

Treball final de grau

Estudi: Grau en Arquitectura Tècnica

Títol: Desenvolupament de materials compostos d'Àcid polilàctic reforçat amb fibres naturals per la producció de làmines per aïllament tèrmic i acústic.

Document: Memòria

Alumne: Oleguer Bosch Carreiras

Tutor: Marc Delgado Aguilar

Departament: EQATA

Àrea: Enginyeria Química

Convocatòria (mes/any): Juny 2017

Índex de continguts

III.- Glossari.....	9
1.- Introducció.....	12
2.- Objectius.....	13
3.- Estat de l'art.....	14
3.1.- Antecedents.....	14
3.2.- Els Materials Compostos.....	16
3.2.1.- El Reforç.....	17
3.2.2.- La Matriu.....	17
3.2.3.- Interfase fibra-matriu.....	19
3.2.4.- Mecanismes d'adhesió fibra-matriu.....	20
3.2.5.- Àcid polilàctic.....	25
3.2.6.- El Blat.....	27
3.3.- Estudis d'investigació realitzats.....	30
3.3.1.- Effect of fibre Surface-treatments on the properties of laminated biocomposites from poly (lactic acid) (PLA) and kenaf fibres. (M.S. Huda, Drzal Mohanty, & Misra, 2008).....	30
3.3.2.- Mechanical properties of PLA composites with man-made cellulose and abaca fibres. Composites Part A: Applied science and manufacturing, 40(4), 404-412 (Bledzki, A. K., Jaszkiwicz, A., & Scherzer, D., 2009).....	30
3.3.3.- Influence of accelerated ageing on the physico-mechanical properties of alkali-treated industrial hemp fibre reinforced poly (lactic acid)(PLA) composites. Polymer Degradation and Stability, 95(1), 59-65. (Islam, M. S., Pickering, K. L., & Foreman, N. J., 2010).....	31
3.3.4.- Acoustic properties of agroforestry waste Orange pruning fibres reinforced polypropylen compòsits as an alernative to laminated gypsum boards. (Reixach et al., 2015).....	31
3.3.5.- Continuous flame-retardant actions of two phosphate ester with expandable graphite in rígid polyurethan foams. (Xi, W., Qian, L., Huang, Z., Cao, Y., & Li, L., 2016).....	31
3.3.6.- Towards a good interphase between bleached kraft softwood fibers and poly (lactic) acid. Composites Part B: Engineering, 99, 514-520. (Granda, L. A., Espinach, F. X., Tarrés, Q., Méndez, J. A., Delgado-Aguilar, M., & Mutjé, P., 2016).....	32

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

3.3.7.- Estudi de material compost biodegradable a base de residus de Colza i PLA per a la fabricació d'elements de divisions interiors en la construcció. (Costa J., 2016).....	32
4.- Materials, Equips i Metodologia.	38
4.1.- Materials.....	38
4.1.1. Fibra Natural.	38
4.1.2.- Àcid polilàctic.	38
4.2.- Equips.	39
4.2.1.- Molí de Fibres.	39
4.2.2.- Estufa.	39
4.2.3.- Mesclador cinètic d'alta intensitat.....	40
4.2.4.- Molí.....	41
4.2.5.- Picnòmetre.....	41
4.2.6.- Bàscula digital.....	42
4.2.7.- Premsa de Plats Calents.....	42
4.2.8.- Micròmetre LAF.	43
4.2.9.- Serra de cinta.	44
4.2.10.- Polidora.	44
4.2.11.- Màquina universal d'assajos.	45
4.2.12.- Pèndol d'impacte.....	46
4.2.13.- Peu de rei.....	46
4.2.14.- Caixa tèrmica.	47
4.2.15.- Mesurador d'angle de contacte.....	47
4.3.- Metodologia experimental.	49
4.3.1.- Trituració de la fibra.	49
4.3.2.- Obtenció del material compost.....	49
4.3.3.- Trituració material compost.....	51
4.3.4.- Fabricació de planxes.	51
4.3.5.- Tall de provetes.	52
4.3.6.- Polít i mesurat.	53

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

4.3.7.- Càlcul densitat compostos.	53
4.3.8.- Assaig a tracció.	54
4.3.9.- Assaig a flexió.....	56
4.3.10.- Assaig a impacte.....	57
4.3.11.- Anàlisi Tèrmic.	58
4.3.12.- Microscòpia electrònica de rastreig.	59
4.3.13.- Burning test.....	59
4.3.14.- Angle de contacte.	60
4.3.15.- Aplicació de pintures a materials compostos.....	62
5.- Resultats obtinguts dels assajos.	63
5.1.- Assaig a tracció.	63
5.2.- Assaig a flexió.	67
5.3.- Assaig a impacte.	71
5.4.- Estudi conductivitat tèrmica.	76
5.5.- Microscòpia electrònica de rastreig.	88
5.6.- Burning test.	95
5.7.- Anàlisi de l'angle de contacte.	97
6.- Comparativa de resultats.	104
7.- Conclusions.	106
8.- Futures línies d'investigació.	110
9.- Normativa d'Aplicació.	111
10.- Referències Bibliogràfiques.	112

Agraïments

En primer lloc vull agrair a en Marc Delgado la seva dedicació i atenció en tot moment, per garantir que aquest projecte s'acabés convertint en una realitat.

A l'Helena Oliver per la seva ajuda i suport durant la fabricació dels materials compostos.

A en Pere Bellvehí pel tall de les provetes així com per la seva predisposició mostrada durant l'anàlisi de la conductivitat tèrmica.

A en Quim Tarrés i en Ramon, per la seva col·laboració en l'obtenció dels materials compostos i pels assajos a tracció, flexió i impacte.

Al grup de recerca LEPAMAP de la Universitat de Girona i en Rafael Reixach per donar-me l'oportunitat de realitzar aquest treball de recerca en material compostos

A en Pere Mutjé per les seves orientacions a l'hora de aplicar un revestiment als materials compostos.

I finalment agrair també a la família i amics pel suport i interès mostrat durant l'execució del present projecte.

I. Índex de figures.

Figura 1. Punts de contacte aïllats.....	20
Figura 2. Equació de Dupré	21
Figura 3. Situació esquemàtica de la gota sobre una superfície plana.....	21
Figura 4. Equació de Young.....	21
Figura 5. Equació resultant	22
Figura 6. Unió per interdifusió.....	22
Figura 7. Unió formada per atracció electrosoldada	23
Figura 8. Esquema unió química.....	23
Figura 9. Esquema adhesió o unió mecànica.	24
Figura 10. Conreu de Blat al món	28
Figura 11. Molí de fibres.....	39
Figura 12. Estufa.....	39
Figura 13. Mesclador cinètic d'alta intensitat	40
Figura 14. Molí	41
Figura 15. Picnòmetre.....	41
Figura 16. Bàscula digital	42
Figura 17. Premsa de plats calents	43
Figura 18. Micròmetre LAF.....	43
Figura 19. Serra de cinta	44
Figura 20. Polidora	44
Figura 21. Màquina universal d'assajos. Equip per Tracció.	45
Figura 22. Màquina universal d'assajos. Equip per Flexió.....	45
Figura 23. Pèndol d'impacte	46
Figura 24. Pota provetes	47
Figura 25. Caixa Tèrmica	47
Figura 26. Mesurador d'angle de contacte	48
Figura 27. Palla de blat.....	49
Figura 28. Divisió del material compost	50
Figura 29. Gransa.....	51
Figura 30. Motlle	52

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

Figura 31. Peu de rei.....	53
Figura 32. Aparell per entallar	57
Figura 33. Provetes assaig tèrmic.....	58
Figura 34. Software Advanced Krüss	61
Figura 35. Provetes superfície rugosa.....	62
Figura 36. Provetes superfície lisa.....	62
Figura 37. Representació gràfica de la resistència màxima a tracció	64
Figura 38. Representació gràfica del mòdul de Young a tracció	65
Figura 39. Representació gràfica de la deformació màxima a tracció	66
Figura 40. Representació gràfica de la resistència màxima a flexió	68
Figura 41. Representació gràfica del mòdul de Young a flexió.....	69
Figura 42. Representació gràfica de la deformació màxima a flexió.....	70
Figura 43. Representació gràfica de la resiliència de provetes amb entalla.....	72
Figura 44. Representació gràfica de la resiliència de provetes sense entalla	73
Figura 45. Representació gràfica de l'energia necessària per generar una fractura	74
Figura 46. Representació gràfica del compost de PLA a temperatura de 20°C.....	77
Figura 47. Representació gràfica del compost de 10% de fibra a temperatura de 20°C	77
Figura 48. Representació gràfica del compost de 20% de fibra a temperatura de 20°C	78
Figura 49. Representació gràfica del compost de PLA a temperatura de 30°C.....	79
Figura 50. Representació gràfica del compost de 10% de fibra a temperatura de 30°C	79
Figura 51. Representació gràfica del compost de 20% de fibra a temperatura de 30°C	80
Figura 52. Representació gràfica del compost de 30% de fibra a temperatura de 30°C	80
Figura 53. Representació gràfica del cartró-guix a temperatura de 30°C	81
Figura 54. Representació gràfica del compost de PLA a temperatura de 40°C.....	82
Figura 55. Representació gràfica del compost de 10% de fibra a temperatura de 40°C	83
Figura 56. Representació gràfica del compost de 20% de fibra a temperatura de 40°C	83
Figura 57. Representació gràfica del compost de 30% de fibra a temperatura de 40°C	84
Figura 58. Representació gràfica del cartró-guix a temperatura de 40°C	84
Figura 59. Representació gràfica de la conductivitat tèrmica a 30°C.....	86
Figura 60. Representació gràfica de la conductivitat tèrmica a 40°C.....	86
Figura 61. Representació gràfica de la conductivitat tèrmica en relació a la temperatura	87
Figura 62. Representació fissura del compost 10% de fibra (500µm)	88
Figura 63. Representació fissura del compost 20% de fibra (500µm)	89
Figura 64. Representació fissura del compost 30% de fibra (500µm)	89

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

Figura 65. Representació fissura del compost 10% de fibra (90 μ m).....	91
Figura 66. Representació fissura del compost 20% de fibra (90 μ m).....	91
Figura 67. Representació fissura del compost 30% de fibra (90 μ m).....	92
Figura 68. Representació fissura del compost 20% de fibra (20 μ m).....	93
Figura 69. Representació fissura del compost 30% de fibra (20 μ m).....	93
Figura 70. Representació gràfica de l'angle de contacte	98
Figura 71. Pintura assecada en el PLA.....	100
Figura 72. Pintura assecada en el compost de 10% de fibra	100
Figura 73. Pintura assecada en el compost de 20% de fibra	101
Figura 74. Pintura assecada del compost de 30% de fibra.....	101
Figura 75. Pintura assecada en el cartró-guix	102

II. Índex de Taules.

Taula 1. Classificació d'envans en funció del seu origen. (Oliver, 2008)	15
Taula 2. Comparativa de resultats (Joan Costa, 2016)	37
Taula 3. Condicions procés refredament.....	52
Taula 4. Resultats Mòdul de Young a tracció.	63
Taula 5. Resultats obtinguts en l'assaig a tracció.	63
Taula 6. Resultats obtinguts en l'assaig a flexió.....	67
Taula 7. Resultats obtinguts a l'assaig d'impacte.....	71
Taula 8. Resultats de l'energia necessària per produir la fractura a les provetes.....	74
Taula 9. Resultats obtinguts a l'estudi de la conductivitat tèrmica.	76
Taula 10. Resultats obtinguts a l'assaig Burning test.	95
Taula 11. Resultats obtinguts a l'anàlisi de l'angle de contacte.	98
Taula 12. Comparativa de resultats.....	104

III.- Glossari.

W_A	Treball Termodinàmic d'adhesió.
γ_1	Energies lliures de la superfície del líquid.
γ_2	Energies lliures de la superfície del sòlid.
γ_{12}	Energies lliures de la interfase sòlid-líquid.
γ_{sv}	Energies lliures de la superfície sòlid-vapor.
γ_{sl}	Energies lliures de la superfície sòlid-líquid.
γ_{lv}	Energies lliures de la superfície líquid-vapor.
θ	Angle de contacte.
E	Mòdul elàstic / Mòdul de Young.
E_T	Mòdul elàstic / Mòdul de Young a tracció.
PLA	Àcid polilàctic
TGA	Termogravimetria Analítica.
°C	Graus centígrads.
CaCO_3	Carbonat de Calci.
pH	Potencial Hidrogen.
%	Percentatge.
m	Metres.
cm	Centímetres.
mm	Mil·límetres.
m^2	Metres quadrats.

