062:2009)*. Madrid: AENOR, 2010.

- [11] Asociación Española de Normalización y Certificación. *UNE 40161:1980. Tejidos de calada. Definiciones relativas a su estructura*. Madrid: AENOR, 1980.
- [12] Asociación Española de Normalización y Certificación. *UNE 40600-5:1996. Textiles. Métodos de análisis. Parte 5: Determinación de la densidad lineal (número o título) de los hilos de un tejido*. Madrid: AENOR, 1996.
- [13] Asociación Española de Normalización y Certificación. *UNE-EN ISO 5084:1997. Textiles. Determinación del espesor de los textiles y de los productos textiles*. Madrid: AENOR, 1997.
- [14] Awgichew, D., Sakthivel, S., Solomon, E., Bayu, A., Legese, R., Asfaw, D., Bogale, M., Aduna, A., & Senthil Kumar, S. (2021). Experimental Study and Effect on Recycled Fibers Blended with Rotor/OE Yarns for the Production of Handloom Fabrics and Their Properties. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/4334632>
- [15] Carrera-Gallissà, E. (2017). *Física textil: propiedades físicas para caracterizar la calidad de las fibras textiles*. <http://hdl.handle.net/2117/106313>
- [16] Carrion Fite, J. (n.d.). *MATERIALS PEL DISSENY DE PRODUCTES TÈXTILS. POLIESTER*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- [17] *El Gobierno aprueba el PERTE de Economía Circular para acelerar la transición hacia un sistema productivo más eficiente y sostenible en el uso de materias primas*. (2022). <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/el-gobierno-aprueba-el-perte-de-econom%C3%ADa-circular-para-acelerar-la-transici%C3%B3n-hacia-un-sistema-productivo-m%C3%A1s-eficiente-y-sostenible-en-el-uso-d/tcm:30-537834>
- [18] *El impacto de la producción textil y de los residuos en el medio ambiente | Noticias | Parlamento Europeo*. (2020, December 29). <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20201208STO93327/el-impacto-de-la-produccion-textil-y-de-los-residuos-en-el-medio-ambiente>
- [19] Ferrer-Dalmau. (2020, June 22). *La hilatura a rotor y el reciclaje textil*. <https://fdtextil.es/hilatura-a-rotor-y-el-reciclaje-textil/>
- [20] Jamshaid, H., Hussain, U., Mishra, R., Tichy, M., & Muller, M. (2021). Turning textile waste into valuable yarn. *Cleaner Engineering and Technology*, 5. <https://doi.org/10.1016/J.CLET.2021.100341>

- [21] Jeyaraman Anandha Kumar. (2020, March 9). *Methods and technologies for textile wastes recycling*. <https://www.textiletoday.com.bd/recycling-textile-wastes/>
- [22] Johansson, L. (2020). *On the Mechanical Recycling of Woven Fabrics. Improving the Reusable Fibre Yield of Mechanical Methods*. <http://www.teknat.uu.se/student>
- [23] *La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible - Desarrollo Sostenible*. (2015, September 25). <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/#>
- [24] Lindström, K., Sjöblom, T., Persson, A., & Kadi, N. (2020). Improving Mechanical Textile Recycling by Lubricant Pre-Treatment to Mitigate Length Loss of Fibers. *Sustainability 2020, Vol. 12, Page 8706, 12(20)*, 8706. <https://doi.org/10.3390/SU12208706>
- [25] Lockuán Lavado, F. E. (2012a). *I. Aspectos preliminares. La industria textil y su control de calidad*.
- [26] Lockuán Lavado, F. E. (2012b). *III. Hilandería. La industria textil y su control de calidad*. https://issuu.com/fidel_lockuan/docs/iii._la_industria_textil_y_su_control_de_calidad
- [27] Lockuán Lavado, F. E. (2013). *II. Fibras textiles. La industria textil y su control de calidad*.
- [28] Lopes, T. J., Rosa, G. R., da Silva, L. S., Scheeren, C. W., Antelo, F. S., & Martins, M. L. (2021). Identification, characterization and quality management of natural textile fibres. *Fundamentals of Natural Fibres and Textiles*, 473–513. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821483-1.00008-5>
- [29] M. ALCOJOR, A. (2020, October 23). *De tu armario al vertedero | Alterconsumismo | Planeta Futuro | EL PAÍS*. https://elpais.com/elpais/2020/10/22/alterconsumismo/1603357648_153133.html
- [30] *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. (n.d.). Retrieved February 20, 2023, from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- [31] Patagonia. (n.d.). *Mechanical Recycling*. Retrieved November 9, 2022, from <https://www.patagonia.com/our-footprint/mechanical-recycling.html>
- [32] ROHLENA, V., 1975. *Open-end spinning*. Amsterdam [etc: Elsevier. ISBN 0444998705.]

- [33] Tejidos Ignífugos. (n.d.). *Análisis y control de materiales textiles*. Retrieved April 13, 2023, from <https://www.tejidosignifugos.com/analisis-y-control-de-materiales-textiles/>
- [34] Wanassi, B., Azzouz, B., & Hassen, M. Ben. (2016). Value-added waste cotton yarn: Optimization of recycling process and spinning of reclaimed fibers. *Industrial Crops and Products*, 87, 27–32. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2016.04.020>