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

cm ³	Centímetres cúbics.
mm ²	Mil·límetres quadrats.
µm	micròmetres.
nm	nanòmetres.
Kg	Quilograms.
gr	Grams.
KN	Quilo Newtons.
N	Newtons.
KW	Quilo Watts.
W	Watts.
V	Voltatge.
Hz	Hertz.
MPa	Mega Pascals.
GPa	Giga Pascals.
KJ	Quilo Joules
J	Joules
σ	Esforç / Tensió.
σ _T	Resistència a tracció.
σ _F	Resistència a flexió.
ε _T	Deformació a tracció.
ε _r	Deformació a ruptura.
λ	Conductivitat Tèrmica.

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

rpm Revolucions per minut.

min Minuts.

s Segons.

1.- Introducció.

En el present treball de final de grau s'exposa la investigació realitzada de les propietats mecàniques, tèrmiques dels materials compostos formats per àcid polilàctic reforçat amb fibres naturals, així com un anàlisi exhaustiu de la resistència front el foc. Es realitzarà també un estudi d'adherència de diferents revestiments com podria ser el cas de les pintures plàstiques.

Atès que es tracta d'un material compost biodegradable, la seva gestió com a residu un cop ha arribat al final de la seva vida útil no es fa imperativa, doncs en les condicions ambientals adequades aquest s'integrarà amb el medi que l'envolti. En aquest sentit, des d'un punt de vista mediambiental, és una bona alternativa als productes que es poden trobar avui dia al mercat, com per exemple, el cartró-guix.

És una obvietat, especialment en els darrers anys, que les màximes autoritats dels països d'arreu del món, busquin solucions per preservar i protegir el medi ambient front la contaminació i l'escalfament global del planeta, a banda de conscienciar la societat d'aquesta necessitat.

D'altra banda, el sector de la construcció, és una de les principals àrees on s'utilitza més quantitat de materials compostos de matriu polimèrica o plàstics, ambdós casos provinents de recursos derivats del petroli, un recurs fòssil no renovable, i limitat en quan a existències. Altrament, al tractar-se de materials derivats del petroli, suposen un alt cost ecològic per el medi ambient. (FOCITEC, 2012)

Els motius esmentats en els darrers paràgrafs, han estat algunes de les raons per les quals m'he decantat per aquest tipus d'investigació. Deixant de banda els termes econòmics, crec que és necessari que tothom comenci a fer la seva aportació per buscar solucions ecològiques a tot allò que genera un dany continuat pel nostre planeta. Dit això, cal dir que és necessari promoure aquesta classe d'investigacions, productes que provinguin de recursos naturals, i per tant, el seu cost ecològic sigui nul.

Finalment, a part de realitzar l'estudi sobre un material compost biodegradable, es farà una comparativa dels resultats obtinguts respecte als productes més utilitzats per a la construcció d'edificis. Així doncs, es determinarà si aquest nou material obté millors prestacions que el cartró-guix, i per tant, substituir-lo en un futur en la formació d'elements de separació verticals.

2.- Objectius.

L'objectiu d'aquest treball final de grau és l'elaboració d'un material compost biodegradable format per materials provinents de recursos naturals com element substitutiu del cartró-guix, per a la fabricació i/o construcció d'elements de separacions verticals. Així doncs, es tractaria d'un sistema constructiu sec i fix, el qual, ens permetria solucionar una problemàtica que experimenten els productes que trobem avui dia al mercat.

Pel tal de dur a terme una investigació concisa i completa, s'ha optat per elaborar materials compostos de característiques diferents. Això implica fer variacions en les composicions fibra-matriu, i així determinar el comportament de cadascun d'ells front les diferents situacions sotmeses.

Dels resultats obtinguts en els diferents assajos, s'extrauran unes conclusions i valoracions que ens determinaran si aquest material compost és apte per l'ús el qual es vol destinar (element de separació vertical), es farà una comparativa amb les propietats mecàniques que presenten alguns dels productes a substituir, com ara el cartró-guix.

Tota aquesta investigació no hauria estat possible sense l'ajuda i col·laboració del grup de recerca de la Universitat de Girona anomenat LEPAMAP. Aquest, es focalitza amb la investigació i anàlisi de materials polimèrics reforçats amb fibres naturals.

3.- Estat de l'art.

3.1.- Antecedents.

Tal hi com s'ha esmentat a l'apartat d'*Objectius* del present treball, el principal motiu d'aquesta línia d'investigació, ha estat aconseguir un material que permeti en un futur, construir elements de distribucions interiors, com ara els envans, i que alhora, sigui un material biodegradable. És per això, que abans de entrar en matèria, es farà una petita introducció sobre què senten per envà, així com les tipologies que podem trobar avui dia al mercat.

Els envans són elements verticals que formen el subsistema de compartimentació dels espais interiors, separant els diferents locals o estances entre si. Generalment es caracteritzen per no tenir una funció estructural, però podem trobar-los actuant com a tal, entrant a formar part dels murs de càrrega.

Les principals exigències que s'han de garantir per part d'un envà seran les següents:

- **Estabilitat:** L'envà ha de ser estable per si mateix.
- **Resistència al foc:** L'envà ha de tenir una resistència al foc, tal hi com especifica la normativa el CTE-DB-SI doncs, contribuirà a una lenta propagació d'aquest, en el cas que es produeixi.
- **Aïllament Tèrmic:** Per tal d'obtenir un major confort tèrmic a cadascuna de les estances que conformen l'interior d'un edifici, els envans hauran de disposar d'un major o menor aïllament tèrmic tal hi com s'especifica la normativa.
- **Aïllament Acústic:** Aquest serà l'encarregat d'aïllar les diferents estances d'un edifici i així, evitar que els sorolls aeris i/o estructurals puguin ser transmesos a través dels envans.

A banda del compliment de les condicions esmentades, els envans han de tenir la capacitat d'allotjar les instal·lacions de l'edifici en el seu interior (xarxa elèctrica, de sanejament, comunicació, etc), a més de ser capaços de suportar els seus accessoris (comptadors, interruptors, aixetes, endolls...). (Oliver, 2008)

Els elements de distribució interiors, o comunament anomenats envans, els podem classificar en dos grans grups en funció del seu origen. S'adjunta taula a la següent pàgina.

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

Taula 1. Classificació d'envans en funció del seu origen. (Oliver, 2008)

Classificació dels elements de distribució			
Origen Mineral	Fàbriques	Pedra	Massissa
		Ceràmica	Massissa Buida Alleugerida
		Morter / Formigó	Blocs de formigó buits Blocs de formigó / morter alleugerit
		Guix	Blocs de guix Mixta, amb ceràmica
	Híbrids	Blocs	De vidre
		Panells	De guix Ceràmics De formigó alleugerit / morter escumat De vidre
Origen Vegetal	Entramat lleuger	Entramats	Panells amb estructura de fusta Plafons amb estructura metàl·lica Mampares

3.2.- Els Materials Compostos.

S'entén com a material compost aquells materials que es formen a través de la unió de dos o més materials per tal d'aconseguir una combinació de propietats mecàniques que no és possible obtenir amb materials simples. La fabricació d'aquests compostos pot ser degut a la necessitat d'aconseguir un paràmetres de rigidesa, resistència, pes, rendiment a altes temperatures o duresa poc usuals. (Molera Solar, P., Cruells Cadevall, M., Llorca Isern, N., & Viñals Olia, J. (2011)

No tots els materials entraran a formar part d'aquest grup de materials compostos, només aquells que compleixin la condicions següents:

- Estiguin formats per dos o més materials distingibles físicament i separables mecànicament.
- Disposin de varies fases químicament diferenciables, completament insolubles entre si i separades per una interfase.
- Les seves propietats mecàniques han de ser superiors a la suma de les propietats de cadascun dels components que formen aquest material.
- Per la fabricació d'aquest compost, s'hagi utilitzat materials polifàsics com ara els aliatges metàl·lics, en els que a través d'un tractament tèrmic es canviï la composició de les fases.

Tot hi haver-se obtingut materials amb unes propietats mecàniques excepcionals, les aplicacions pràctiques es veuen reduïdes a causa dels factors que eleven el cost de producció d'aquests, la dificultat del procés de fabricació i la incompatibilitat entre els diferents materials.

Existeixen un gran nombre de materials compostos, però tots ells coincideixen en un únic aspecte, la seva composició. Per obtenir-los és necessari disposar d'un reforç i d'un matriu.

- **Reforç:** És l'esquelet que suporta els esforços mecànics. Pot presentar-se en diferents formes, com ara amb fibres curtes o contínues. Aquestes fibres es caracteritzen per tenir una bona resistència a tracció.
- **Matriu:** És la responsable de les propietats físiques i químiques. S'encarrega de transmetre els esforços al agent reforçant i de protegir-lo, així com donar cohesió al propi material.

3.2.1.- El Reforç.

El reforç és una fase de caràcter discontinu, que gràcies a la seva geometria, resulta ser peça imprescindible per definir les propietats mecàniques del material. Aquests reforços seran els encarregats de realitzar les següents funcions a fi de que el material treballi com un tot: (Molera Solar, P., Cruells Cadevall, M., Llorca Isern, N., & Viñals Olia, J. (2011)

- Aportin la resistència a tracció necessària enfront d'un esforç de tracció.
- Aportin rigidesa (elevat mòdul elàstic) i resistència a tracció, entre d'altres.
- Depenent del tipus de fibra que utilitzem, aquesta se li requerirà unes condicions de conductivitat o aïllament elèctric.

Dintre aquesta categoria, destaquem dos tipus de reforços que resulten ser els més comuns:

- **Reforços amb fibres:** Consisteix de filaments orientats en sentit longitudinal. Si augmentem la relació llargada/diàmetre, provocarem un increment de la resistència a tensió a causa d'una major orientació cap a l'eix de fibra. A més, augmentarà la capacitat per carregar-se mecànicament. En aquest cas, estarem parlant d'un reforç unidireccional.
- **Reforços amb partícules:** A diferència de l'altre tipus de reforç, aquest el podem considerar com a bidireccional degut a una distribució aleatòria de la seves partícules. Per tant, actuen d'igual forma en totes les direccions del material. Aquest fet es coneix com a propietats isotròpiques.

3.2.2.- La Matriu.

La Matriu, tal hi com s'ha esmentat en anterioritat, es tracta de l'element continu del material compost encarregat de transmetre els esforços mecànics al reforç. A més, hauran de garantir una protecció a la fibra. D'acord amb la naturalesa de la matriu, les podem classificar en tres grans famílies:

- Els compòsits de matriu polimèrica (Plàstics reforçats o asfalts)
- Els compòsits de matriu ceràmica (Formigó)
- Els compòsits de matriu metàl·lica.

Compòsits de Matriu Polimèrica (PMC)

El procés d'obtenció d'aquest compostos en comparació a altres dos, és relativament fàcil degut al poc cost econòmic que suposa fabricar-lo així com el seu procés d'elaboració. Per tant, podríem dir que són els més coneguts. Generalment es reforcen amb fibres mentre que s'utilitzen polímers com a matrius.

Aquest tipus de materials compostos són els que millors característiques presenten. Tot hi això, la capacitat de la seva estructura per suportar els accidents usuals durant el seu ús, com podria ser la corrosió o els impactes, entre d'altres, són alguns dels factors que s'han de millorar.

Pel que fa a les matrius polimèriques, podem distingir els termostables i termoplàstics. Els termoplàstics es caracteritzen per ser unes cadenes lineals o bé ramificades, que estableixen unes interaccions intermoleculares amb la resta de cadenes. El seu procés de fusió, s'origina un cop es superen aquestes forces, i així permetrà el seu reciclatge mecànic.

Per altre banda, els termostables són un conjunt d'enllaços covalents entre les molècules, evitant així la seva fusió. El material es degradat abans d'arribar el seu punt de fusió. (Deborah, 2010)

Compòsits de Matriu Ceràmica (CMC)

Es caracteritzen per la seva gran complexitat tant en el seu comportament com per la seva fabricació industrial. El principal objectiu d'aquestes materials compostos es l'obtenció d'un material amb la resistència tèrmica característica de la ceràmica, així com d'una gran tenacitat per una aplicació estructural. L'augment d'aquesta tenacitat, permetria reduir la susceptibilitat als defectes i millorar la fiabilitat quan estan sotmesos a unes tensions concretes.

Els materials fràgils, que es caracteritzen per tenir unes bones propietats front a elevades temperatures, presenten una problemàtica quan estan exposats a temperatura ambient. És per això, que aquests tipus de compostos intenten resoldre aquesta qüestió, de tal forma que puguem obtenir materials que siguin eficients tant amb baixes com en altes temperatures. (Deborah, 2010)

Compòsits de Matriu Metàl·lica (MMC)

Es tracta de materials amb una bona resistència mecànica i conductivitat tèrmica, però amb una baixa densitat i tenacitat. Un dels materials més usats per a la fabricació d'aquests compostos és l'alumini. Per elaborar-los fan falta unes fibres especials per tal d'evitar una reacció química entre la fibra i la matriu quan aquest es sotmet a elevades temperatures.

A diferència dels compòsits de Matriu Ceràmica, aquests tenen un bon comportament front a altes temperatures encara que un elevat cost de fabricació. (Deborah, 2010)

3.2.3.- Interfase fibra-matriu

Senten per interfase com l'espai generat entre la fibra i la matriu. Al tractar-se de materials de naturalesa diferents pot provocar certes dificultats per garantir una correcta unió entre ells, fet que provocaria una incorrecta transmissió de resistència i rigidesa al material compost. Un altre aspecte que va condicionat amb la interfase fibra-matriu seria el comportament a trencament d'aquest.

Les interfases poden ser dèbils o fortes. Les primeres donarien lloc a un material amb un grau molt baix tant de rigidesa com de resistència, però una alta resistència al trencament. Pel que fa a les segones, es caracteritzarien per ser molt rígides i resistents, encara que per contra tindrien un baix grau de resistència al trencament. (Universidad de Oviedo, n.d.).

En relació a la interfase es important considerar la impregnabilitat. Aquesta senten com la capacitat d'un líquid a estendre's per una superfície sòlida. En algunes fases del procés de fabricació del material compost, la matriu s'haurà de comportar com un material líquid per tal que aquesta flueixi per sobre la superfície del reforç.

La interfase serà important per determinar la tenacitat del material. A diferència dels materials fràgils, els tenaços es caracteritzen per tenir un allargament molt més gran just abans de trencar-se, ja que al deformar-se més fàcilment, s'evita un trencament sobtat i/o ràpid d'aquet. Pel que fa als materials fràgils, al tractar-se de components molt rígids, els trencaments interns provocats per l'esforç al que està sotmès, són propagats amb major rapidesa.. (Universidad de Oviedo, n.d.).

3.2.4.- Mecanismes d'adhesió fibra-matriu.

Les fibres, normalment estan cobertes per una capa de material que forma una unió entre la fibra i la matriu. Lògicament, per tal de garantir aquesta adhesió durant el procés de fabricació del material compost, el reforç i la matriu han d'estar en contacte.

Per tal que es produeixi aquesta unió, es disposa de cinc mecanismes per fer-ho possible, els quals, tenen lloc a la interfase del propi material compost. Aquest són:

- Absorció i humectació.
- Interdifusió.
- Atracció o unió electrosoldada.
- Unió química
- Adhesió o unió mecànica.

Absorció i humectació.

Si es col·loquen dos superfícies elèctricament neutres suficientment juntes, es produeix una atracció física. En el cas que estiguéssim parlant de dos sòlids, la seva rugositat de la superfície en una escala microscòpica, impedeix que ambdós superfícies entre en contacte exceptuant alguns punts aïllats tal hi com es pot observar a la Figura 1. (Universidad de Oviedo, n.d.).



Figura 1. Punts de contacte aïllats

(“Materiales Polímeros y Compuestos, 2015)

Per tal que la humectació de la superfície de la fibra sigui efectiva, cal que la resina líquida cobreixi cada sortint i entrant de la superfície. També s'haurà de procurar evitar fines capes als contorns.

La humectació es pot entendre amb dos simples equacions. Una d'elles és l'equació de Dupré per el treball termodinàmic d'adhesió W_A , on γ_1 i γ_2 són les energies lliures de superfície del líquid i del sòlid respectivament, mentre que γ_{12} representa l'energia lliure de la interfase líquid-sòlid.

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

$$W_A = \gamma_1 + \gamma_2 - \gamma_{12}$$

Figura 2. Equació de Dupré

(Dereck Hull & Clyne, 1987)

Pel que fa a la segona equació, la de Young, permetrà mesurar la capacitat que tindrà l'element líquid a mullar el component sòlid, considerant un equilibri de forces en un sistema format per una gota situada sobre una superfície plana en una atmosfera apropiada. A

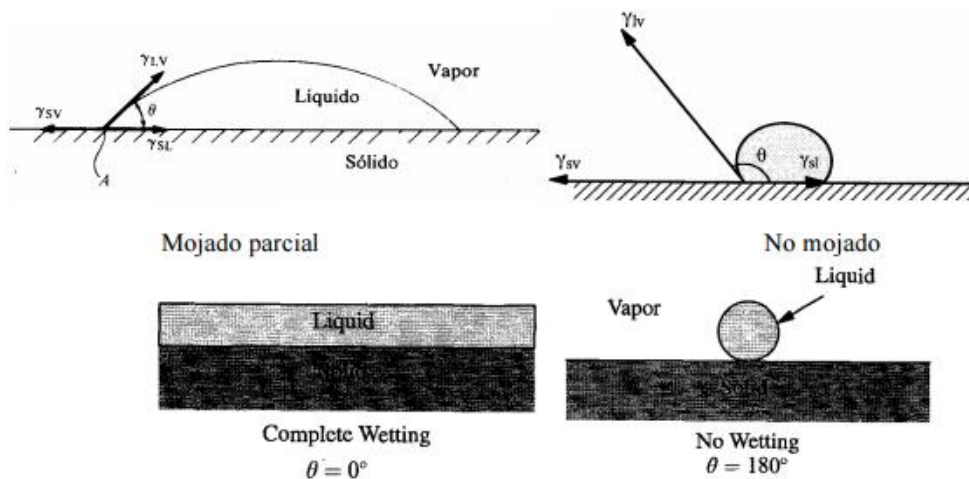


Figura 3. Situació esquemàtica de la gota sobre una superfície plana

(Dereck Hull & Clyne, 1987)

L'equació de Young (Figura 4) ens estableix que γ_{sv} , γ_{sl} i γ_{lv} són les energies lliures de superfície i tensions superficials de les interfases sòlid-vapor, sòlid-líquid i líquid-vapor respectivament i θ és l'angle de contacte. Per tant, dit això, si $\theta = 0^\circ$ s'obté un mullat perfecte, mentre que si $\theta = 180^\circ$ no es produeix el mullat. En el cas que $0^\circ < \theta < 180^\circ$, s'aconseguirà un mullat parcial. (Universidad de Oviedo, n.d.).

$$\gamma_{sv} = \gamma_{sl} + \gamma_{lv} \cos(\theta) \quad , \quad \theta = \arccos \left[\frac{\gamma_{sv} - \gamma_{sl}}{\gamma_{lv}} \right]$$

Figura 4. Equació de Young

(Dereck Hull & Clyne, 1987)

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

Si es fa una combinació de les dos equacions esmentades, s'obté l'equació que es pot observar a la Figura 5, on W_A representa una unió física resultant de forces de dispersió molecular altament localitzades, les quals, en una situació ideal, poden generar una forta adhesió entre la resina i les fibres de carboni o de vidre.

$$W_A = \gamma_{SV} + \gamma_{LV} - \gamma_{SL}$$

Figura 5. Equació resultant

(Dereck Hull & Clyne, 1987)

Com a resum final, cal dir que un cop la matriu ha mullat el reforç, i per tant, ambdós elements es troben en contacte, és llavors quan es pot produir la unió. D'altra banda, per un determinat sistema, pot ser necessari emplear més d'un mecanisme d'adhesió, com per exemple, la unió mecànica i la electrosoldada. El tipus d'unió variarà de sistema en sistema, depenent de petits detalls com la presència de contaminants a la superfície o la addició de agents de superfície activa.

Interdifusió.

En els sistemes polimèrics es pot formar una unió entre dos superfícies de polímers per la difusió de les cadenes lliures de polímer d'una de les superfícies en la xarxa molecular de l'altre, tal hi com podem observar a la Figura 6. (Universidad de Oviedo, n.d.).

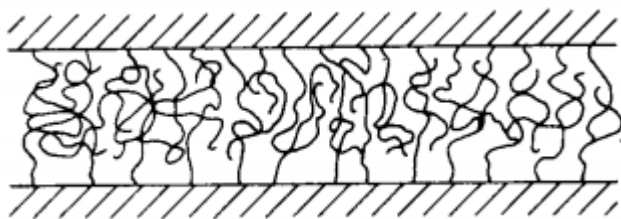


Figura 6. Unió per interdifusió

(Dereck Hull, 2003)

La força d'unió dependrà, en gran part, del grau d'entramat molecular i el nombre de molècules implicades. Aquesta interdifusió pot ser promoguda per la presència d'agents plastificants i dissolvents, en funció del grau de difusió en la conformació molecular d'aquests. Pel que fa als sistemes no polimèrics, es pot aconseguir la interdifusió a través d'una reacció química. En aquest cas, la resistència de la interfase dependrà de la naturalesa de les unions interatòmiques i de les tensions generades.

Atracció o unió electrosoldada.

Les forces d'atracció es produeixen entre dos superfícies quan una d'elles és de càrrega positiva neta i l'altre de càrrega negativa neta, com per exemple, les interaccions àcid-base i de l'enllaç iònic. Aquest fet, genera una atracció electrostàtica en dependència a la diferència de càrrega de les superfícies de cadascun dels components que conformen el material compost. Serà important garantir el contacte entre la matriu i el reforç, ja que les interaccions són de curt rang, les quals, únicament seran efectives amb distàncies molt petites, de l'ordre d'un àtom. Al igual que el mecanisme d'adhesió per absorció i humectació, la contaminació superficial i els gasos atrapats, disminuiran la efectivitat d'aquesta unió. (Universidad de Oviedo, n.d.).

L'atracció electrosoldada, probablement no tindrà una contribució principal a l'hora de determinar la resistència final de la unió fibra-matriu dels materials compostos, però sí que pot jugar un paper important en la forma d'unio dels agents.

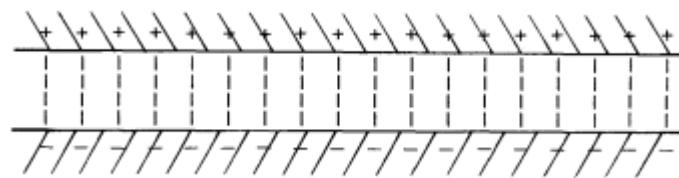


Figura 7. Unió formada per atracció electrosoldada

(Dereck Hull, 2003)

Unió Química.

La unió química és l'enllaç format entre grups químics de la superfície del reforç (lletra X) i grups compatibles de la matriu (lletra R). La resistència de la unió dependrà del nombre d'enllaços per unitat d'àrea i del tipus d'enllaç. (Universidad de Oviedo, n.d.).

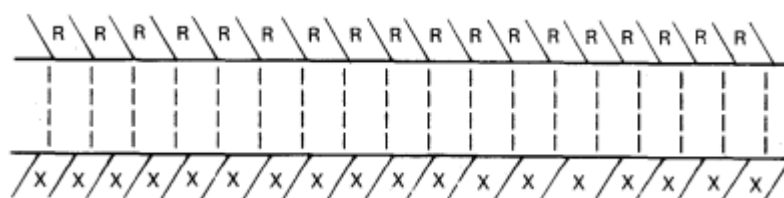


Figura 8. Esquema unió química.

(Dereck Hull, 2003)

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

El transport molecular, per procés de difusió, està involucrat en els enllaços químics. A la intercara es poden generar les formacions de solucions sòlides i de compostos, el que resulta ser una zona de reacció de la interfase fibra-matriu amb un cert gruix. Cal distingir dos tipus d'unions químics: (Universidad de Oviedo, n.d.).

- **Unió per dissolució:** La interacció entre els components es produeix a escala electrònica. Degut a unes interaccions de curt rang, és molt important que tant la fibra com la matriu estiguin en contacte a escala atòmica. Per garantir-ho, es requerirà un tractament previ per tal d'eliminar qualsevol tipus d'impureses. D'altra banda, s'haurà de procurar que es produeixi una contaminació de la superfície de la fibres, es quedi aire atrapat a la interfase, doncs dificultaria el contacte entre components.
- **Unió per reacció:** El transport de les molècules, àtoms o ions es produeix a partir de un o ambdós components a la intercara. Aquest transport de partícules atòmiques es fa de forma controlada a través d'un procés de difusió.

Adhesió o unió mecànica.

Per donar lloc a aquest tipus d'enllaç o unió, sol ser únicament necessari la utilització de simples sistemes mecànics com podria ser el cas de la interpenetració, entrelaçament o bé un enclavament. Aquella resina que sigui capaç de mullar completament la superfície de la fibra seguirà cada detall d'aquesta, tal hi com es pot observar a la Figura 9.

Aquest mecanisme, probablement no oferirà el millors resultats en quan a la resistència a tracció i/o resistència al tall, tot hi que dependrà del nombre de entrants i sortints que tingui la superfície de la fibra, és a dir, de la rugositat. Com més gran sigui aquesta, l'entrelligat serà més gran, aconseguint així una unió mecànica més efectiva. (Universidad de Oviedo, n.d.).



Figura 9. Esquema adhesió o unió mecànica.

(Dereck Hull, 2003)

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

La unió mecànica serà molt més efectiva quan la força aplicada sigui paral·lela a la intercara, és a dir, la resistència tallant pot ser considerable. D'altre banda, quan la intercara estigui sotmesa a esforços de tracció, es produirà un descens de la seva resistència, a menys que existeixi un gran densitat de zones amb angles re-entrants, tal hi com es pot observar a la Figura 9 (Designats amb la lletra A).

Si es fa una comparativa amb l'enllaç químic, s'observarà que la unió mecànica és de baixa resistència, és a dir, la força d'adherència mecànica serà menor a la d'una unió química.

Les unions mecàniques per si soles no solen ser suficients en la gran majoria del casos. Per tant, una possible solució seria combinar-la amb una unió a reacció, per exemple, a fi d'aconseguir una unió total. En el cas que la matriu fos incapaç de penetrar a la superfície rugosa de la fibra, un cop solidificada, aquesta crearia espais buits, provocant així una falta de resistència. (Universidad de Oviedo, n.d.).

3.2.5.- Àcid polilàctic.

El PLA es tracta d'un termoplàstic rígid que pot ser semi cristal·lí o amorf depenent de la puresa del caràcter del polímer. Aquest disposar d'un rang d'aplicacions bastant gran degut a la possibilitat de ser cristal·litzat per deformació, modificat per impacte, o bé copolimeritzat i processat a través de processos de polimerització. Com a la majoria de materials, existeix l'opció de afegir-li additius per tal de millorar les seves propietats, encara que actualment acabant sent un repte degut el seu baix rang de temperatura.

L'àcid làctic està fet amb un procés de fermentació fent servir recursos 100% renovables rics en midó (blat de moro, blat, remolatxa...). El polímer es degradarà ràpidament a raó de la seva baixa toxicitat, ja que la gran majoria es converteixen en aigua i CO₂.

És per això, que es parla d'un material biodegradable, doncs els residus produïts un cop acabada la seva vida útil poden ser eliminats fàcilment mitjançant processos de compostatge.

Les característiques físiques del PLA d'alt pes molecular dependran en gran part de la temperatura de transició per qualitat com la densitat i la capacitat calorífica. A més, pot estar dotat per unes propietats del mateix rang que el polímers petroquímics, exceptuant una baixa elongació. Tot hi això, no acaba sent un problema ja que es pot corregir durant el procés de polimerització, o bé, amb modificacions post polimerització. (Mariano, 2015)

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

D'altra banda, el PLA pot ser tant dur com l'acrílic o tant tou com el polietilè, rígid com el poliestirè o flexible com un elastòmer. Unes altres propietats a destacar del PLA són la seva resistència al ratllat o al desgast, així com presentar una gran estabilitat front l'exposició contínua de raigs ultraviolats o gamma.

En referència al seu camp d'aplicació, on destacar més és per la fabricació d'envasos i paquets per aliments o per crear estructures i/o elements protectors que generin una protecció pels cultius. També, es tracta d'un material molt utilitzat en l'àmbit de la medicina com ara la cirurgia plàstica, la ortodòncia, tubs de sutura, etc, gràcies a la seva despolimerització total mitjançant la hidròlisi química. (Textos Científicos, n.d.).

Les principals empreses que encapçalen la llista de majors productores de PLA a nivell mundial del són Cargill (EUA) amb un producte comercial anomenat NatureWorks, Mitsubishi (Japó) amb Ecolaju i Chronopol (EUA) amb Heplon. (Textos Científicos, n.d.).

Finalment, per a l'obtenció de l'àcid polilàctic ens necessari distingir dos fase o etapes: La primera s'anomena Síntesi de l'àcid làctic, mentre que la segona fa referència a la polimerització.

El primer pas a seguir és l'extracció del midó de la biomassa com podria ser el cas de la sacarosa refinada provinent de la canya de sucre o de la remolatxa. Un altre opció seria la utilització de la glucosa. (Textos Científicos, n.d.).

Per tal d'extreure el midó dels productes no refinats es realitza un mòlt humit, on el midó és convertit en sucre a través per hidròlisis enzimàtica o àcida. Per fer la seva producció industrial, es farà ús d'un microorganisme anomenat *Lactobacillus delbrueckii*, el qual es caracteritza per ser termòfil amb una temperatura que oscil·la entre els 45 i 62°C, a més de permetre un reducció dels costos de refredament i esterilització, així com evitar una possible contaminació microbiologia duran el procés de fermentació.

En el mètode d'obtenció comercial, al substrat se li afegeix una font de vitamines, utilitzant així una barreja entre 10 – 15% de glucosa i un 10% de CaCO₃. Seguidament s'inicia el procés de fermentació de duració total de 2 – 4 dies. Es donarà per acabat quan s'hagi consumit tot el sucre, a fi de facilitar la seva purificació. Al final de la fermentació el medi es ajustat a pH 10 i escalfat per solubilitzar el lactat de calci i coagular les corresponents proteïnes. Posteriorment, el medi es filtra per remoure les substancies insolubles, així com la biomassa. Després de concentrar per evaporació, l'àcid lliure s'obté per addició del àcid sulfúric seguit d'una filtració per remoure el sulfat càlcic format.

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

Aquesta conversió pot assolir valor superiors al 95% en substrats de carbohidrats. És d'especial rellevància que l'àcid làctic es separi del cultiu fermentat i es purifiqui abans d'iniciar la polimerització. Aquests processos, solen involucrar una neutralització amb bases seguit d'unes filtracions, concentracions y acidificacions.

S'han desenvolupat dos sistemes per convertir l'àcid làctic en un polímer d'un alt pes molecular. Un primer mètode tracta del procés indirecte via làctic, el qual el producte que s'obté és denominat polilàctic. Pel que fa al segon sistema, fa referència a un procés directe de polimerització per policondensació, produint així l'àcid polilàctic.

Es farà un major incís en el segon mètode, ja que fa referència a un dels dos compostos necessaris per obtenir el material biodegradable. Aquest via, utilitzada per Mitsui Chem, consisteix en fer un policondensat de l'àcid làctic directament amb polímers d'alt pes molecular, per tal de manipular l'equilibri entre: l'àcid làctic, aigua i l'àcid polilàctic en un solvent orgànic.

3.2.6.- El Blat.

El blat és el nom d'algunes espècies de plantes del gènere *Triticum*, més concretament de la família de la Poàcies. Dintre aquest grup, en trobem algunes les quals la seva llavor es fa servir com a aliment.

El blat és un dels tres grans més produïts globalment, juntament de l'arròs i el blat de moro, i el més consumit per l'home de la civilització occidental des de l'antiguitat; sent així la base alimentària dels pobles d'Europa i l'Orient Pròxim. El seu conreu tant es pot realitzar en climes subtropicals (conreu d'estació freda) on es cull durant el mes d'Abril, fins a climes temperats-freds on es recull el cultiu al mes de Setembre. (Garzara, n.d.)

Es distingeix dos tipus de varietats de blat, els de gra dur i de gra tou. El primers solen cultivar-se en llocs on l'hivern es molt fred com ara Rússia, mentre que els segons, amb predomini a les zones d'Estats Units i Canada, es sembren a la primavera. Tot hi això, és molt important que es compleixin quatre condicions per al seu conreu: (Garzara, n.d.)

- **Clima:** Temperatura mínima de 3°C i màxima de 30°C, sent una temperatura òptima entre 10 i 25°C.
- **Aigua:** Es tracta d'un producte amb un baix requeriment d'aigua, ja que es poden conrear en zones on la quantitat anual de precipitacions oscil·li entre els 25 i 2.800mm. Tot hi això, s'ha de considerar que durant el mes abans d'espigar, no pot haver-hi una maca d'aigua.

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

- **Terra:** No tots els terrenys són aptes per el seu cultiu. Només ho seran aquells que siguin profunds, fèrtils i/o lliures d'inundacions, en els que el seu pH oscil·la entre 6,0 i 7,5.
- **Humitat:** Es requereix una humitat relativa entre el 40 i 75%. Durant l'època de l'espigat fins a la seva collita, s'exigirà uns condicions del 50 i 60% de humitat i un clima sec per afavorir la seva maduració.

El blat es caracteritza per disposar d'una arrel en cabellera, fet que ens indica d'un tipologia d'arrel amb nombroses ramificacions que poden assolir una profunditat entre 0'25 i 1m. D'altra banda, la tija (canya buida amb 6 nusos) pot arribar a una alçada entre 0'5 i 2m. A diferència de les arrels, aquesta no disposa de tantes ramificacions. Pel que fa a les seves fulles, tenen són de forma lineal, allargades i acabades en punta. Finalment, es troba la seva espiga anomenada inflorescència, la qual esta composta per un raquis on s'hi poden trobar unes 20 o 30 espiguetes en forma alterna, portant cadascuna d'elles nou flors.

La classificació del blat es fa d'acord amb la textura de l'endosperma, ja que aquesta característica del gra està lligada amb la seva forma de fraccionar-se en la motllura. Aquesta forma de classificació del blat dona lloc a un gran normes de grups i/o famílies. De tots ells, el més importants de cara al comerç són el *Triticum durum* (utilitzat per pastes i macarrons), el *Triticum aestivum* (utilitzar per el pa) i el *Triticum compactum* (per les galetes). (Garzara, n.d.)

Com s'ha esmentat en els paràgrafs anteriors, el blat forma part d'un dels tres grans més produïts a escala mundial. La millora de les tècniques per el seu conreu i la selecció genètica han sigut els principals causants d'aquest fet. L'augment del rendiment així com de les superfícies conreades, han conduït a que de les 275 milions de tones produïdes l'any 1965, s'assolissin uns 628 milions de tones l'any 2005.

Actualment, es produeixen 100Kg de blat per cada habitant i any. La majoritat de la seva producció es destina a l'alimentació com podria ser el cas del pa, galetes, pastes alimentàries, etc. També es bastant utilitzar com a additiu en l'elaboració de la cervesa o altres licors.

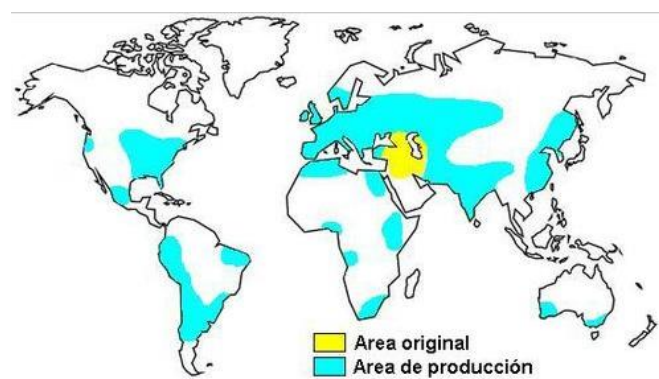


Figura 10. Conreu de Blat al món

(FAO, 2006)

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

Tal hi com es pot observar a la Figura 10, es pot trobar collites de blat en tots els continents degut a que es tracta d'un producte que creix en una gran diversitat de latituds, climes i sòls, malgrat que les zones temperades resulten ser les més idònies per el seu cultiu. Segons dades obtingudes l'any 2005, els 3 principals països productors de blat van ser la Xina amb 96,3 milions de tones, la Índia amb 72 milions de tones i els Estats Units amb 57,1 milions de tones respectivament.

3.3.- Estudis d'investigació realitzats.

Avui dia, l'estudi de materials compostos d'àcid polilàctic reforçat amb fibres naturals és relativament nou, més concretament de 10 anys ençà. Alguns estudis dels quals s'han pogut extreure millor resultats i/o conclusions es mostren a continuació de forma cronològica.

3.3.1.- Effect of fiber Surface-treatments on the properties of laminated biocomposites from poly (lactic acid) (PLA) and kenaf fibres. (M.S. Huda, Drzal Mohanty, & Misra, 2008)

Un dels principals objectius d'aquest estudi era l'addició de fibres naturals de diferent procedència a una matriu de PLA. Es va comprovar, no només de la dificultat que suposava reforçar la matriu mitjançant fibres, sinó que la resistència a flexió del conjunt d'esforços que es van emprar, experimentava una disminució respecte la del PLA sense reforçar.

Tal hi com s'ha explicat en els apartats anteriors, la qualitat de la interfase fibra-matriu és molt important per l'augment de la resistència mecànica, tant a flexió com a tracció. Aquest fet va ser un dels causants que va fer obtenir una resultats mecànics molt dolent, degut a una baixa qualitat de la interfase.

3.3.2.- Mechanical properties of PLA composites with man-made cellulose and abaca fibres. Composites Part A: Applied science and manufacturing, 40(4), 404-412 (Bledzki, A. K., Jaszkievicz, A., & Scherzer, D., 2009).

El present estudi va consistir en determinar les propietats mecàniques d'un compost format per PLA amb fibres de cel·lulosa artificials, elaborat a partir d'un procés d'injecció. En ell, es va poder comprovar que el reforç de la matriu polimèrica va suposar un augment de totes les propietats mecàniques, com ara, tracció i impacte.

D'altra banda, a fi de poder arribar a unes conclusions més contundents, es van sotmetre mostres d'aquests materials a un procés de microscòpia electrònica de rastreig (SEM), per tal de poder analitzar les orientacions de les fibres i comprovar si existia una bona interfase fibra-matriu. En ell es va observar que la longitud de la fibra ja estava afectada de forma significativa durant el procés de composició.

3.3.3.- Influence of accelerated ageing on the physico-mechanical properties of alkali-treated industrial hemp fibre reinforced poly (lactic acid)(PLA) composites. *Polymer Degradation and Stability*, 95(1), 59-65. (Islam, M. S., Pickering, K. L., & Foreman, N. J., 2010).

L'estudi va consistir en sotmetre a un procés d'envelliment accelerat dos tipus de compostos diferents. Ambdós casos disposaven d'una matriu polimèrica (PLA). Un d'ells reforçat per fibres de cànem sense tractar, i l'altre amb tractament.

Per dur a terme l'envelliment d'aquest compostos, es va fer ús d'un radiador UV, així com una polvorització d'aigua a una temperatura de 50°C durant quatre interval de temps diferents.

Finalitzat el procés esmentat, es van comprovar les propietat mecàniques de les quals es va concloure les ambdós compostos experimentaven un descens de les resistència a tracció, flexió, mòdul de Young, i resistència a la fractura. Per contra, els dos materials se'ls incrementava la seva resistència a l'impacte.

Un últim aspecte que es va observar, va ser que els materials compostos reforçats amb fibres de cànem sense tractar, experimentaven un major descens de les seves propietats vers els que disposaven un tractament.

3.3.4.- Acoustic properties of agroforestry waste Orange pruning fibres reinforced polypropylen compòsits as an alernative to laminated gypsum boards. (Reixach et al., 2015)

L'estudi en qüestió va consistir en analitzar les propietat acústiques d'aquells materials compostos amb matriu polimèrica de polipropilè reforçada amb fibres provinents de la poda de taronger.

Al llarg de l'estudi es van dur a terme un seguit d'assajos com per exemple, l'assaig a tracció de provetes i l'assaig a la resistència al flux del so. Cal destacar que els resultats obtinguts són sorprenentment bons, ja que poden arribar a assolir índexs molts semblants als que ens pot oferir el cartró-guix.

3.3.5.- Continuous flame-retardant actions of two phosphate ester with expandable graphite in rigid polyurethan foams. (Xi, W., Qian, L., Huang, Z., Cao, Y., & Li, L., 2016).

Aquest estudi tenia com a objectiu incorporar tres classes de retardants de flama (DMMP, EG i BH) a un sol sistema per tal comprovar si endarrerien el seu efecte als RPUF. Per fer-ho, es van crear diferents provetes amb escumes retardants de la flama a base de poliuretà amb metilfosfonat de dimetil.

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

Els resultats obtinguts mostren un augment del valor LOI respecte els materials que no se'ls va incorporar aquestes espumes. D'altra banda, va fer disminuir el valor màxim de velocitat d'alliberament de calor, juntament del total alliberat, així com mantenir el calor efectiu de combustió.

A través de l'anàlisi termogravimetria (TGA), es va confirmar que l'efecte sinèrgic va ser causat per l'alliberament de calor continuat provocat per les escumes retardants de flama.

3.3.6.- Towards a good interphase between bleached kraft softwood fibers and poly (lactic) acid. *Composites Part B: Engineering*, 99, 514-520. (Granda, L. A., Espinach, F. X., Tarrés, Q., Méndez, J. A., Delgado-Aguilar, M., & Mutjé, P., 2016).

El present treball pretén obtenir biocomposites de PLA amb una bona interfase fibra-matriu a fi d'aconseguir unes millores de les prestacions mecàniques al reforçar les matrius polimèriques. Així doncs, es van afegir diferents quantitats de diglima a fibres de fusta tova kraft blanquejades per tal d'evitar una aglomeració de les fibra durant la composició. Un altre tipus de reforç que es va utilitzar va ser pastes papereres de borrisol o bé pedra triturada (SGW).

A partir de l'obtenció dels resultats, es va fer una comparativa amb altres estudis, per concloure que la fibra tracta amb 2/3 de diglima s'aconsegueix una progressió lineal i positiva de la resistència a tracció a mesura que s'augmenta la quantitat de reforç.

3.3.7.- Estudi de material compost biodegradable a base de residus de Colza i PLA per a la fabricació d'elements de divisions interiors en la construcció. (Costa J., 2016)

L'estudi en si, va anar focalitzat a la obtenció d'un material com a sistema constructiu en sec i fix. Al mateix temps havia de tractar-se d'un material biodegradable per tal de resoldre problemes en matèria de gestió de residus que pateixen alguns dels productes que tenim al mercat avui dia.

Un altre objectiu de l'estudi era analitzar la influència de les fibres naturals en el material compost i comprovar/comparar la seva aptitud com a envans o elements divisoris.

Es tracta d'un estudi realitzat fa cosa de 1 any, fet per en Joan Costa i Burch, un ex-alumne de la Universitat de Girona. És per aquest motiu, a més de la proximitat, que crec que és necessari aprofundir i/o analitzar els resultats i conclusions extrets un cop feta la investigació.

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

Seguidament es comentarà les característiques més importants de cadascuns dels assajos realitzats, així com les conclusions extretes en cada cas. Totes les conclusions extretes dels assajos que es faran referència a continuació, s'han fet en base a una comparativa entre la colza triturada i la pasta mecànica, ambdós elaborats per processos de premsat i injectat.

Assaig a Tracció.

Per realitzar aquest assaig es va utilitzar provetes fetes per els processos de premsat i injectat. A més, per obtenir una mitjana, es van assajar un total de 10 provetes de cada tipus.

Dit això, un cop obtinguts els resultats, es va poder observar que els resultats d'aquells materials processats a través de sistema de premsat van ser molt inferiors als del sistema d'injecció, és a dir, tenen una menor resistència.

Un altre aspecte a destacar és al mòdul de Young, on la seva evolució segueix una tendència lineal en relació al contingut de fibra del compost. Per tant, ens indica que la rigidesa no depèn de les propietats de la interfase.

D'altra banda, com menor sigui la interacció del Àcid polilàctic amb el reforç, menys deformabilitat experimentaran els materials compostos reforçat amb colza triturada.

De les conclusions finals extretes, considero adient destacar-ne dos d'elles:

- Les provetes obtingudes a través d'un procés de premsat se n'obtenen pitjors prestacions que les d'injectat, a causa de la superfície menys regular.
- Amb pasta mecànica es van obtenir millors resultats que amb la colza triturada, degut a una major superfície de contacte entre el PLA i el reforç.

Assaig a flexió.

Per l'elaboració d'aquest estiu s'han utilitzat un total de set provetes dels materials estudiats, obtinguts de les mateixes formes que pels assajos a tracció.

Si es fa una comparativa del cartró-guix (material el qual volem substituir) amb els compostos, s'observarà que aquests obtenen uns resultats clarament superiors. Un clar exemple podria ser el cas del material compost amb un 30% de fibra, en el que aquest, s'aconsegueix fins a 15 vegades més de resistència que el cartró-guix.

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

Un altre aspecte que mostra una superioritat en quan a prestacions del material compost respecte al cartró-guix, és la rigidesa. Els seus mòduls de flexió van augmentar fins a un 660% per el PLA amb un 30% de fibra.

Com a conclusions finals, cal destacar-ne les següents:

- En relació al cartró-guix, el nou compost biodegradable va obtenir unes prestacions clarament superiors.
- Els materials compost fabricats per el sistema d'injecció, es caracteritzen per tenir una major rigidesa respecte el PLA sense reforçar i el cartró-guix.

Anàlisi per simulació d'elements finits.

Per fer l'anàlisi en qüestió, a través del programa informàtica SolidWorks, es va dibuixar un panell d'uns dimensions determinades, 2100x2100mm, subjectat amb cargols metàl·lics perforadors de 1,75mm de diàmetre amb una separació màxim entre ells de 20cm. Segons normativa, l'esforç que s'havia d'aplicar damunt del panell era de 400N/mm² a una alçada de 1'2m respecte el terra.

Un cop aplicat l'esforç, es va observar que la deformació màxima que s'havia assolit era de 3'31mm, concretament a la zona de l'impacte, mentre que en el punts de fixació, la deformació va ser pràcticament nul·la.

Seguidament es va fer una simulació d'una situació real i/o comuna que es podria donar a qualsevol edifici. Aquesta era el clavament d'un quadre en el panell del material compost. Ja amb l'assaig fet, es va obtenir un valor màxim de deformació de 0,013mm, és a dir, una deformació pràcticament inapreciable.

Com a conclusió final, es tracta d'un material compost que compleix perfectament les exigències establertes per el Codi Tècnic de l'Edificació, i en el que podria tractar-se d'un producte apte per aquest tipus de situacions o aplicacions.

Assaig a Impacte.

Per determinar les propietats mecàniques a impacte es va utilitzar el mètode de Charpy, en el que consistia en assajar provetes amb i sense entalla. Al igual que l'assaig a tracció, es va necessitar 10 provetes de cada tipus.

En aquest anàlisi es pot tornar a comprovar, com ja s'havia vist a altres assajos, que les provetes elaborades amb material injectat (pasta mecànica) van obtenir millors resultats que les de premsat. Un dels motius d'aquest fet, es per la major rugositat que presentaven els materials amb millors prestacions.

Aquest tipus d'assaig, va permetre analitzar el treball necessari per generar la fractura a les provetes. Ja amb els resultats obtinguts, es va comprovar que el mètode de fabricació de les provetes (per premsat o injectat), va afectar de forma clara, degut a que les provetes premsades presentaven valors negatius envers als positius del mètode per injecció.

D'altre banda també es va poder comprovar, que com major era l'addició de fibres, menys energia es necessitava per generar una fractura.

Una de les principals conclusions extretes es que el procés d'injecció permetia aconseguir un material amb una superfície més integrada que el premsat. Aquest es el motiu pel qual els resultats obtinguts per el mètode d'injecció són clarament superiors als de premsat.

Estudi Termogravimetria.

L'objectiu d'aquest assaig era determinar el comportament del material compost front el foc, per tant, es va haver de realitzar a l'aire lliure, per tal que fos més comparable a les condicions ambientals que envolten l'entorn.

Amb l'anàlisi es va poder observar que els reforços presentaven més quantitat de residus sec que la matriu degut al contingut de material inorgànic. Això, significa que en cas d'incendi, la major presència de càrrega inorgànica, suposaria més quantitat de cendres, per tant, dificultaria el degoteig del material cremat així com la propagació del foc.

Algunes de les conclusions finals extretes van ser les següents:

- La degradació la dividim en dos etapes: Primerament parlaríem de la degradació de la lignina i posteriorment de les hemicel·luloses.

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

- En comparació al cartró-guix, els materials compostos per PLA i fibra presenten un comportament negatiu front el foc.
- L'addició de fibra natural va ser positiu, ja que va permetre retardar el temps de inflamació i evitar el degoteig de la flama.

Burning Test.

El Burning Test es tracta d'un tipus d'assaig en el que es pot determinar el comportament del material front el foc a través de diferents aspectes, com per exemple, el color de la flama i del fum, el temps que la flama tarda en calar el material, el degoteig de la peça, entre d'altres.

Durant l'assaig, un cop es va aconseguir que la flama prengués a la proveta de PLA, aquesta era blava i emetia un fum blanc. També es va observar que el PLA no extingeix la flama a més de generar un degoteig del material cremat. Això, és un factor negatiu, ja que podria generar una propagació del foc.

Acte seguit es va repetir el procés amb el PLA amb fibra natural, en el que es va observar que l'addició d'un reforç provocava un efecte retardant a la inflamació. Però, un altre factor d'especial rellevància, va ser el no degoteig d'aquest. Això va ser degut a la major quantitat de fase inorgànica, la qual incapacitava el foc a fluir.

Dit això, sobre l'assaig al foc, es van poder extreure un parell de conclusions:

- En comparació al cartró-guix, els materials compostos de PLA amb fibra natural va presentar un comportament front el foc negatiu.
- Malgrat tenir un comportament negatiu, la incorporació de fibra va ser positiva, degut a que va actuar com element retardant de la inflamació i evitar el degoteig.

Per tant, com a conclusió final, el comportament front el foc, és un dels handicaps del material compost.

Anàlisi de la conductivitat tèrmica.

La realitzar d'aquest determinat assaig va poder comprovar que el comportament del PLA respecte al cartró-guix era clarament millor, sent fins a 3 vegades superior. Aquest fet, podria suposar un reducció de l'ús de materials aïllants i conseqüentment del gruix de les parets, permeten així, disposar de estances més grans.

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

Va quedar demostrat que la incorporació de fibra en el PLA suposava una millora considerable en quan a les prestacions tèrmiques. En canvi, sense la incorporació de fibres naturals, el PLA obtenia un valors més baixos que el cartró-guix.

Conclusió / Comparativa de resultats.

Per últim es farà una petita comparativa del resultats obtinguts ens els assajos esmentats anteriorment, així com una conclusió final.

De tots els compostos que es van utilitzar, es va escollir el fabricat a base d'injecció amb pasta mecànica, ja que presentava millors prestacions. A continuació, es mostra un quadre per tal de comparar els diferents materials compostos respecte al cartró-guix en els diferents assajos.

Taula 2. Comparativa de resultats (Joan Costa, 2016)

Producte	Gruix (mm)	σ_t (MPa)	σ_f (MPa)	K (W/m-K)	Burn Test
Cartró-guix	12,5	-	2,53	0,1572	Apte
PLA	3	51,22	60,52	0,0526	No apte
PLA+30%Col	3	36,59	67,41	0,0494	No apte
PLA+40%Col	3	47,48	80,56	0,0515	No apte
PLA+50%Col	3	38,58	71,67	0,0624	No apte

Com a conclusió final, cal esmentar que els resultats tant mecànics com tèrmics són molt positius respecte el cartró-guix. Per contra, no es pot dir el mateix sobre el comportament front el foc, tal hi com es pot veure a la taula anterior, on el Burning Test, determina que el compost no es apte per l'ús a que es vol destinar.

4.- Materials, Equips i Metodologia.

4.1.- Materials.

4.1.1. Fibra Natural.

El nostre material compost està format per 2 components. Un d'ells, és un material fibrós, més concretament la Palla de Blat subministrada en forma de bales de palla i composició irregular, tal hi com es pot observar la Figura 27.

4.1.2.- Àcid polilàctic.

Es tracta d'un polímer termoplàstic biodegradable que s'obté a partir del midó extret del blat de moro. Això fa que aquest material disposi d'una resina que el permeti ser injectat, extrusionat, o bé termoformat. Cal destacar que és soluble amb certs tipus de dissolvents com ara els organoclorats, mentre que amb l'aigua no ho és. Finalment, es caracteritza per tenir una densitat que oscil·la entre el 1,21 – 1,43g/cm³, una temperatura de fusió de 150 – 160°C i un 40% de cristallinització.

El procés d'obtenció del PLA comença a partir de l'extracció de midó del blat de moro tal hi com s'ha esmentat en el paràgraf anterior. Després el microorganismes el transformen en una molècula més petita d'àcid làctic, la qual es polimeritza formant així cadenes amb un estructura molecular semblant als productes Petroquímics.

El Àcid polilàctic farà la funció de matriu per l'elaboració del material compost biodegradable. Concretament s'ha fet ús del Àcid polilàctic model 4043B.

4.2.- Equips.

4.2.1.- Molí de Fibres.

Es tracta d'un molí de l'empresa Agrimsa, el qual s'ha utilitzat per poder realitzar la trituració de la fibra (Palla de Blat), i així poder procedir al seu mesclat amb el PLA posteriorment.

El procés d'obtenció de la fibra triturada és tant simple com introduir el Palla de Blat per la tremuja del molí que la conduirà cap a un eix de tres gavinetes col·locades longitudinalment, encarregades de executar el triturat de la palla. Finalment, es va disposar un tamís amb un pas de llum de 1mm a fi d'aconseguir una uniformitat en la mida del material ja triturat.



Figura 11. Molí de fibres..

4.2.2.- Estufa.

Està formada per un sistema d'aire calent de recirculació forçada per garantir una evacuació de la humitat, és a dir, ens permet assecar el material.

S'haurà de col·locar el material a l'interior de l'estufa unes 2 hores aproximadament, a una temperatura de 80°C previ a l'obtenció del material compost o a la fabricació de les planxes.

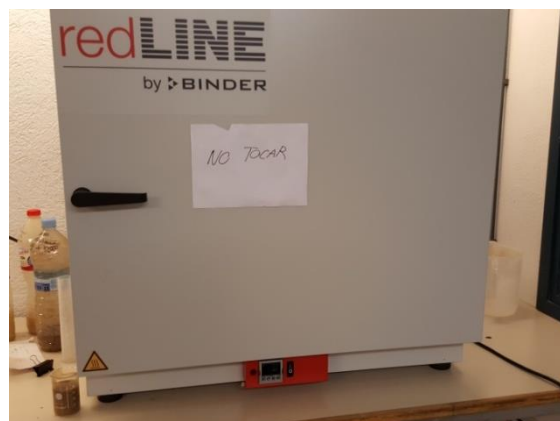


Figura 12. Estufa

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

4.2.3.- Mesclador cinètic d'alta intensitat.

Aquest mesclador cinètic d'alta intensitat serà la màquina encarregada de barrejar la fibra i el PLA per acabar obtenint el material compost.

Per controlar la màquina i garantir un bon funcionament, serà necessari disposar d'un equip extern, concretament d'un ordinador. A través d'ell, podrem establir les diferents condicions de treball així com modificar les revolucions de l'eix de rotació d'acord amb les necessitats.

El mesclador, disposa d'un zona de càrrega de material, que tal hi com diu el propi nom, serà el punt des d'on s'introduirà el material a l'interior de la màquina. El material un cop abocat, serà conduït cap a la cambra de mescla on hi trobarem un eix central format per hèlices.

Per garantir la rotació de l'eix central i així podem generar energia cinètica als dos materials, serà necessari disposar d'un motor elèctric. Aquesta energia cinètica provocarà una continua fricció dels materials amb les parets de la cambra de mesclat, fet que produirà un augment de la temperatura d'aquests, fins al punt de fondre el plàstic. Arribats a aquest punt, la fibra s'incorporarà a l'interior de la matriu, obtenint el material compost, previ a la seva expulsió de la màquina.

A fi de evitar un sobreescalfament de la mescladora, aquesta anirà equipada per un sistema de refrigeració per aigua que estarà en funcionament al llarg de tot el procés de mesclat.



Figura 13. Mesclador cinètic d'alta intensitat

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

4.2.4.- Molí

Aquesta màquina serà l'encarregada de triturar el material compost (Fibra + PLA) per acció d'un premsat i mecanitzat, i així fabricar les planxes amb la premsa de plats calents.

El molí utilitzat és de la casa comercial REISCH, el qual està compost per un element de secció quadrada anomenat tolva, que connecta amb la cambra de triturat. En ella, hi trobarem un eix circular compost per varies dents que permetrà mitjançant el seu sistema de gir, la trituració del material.



Figura 14. Molí

4.2.5.- Picnòmetre.

El tipus de picnòmetre usat ha estat el *Picnòmetre de Gay-Lussac*, el qual fa referència a un recipient de vidre tapat amb un tap llarg perforat, que a través d'un capil·lar, permet mesurar volums amb gran precisió.

Així doncs, i gràcies a aquest aparell, s'ha determinat la densitat del material, d'acord amb la corresponent dosificació, per tal de saber quina es la quantitat de material necessària per la fabricació de les planxes.



Figura 15. Picnòmetre

4.2.6.- Bàscula digital.

S'ha fet un ús d'aquest aparell per tal de determinar la quantitat de material necessària per la fabricació de les planxes mitjançant la premsa de plats calents.



Figura 16. Bàscula digital

4.2.7.- Premsa de Plats Calents.

És una màquina de la casa comercial Fontyne Presses que, tal hi com diu el seu nom, està formada per dos plats calefactats de dimensions 40x40cm. Cadascun d'ells, disposen d'un sistema hidràulic que acciona un pistó a fi d'aplicar la pressió desitjada sobre el motlle en el que prèviament se li haurà abocat la quantitat de material necessària per obtenir unes planxes de dimensions 31x20cm.

A banda d'aplicar pressió sobre el motlle, serà necessari establir un temperatura de fusió del material per tal d'aconseguir una superfície homogènia i de gruix constant. És per això que serà molt important col·locar el motlle el més central possible dels plats.

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

Un cop finalitzat aquest procés, s'iniciarà un procés de refrigeració del motlle a través d'aigua. Això, ens permetrà baixar la temperatura del motlle per tal de poder-lo desemmotllar.



Figura 17. Premsa de plats calents

4.2.8.- Micròmetre LAF.

Es tracta d'un aparell que permetrà mesurar amb precisió el gruix de les planxes obtingudes de la premsa de plats calents de l'ordre de mil·lèsimes de mil·límetre. Aquesta exactitud es gràcies a un cargol roscat que es troba al seu interior.



Figura 18. Micròmetre LAF

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

4.2.9.- Serra de cinta.

Es tracta del model HBS 351-2 de la casa comercial Holzstar, que ha permès realitzar el tall de les provetes un cop fabricat els materials compostos. Es caracteritza per disposa d'una serra de cinta de oscil·lació vertical en sentit ascendent i descendent, capaç de tallar de forma segura fusta, plàstics o metalls no fèrrics.

Per permetre aquest tall, la màquina disposa d'un motor que subministra una potència de 1KW / 230V amb una velocitat de tall que oscil·la entre 438 i 900m/min. També, es capaç de tallar materials de 200mm de gruix i/o 345mm d'amplada.



Figura 19. Serra de cinta

4.2.10.- Polidora.

Mitjançant la polidora de la casa comercial Rexion Industrial Corp. LTD, es realitzarà el polit del perímetre de les provetes, per tal de aconseguir un bon acabat final. Aquesta disposa d'un cinta de dimensions 102 x 914mm que rota a una velocitat de 450m/min gràcies a una motor capaç de subministrar una potència de 450W i 50Hz. A banda de la cinta, l'equip disposa de dos sistemes més per fer el polit de les provetes o altres materials, concretament a través d'un disc o un tambor.



Figura 20. Polidora

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

4.2.11.- Màquina universal d'assajos.

L'aparell de la casa comercial IDMtest, ha permès realitzar els assajos a flexió i tracció, doncs es disposa de dos models intercanviables d'acord amb el tipus de propietats que es vulguin determinar. En referència a l'equip que permet calcular les propietats a tracció, estarà compost per 2 mordasses les quals subjectaran la proveta pels seus extrems i l'estiraran fins a provocar el seu trencament. A més, s'utilitzarà un extensòmetre que mesurarà el mòdul.



Figura 21. Màquina universal d'assajos. Equip per Tracció.

Pel que fa a l'assaig de flexió de les provetes, l'equip estarà format per un base de dos suports on s'hi recolzarà la proveta, i un punxó encarregat de pressionar la proveta. En el moment de l'assaig, la proveta estarà en contacte per tres punts, motiu pel qual, es anomena assaig de flexió a 3 punts. La recopilació i tractament de dades es farà amb el programa Registra III.



Figura 22. Màquina universal d'assajos. Equip per Flexió.

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

4.2.12.- Pèndol d'impacte.

Es tracta d'un aparell equipat d'un martell Resil 5'5 de la casa comercial Ceast, capaç de determinar l'energia absorbida necessària per generar una fissura així com la seva propagació.

L'equip es caracteritza per tenir una funció senzill, es deixa caure el martell per colpeja la mostra que es trobarà recolzada sobre un suport. En funció del tipus de martell que s'utilitzi, així com la posició de la proveta, determinarà el tipus d'assaig que s'estigui duent a terme.

En la majoria de casos, totes les provetes hauran d'estar assajades per dues metodologies diferents, concretament pel sistema de Charpy i per Izod.



Figura 23. Pèndol d'impacte

4.2.13.- Peu de rei.

El peu de rei o nònius és un instrument de mesura usat en la fabricació de tot tipus d'objectes. Sol estar graduat en mil·límetres, doncs permet determinar el gruix d'una placa, el diàmetre d'una barra amb un error no superior a 0,05mm.

A través del sistema d'escales anomenat nònius, es podrà llegir variacions molt petites en la dimensió que s'està mesurant. Generalment es troben dos tipus de peus de rei diferents, els convencionals i els digitals. Els primers, la forma de mesurar es completament manual i/o mecànica, mentre que els segons, permeten llegir el valor directament d'una petita pantalla sense necessitat d'utilitzar un nònius.

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

4.2.14.- Caixa tèrmica.

L'aparell en qüestió (Figura 25), està compost per una caixa calenta guardada i una de freda o també coneguda com caixa de calibrat. Ambdues, estan dissenyades per reproduir situacions límits convencionals d'una proveta col·locada entre dos fluids, generalment en aire ambient, on cadascun d'elles es troba en una temperatura constant.

La proveta es col·loca entre la cambra calenta i la freda mitjançant un porta-provetes (Figura 24), les quals es controlaran les seves temperatures ambientals.

A fi de reduir al màxim les pèrdues tèrmiques de les parets que conformen les dues caixes, aquestes disposaran d'una construcció d'alta resistència tèrmica a través d'un aïllament de suro.

Mitjançant quatre termopars o sondes, es realitzarà les mesures de les temperatures de la cara calenta i freda de la proveta, així com les d'ambient de cada una de les cambres que formen la caixa tèrmica. Per fer la recopilació de totes les dades numèricament i gràficament, es farà ús d'un software informàtic anomenat Fourtec (DataSuite).

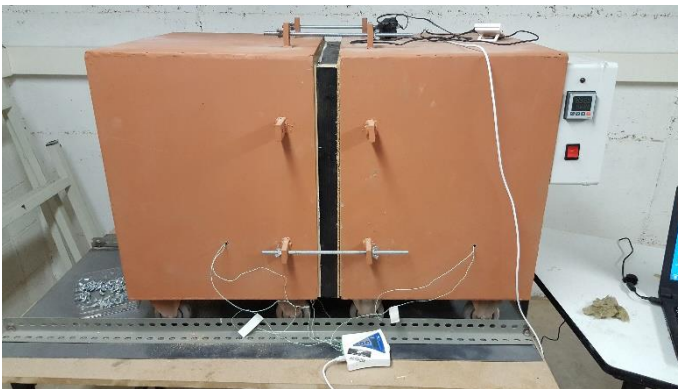


Figura 25. Caixa Tèrmica



Figura 24. Porta provetes

4.2.15.- Mesurador d'angle de contacte.

Es tracta d'un aparell de la casa comercial Krüss, model DSA25, el qual permet mesurar de forma senzilla i fiable l'angle de contacte que es genera entre un component líquid i un de sòlid. A través d'una simple prova d'humectació, l'instrument és capaç de proporcionar un ventall d'opcions per a l'anàlisi de la humectació i/o adherència sobre superfícies sòlides.

Per dur a terme aquesta mesura de l'angle de contacte, és necessari disposar d'un equipament d'il·luminació i uns elements òptics d'alta qualitat. L'aparell, no només està pensat per realitzar proves humectants sinó que també, permet mesurar la tensió superficial de líquids.

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

Els resultats il·lustren la relació entre la humectació del sòlid i les propietats del líquid, permeten així una optimització dels dos components.

A banda d'aquest aparell, per tal de poder determinar tots els paràmetres de mesurar, juntament amb els intervals de temps, serà necessari disposar d'un software informàtic anomenat Advanced Krüss.



Figura 26. Mesurador d'angle de contacte

4.3.- Metodologia experimental.

4.3.1.- Trituració de la fibra.

La palla de Blat (Fibra) es va obtenir en forma de bala de palla tall hi com es pot observar a la Figura 28 de continuació. Per procedir a la trituració d'aquesta, es va utilitzar un Molí de Fibres el qual disposa d'un tamís que ha permès obtenir una palla de 1mm com a màxim. No només garantirà una uniformitat en les dimensions d'aquesta, sinó que serà primordial per tal de garantir una bona barreja amb el material plàstic (PLA).

Finalment, un cop tota la palla es tritura, es diposita a l'interior de l'estufa a una temperatura de 80°C per tal de poder eliminar tota la humitat que pugui tenir abans de començar a obtenir el material compost.



Figura 27. Palla de blat

4.3.2.- Obtenció del material compost.

Un cop tenim la palla tritura i assecat es procedirà a fer la mescla d'aquesta amb el PLA. Per fer-ho, s'utilitzarà el mesclador cinètic d'alta intensitat, del qual s'obtindrà el material compost en forma pastosa. El procediment ha seguir per la seva elaboració serà el següent:

1. Primerament, s'utilitzarà 1.000gr de Polipropilè per netejar la mescladora i eliminar qualsevol tipus de partícula procedent d'altres processos de mesclat anteriors al nostre. Durant aquest procés de neteja, s'aprofitarà per preparar les proporcions tant de fibra com del PLA per elaborar uns 1.000gr de material compost.

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

2. Acte seguit, amb la porta de descàrrega de material tancada, es farà la càrrega del materials. En primer lloc s'abocarà la fibra natural (Palla de Blat) i seguidament el PLA. Durant el període de temps que s'estigui fent la introducció dels materials a l'interior de la mescladora, serà necessari que aquesta tingui una certa velocitat, unes 300 rpm. Ambdós materials aniran a parar a un cilindre on hi trobarem un vis sense fi que els conduirà cap a la cambra de mesclat.
3. A continuació, es tancarà les comportes d'alimentació per evitar qualsevol tipus de fuga, i es procedirà a iniciar el procés de plastificació de la matriu i extrusió del material compost. Per dur-ho a terme, a través d'un ordinador extern a la mescladora es farà augmentar la velocitat de gir de l'eix de forma progressiva fins a assolir unes 2.800 rpm, provocant així un augment de la temperatura. El PLA es fondrà i envoltarà la fibra natural, obtenint així el material compost. Per controlar el moment que s'haurà de fer la descàrrega del material, s'utilitzarà un indicador d'amperímetre que mesurarà la intensitat consumida. A l'instant que s'observi un descens sobtat d'aquest, es farà la descàrrega del material.
4. Un cop extret el material compost, es procedirà de forma ràpida a dividir-lo en trossets de 10cm^3 aproximadament, per tal d'accelerar el seu procés de refredament a més de facilitar la seva trituració a posteriori.



Figura 28. Divisió del material compost

Aquest procés, es repetirà per l'obtenció dels diferents materials compostos, un d'ells corresponent a un 20% de fibra natural i l'altre a un 30%. Serà molt important que entre els diferents processos de mesclat es faci una neteja de la mescladora mitjançant polipropilè per eliminar partícules restants.

4.3.3.- Trituració material compost.

Amb el trossets de material compost completament refredats, es realitzarà el procés de trituració d'aquests amb el molí a fi d'obtenir la gransa necessària per la fabricació de les provetes a través d'un procés de premsat i mecanitzat.

És d'especial rellevància esmentar la necessitat de netejar el molí abans de realitzar el triturat d'un altre material de proporcions de fibra natural i PLA diferents, per tal d'evitar possibles contaminacions. Un cop obtinguda la gransa, la es col·locarà a l'interior de l'estufa a una temperatura de 80°C per evitar que agafi humitat.



Figura 29. Gransa

4.3.4.- Fabricació de planxes.

La fabricació de les planxes es realitzar mitjançant la premsa de plats calents. El procediment a seguir serà el següent:

1. Primerament s'escalfarà els plats fins a una temperatura de 200°C.
2. Durant el procés d'elevació de la temperatura dels plats, s'aprofitarà per col·locar paper de forn al motlle per tal de poder desemmotllar amb major facilitat després del procés de premsat.
3. Seguidament, a través de la bàscula digital, s'agafarà una mostra de 300gr.
4. Després s'emplenarà el motlle, garantint així un bon repartiment del material.
5. Acte seguit, es col·locarà l'última peça del motlle que farà la funció de tapa, i s'introduirà a l'interior de la premsa un cop els plats tinguin una temperatura de 200°C. Cal recalcar que el motlle haurà d'anar centrat a la premsa, doncs es garantirà una bona transmissió de la càrregues.
6. A continuació, es posaran els plats i el motlle en contacte entre ells, aplicant un certa pressió. La diferència de temperatura entre els diferents elements, farà que la temperatura dels plats descendeixi. Un cop aquesta s'hagi estabilitzat novament, es començarà a aplicar una pressió de 150KN al llarg de 10min aprox.

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

7. Un cop transcorreguts els 10min, s'iniciarà el procés de refredament per aigua sense deixà d'aplicar pressió. Aquesta anirà descendint de forma progressiva, seguint l'esquema que es mostra a continuació:

Taula 3. Condicions procés refredament.

Temperatura (°C)	Pressió (KN)
200 - 150	120
150 - 100	100
100- 50	80
50 - 30	60

8. Per acabar, es retirarà el motlle de l'interior de la premsa per desemmotllar la planxa. Abans de repetir novament el procés, es netejarà completament el motlle per tal de retirar les partícules que hagin pogut quedar adherides.



Figura 30. Motlle

4.3.5.- Tall de provetes.

Un cop obtingudes les planxes dels materials compostos fabricats amb la premsa de plats calents, es disposarà a realitzar el tall d'aquestes, i així obtenir les provetes amb les dimensions establertes per cadascuna de les normatives d'aplicació.

Per dur a terme aquest procés, s'ha optat per fer ús de la maquinària anomenada serra de cinta per tal de aconseguir les provetes que s'hauran de assajar posteriorment.

4.3.6.- Polit i mesurat.

El procés de tallar les provetes no permet aconseguir una superfície llisa i regular en tot el seu perímetre. Aquest és el motiu pel qual abans de poder iniciar els corresponents assajos, s'haurà d'allisar aquesta superfície mitjançant una polidora.

D'altra banda, aconseguir una superfície regular a tot el perímetre de la proveta es primordial a l'hora de mesurar amb exactitud les dimensions d'aquestes. Per duu a terme aquest procés, s'utilitzarà un peu de rei digital (Figura 31). A través d'ell, es determinarà l'amplada i el gruix de cadascuna de les provetes obtingudes.



Figura 31. Peu de rei

4.3.7.- Càlcul densitat compostos.

Amb el material compost triturat en forma de gransa, es realitzarà el càlcul de les seves densitats. A continuació es fa esment del procés a seguir:

1. Primerament es procedeix a pesar el picnòmetre, aquest pes serà de denominat "T".
2. Un cop pesat, s'emplenarà de mostra el picnòmetre, concretament, més de la seva meitat, i es pesarà, denominant-lo "PB".
3. Seguidament, s'emplenarà el recipient d'aigua, procurant que no queda cap punt d'aire entre partícules. Quan es tingui el picnòmetre emplenat fins al límit que estableix el coll del tap, es realitzarà un tercer pesat, denominant-lo "PBH"
4. Finalment, es calcularà la densitat del material. S'adjunta a la següent pàgina un exemple del càlcul.

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

COMPOST 1: 20% Palla de Blat + PLA.

- Pes Picnòmetre → T = 51,4723gr.
- Pes Picnòmetre + Material → PB = 73,9333gr.
- Pes Picnòmetre + Aigua → PH = 101,2480gr.
- Pes Picnòmetre + Material + Aigua → PBH = 104,0081gr.

Massa del Material = $73,9333 - 51,4723 = \underline{22,461gr.}$

Pes Aigua = $101,2480 - 51,4723 = \underline{49,7757gr.}$

Quantitat d'aigua afegida de més = $104,0081 - 73,9333 = \underline{30,0748gr.}$

Quantitat d'aigua que no hi cap = $49,7757 - 30,0748 = \underline{19,7009gr.}$

(Suposem un temperatura ambient de 25°C, per tant, tenim)

$19,7009gr \times (1ml / 0,997gr) = \underline{19,760ml.}$

Densitat Material = $22,461gr / 19,760ml = \underline{1,137gr/ml.}$

4.3.8.- Assaig a tracció.

L'assaig a tracció consisteix en mesurar la força necessària per tal de deformar les provetes, mitjançant una velocitat de deformació constant, concretament de 2mm/min, i produint així, un esforç axial de tracció creixent fins que es produeixi el trencament.

Aquest tipus d'assaig s'ha d'executar d'acord amb les especificacions i/o condicions determinades per la normativa ISO 527-1:2012, així com les dimensions de les provetes, que seran de 125 x 12'7mm. Com hem fet esment en anterioritat, l'aparell disposa de dos mordasses encarregades de subjectar la proveta pels seus extrems. La mordassa inferior no es mou, mentre que la superior es desplaça a la velocitat parametrizada.

Per tal de mesurar amb completa exactitud la deformació de la proveta, es farà ús d'un extensòmetre, el qual mesurarà el desplaçament durant el càlcul del mòdul de Young.

Mitjançant aquest procés, es determinarà dos paràmetres, el Mòdul de Young i la resistència màxima a tracció de les provetes.

Determinació del Mòdul de Young

Per a duu a terme aquest procés, primerament es fixarà la proveta a les mordasses i es col·locarà l'extensòmetre totalment central en els tres eixos. Acte seguit, executarem l'assaig. Per la mesura del Mòdul de Young, la deformació ha d'estar compresa entre 0'05 i 0'25%. L'assaig, finalitzarà un cop es superi el 0'25% de deformació.

En el supòsit cas que observi que algun proveta es trenca abans d'assolir el 0'25% de deformació, s'aturarà l'assaig un cop assoleixi el 0'15%.

Determinació de la resistència màxima a tracció.

Per realitzar aquest assaig, s'ha utilitzat un mínim de 4 provetes de cada material compost. En aquest cas, per determinar la resistència màxima a tracció, no es farà ús de l'extensòmetre. Un cop realitzat l'assaig, s'analitzaran les següents propietats:

- **Esforç màxim:** Valor màxim obtingut en l'assaig, expressat en MPa.
- **Rigidesa del material:** Expressat en forma de Mòdul de Young. Ens determina la dificultat del material a ser deformat, mesurat en GPa. Aquesta propietat, al generar-se a la zona elàstica del material, permetrà aplicar la llei de Hooke.

$$\sigma = E * \varepsilon \quad (1)$$

on "σ" és l'esforç màxim (MPa), "E" és el Mòdul de Young (GPa), i "ε" és la deformació.

- **Deformació de ruptura:** Expressada en mm.
- **Deformació màxima:** Expressada en mm.

Ambdós situacions, el programa anomenat Registra III, s'encarregarà de enregistrar totes les dades per tal de poder-ne extreure unes conclusions finals.

4.3.9.- Assaig a flexió.

L'assaig en qüestió consisteix en determinar la resistència màxima a flexió de les provetes. Durant l'assaig, la meitat superior de la proveta estarà sotmesa a esforços de compressió, mentre que la meitat inferior, treballarà a tracció.

L'execució dels assajos serà d'acord amb les especificacions establertes per la normativa ISO 178:2011

El procés consisteix en col·locar la proveta recolzada per una base de dos suports separats 52cm. L'aplicació de la força sobre el material serà mitjançant un punxo que es desplaçarà en sentit vertical a una velocitat constant de 2mm/min.

A través d'aquest assaig, s'obtidran valors sobre la resistència a flexió a 3 punts (MPa), la deformació màxima (mm) i del Mòdul a flexió (GPa).

Resistència a flexió per 3 punts.

El càlcul d'aquesta resistència es farà a través de la següent expressió:

$$\sigma = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot w \cdot h^2}$$

On σ és la resistència màxima a flexió per tres punts (MPa), "F" és la força màxima que es necessita per trencar la proveta (N), "L" és la distància entre eixos dels dos punts de suport (mm), "w" és l'amplada (mm) i "h" és el gruix de la proveta (mm).

Determinació Mòdul Flexió.

Tal hi com s'ha esmentat anteriorment, el Mòdul de Flexió, s'origina quan el material entre en la zona elàstica. Per tant, l'expressió a aplicar és la següent:

$$E = \frac{L^3 \cdot F}{4 \cdot w \cdot h^3 \cdot \delta}$$

on "E" és el Mòdul Elàstic (%) i "δ" és la fletxa de la proveta (mm).

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

Prèviament a l'inici de l'assaig, s'introduiran les dimensions de la proveta que es vol assajar al programa informàtic Registra III. A més, aquest software s'encarregarà de recopilar totes les dades i extreure'n els resultats finals dels paràmetres resistència a flexió per 3 punts, mòdul de flexió i deformació màxima de la proveta.

4.3.10.- Assaig a impacte.

El present assaig realitzat és conegut com a Charpy, el qual ve regulat per la normativa UNE – EN ISO 179. A través d'ell, es determinarà l'energia absorbida per un material sotmès a una força executat a una velocitat concreta.

D'acord amb la tipologia de material que s'hagi d'assajar, comportarà l'establiment d'uns condicions determinades. En aquest cas, i tal hi com especifica la normativa de referència, sotmetrem a l'assaig a impacte un total de 10 provetes, 5 entallades i 5 sense entallar. Quan es parli d'entalla, es refereix a un petit tall que es fa a l'ample de les mostres, de tal forma que des del punt on trenqui tingui una amplada màxima de 10,16mm. Per elaborar l'entalla, s'utilitzarà l'aparell que es mostra a la Figura 32.



Figura 32. Aparell per entallar

Prèviament a l'inici de l'assaig, s'introduirà les dimensions de la proveta (amplada i gruix), per tal que un cop finalitzat, l'aparell ens determini el valor de resiliència, així com l'energia necessària per trencar-la.

En el moment de realitzar l'assaig de la provetes amb entalla, es determinarà l'energia necessària per propagar la fissura. En canvi, les sense entalla, no només s'obtindrà l'energia per propagar la fissura, sinó també per generar-la.

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

Aquest petit càlcul, consisteix en la diferència d'energies potencials entre el punt inicial i l'assolit després d'impacte i trencar la proveta.

L'assaig de Charpy consisteix en situar la proveta damunt d'una base de dos peus. Acte seguit es deixa caure el pèndol, encarregat de colpejar la proveta en el seu centre longitudinal per trencar-la. Seguidament, l'equip calcula el valor de l'energia absorbida expressada en $\text{KJ}\cdot\text{m}^2$.

4.3.11.- Anàlisi Tèrmic.

Per realitzar l'anàlisi tèrmic dels diferents materials compostos fabricats, s'utilitzarà el mètode de la caixa tèrmica regit per la normativa UNE-EN ISO 8890:19977. El procés consisteix en sotmetre les provetes de dimensions 210x85x3mm (Figura 33) a unes condicions convencionals, amb temperatures de 20, 30 i 40 graus respectivament. Al llarg de l'assaig, a través de quatre sondes o termopars col·locats estratègicament, es mesurarà amb un interval de temps de 20 segons, les temperatures.



Figura 33. Provetes assaig tèrmic

Dit això, el procés a seguir per la realització d'aquest assaig serà el següent:

1. Primerament s'agafarà la proveta i es col·locarà a l'interior del porta-provetes.
2. Acte seguit, es comprovarà que els quatre termopars marquen temperatures ambientals no superiors a $21 - 22^{\circ}\text{C}$.
3. Es col·locarà el porta-provetes a la caixa tèrmica, concretament entre la cambra calenta i la freda, i es fixarà els tres components mitjançant uns perns, a fi de reduir al mínim les pèrdues tèrmiques que es poden originar a causa de la no estanqueïtat entre elements.
4. S'establirà la temperatura a que es vol sotmetre la proveta i es definiran els intervals de temps entre mesures.

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

5. A continuació, s'iniciarà l'anàlisi tèrmic, on els termopars connectats a un lector de temperatures, faran la recopilació de les dades. Tots aquests valors, es representaran de forma numèrica i gràfica al software informàtic Fourtec.
6. En el moment que s'observi que es produeix una estabilització de les quatre temperatures, es finalitzarà l'assaig tèrmic.
7. Finalment, es retirarà el porta-provetes de la caixa tèrmica, es canviarà la proveta i s'esperarà que les temperatures de les cambres descendeixin fins a temperatura de 21 – 22°C abans d'iniciar el procés amb una altre mostra.

4.3.12.- Microscòpia electrònica de rastreig.

El present anàlisi, també conegut com Scanning electron microscopy (SEM), consisteix a resseguir la superfície de la mostra amb un feix d'electrons enfocat. Aquestes interaccions amb la superfície de la mostra, es dispersen arreu i es localitzen mitjançant un detector per tal de ser projecten a una pantalla.

L'aparell encarregat de dur-ho a terme és un microscopi electrònic de rastreig, dotat d'un equipament capaç d'obtenir una resolució en les imatges de 3'5nm. Per tant, a través d'ell, se'ns proporcionarà un conjunt de fotografies de les mostres d'alta qualitat i elevada profunditat de camp.

Prèviament a l'anàlisi atòmic de les mostres, serà important realitzar una preparació d'aquestes. Les provetes són recobertes amb una cap de metall molt prima, i és rastrejada amb electrons que s'envien des d'un canó. Un detector mesura la quantitat d'electrons enviats que emet la xona de la mostra, i és capaç de presentar el resultat en imatges de gran profunditat de camp i aparença nítida i/o realista, projectades en una pantalla.

4.3.13.- Burning test.

L'assaig en qüestió, regulat per normativa UNE-EN ISO 9772, consisteix en posar en contacte una proveta del material compost fabricat amb la flama produïda per un encenedor Bunsen, a fi d'estudiar el comportament front el foc.

Es col·locarà la proveta a assajar en posició vertical subjectada per una pinça metàl·lica. Acte seguit, amb el corresponent encenedor es pren una flama amb un angle de 30° durant 10 segons. Transcorregut aquest temps, en cas que la flama no hagi pres, es repetirà el procediment anterior.

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

Un cop la flama ha pres, s'hauran d'analitzar un conjunt de paràmetres a fi de poder-ne determinar la seva classificació. Els aspectes a comprovar són:

- Color de la flama.
- Color del fum.
- Degoteig de la peça.
- Temps que tarda en cremar el material i si es crema tot.
- Temps que tarda la flama en calar el material.
- Visualització del seu apagament.

A continuació i amb l'assaig finalitzat, s'especificarà la classificació dels materials d'acord amb el comportament de la flama, tal hi com determina la normativa d'aplicació.

- V-0: En 10 segons s'ha extingit la flama i no s'ha produït un degoteig del material.
- V-1: En 30 segons s'ha extingit la flama i s'ha produït degoteig de partícules no inflamades.
- V-2: EN 30 segons s'ha extingit la flama i s'ha produït degoteig de partícules inflamades.

4.3.14.- Angle de contacte.

Un cop fabricades les planxes, es procedirà a determinar l'angle de contacte que es produirà al diposità una gota d'aigua damunt de la superfície de cadascuna de les planxes. Per dur-ho a terme, s'utilitzarà l'aparell anomenat *Goniòmetre*, juntament del programa informàtic *Advanced Krüss*.

Dit això, per tal de realitzar aquest anàlisi, s'haurà de seguir el procediment que s'esmenta a continuació:

Primerament, s'emplenarà una xeringa amb aigua (la quantitat de líquid necessari no resulta ser un aspecte rellevant ja que únicament es dipositarà una petita gota damunt de cadascuna de les superfícies de les planxes). Acte seguit, es fixarà magnèticament la xeringa en el dosificador de l'instrument.

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

A continuació, es col·locarà la planxa damunt d'una taula elevadora, la qual ens permetrà regular de forma ràpida l'altura de mesurament desitjada. A través d'una petita càmera equipada a l'aparell i connectada al software informàtic (Figura 34), se'ns definirà una línia base (color blavós), encarregada de definir-nos la posició horitzontal de la planxa.

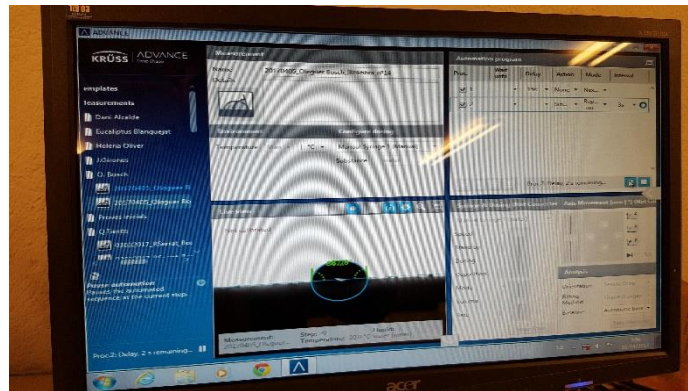


Figura 34. Software Advanced Krüss

Seguidament, a través del software, s'establirà els següents paràmetres:

- Temps per aplicar la mostra (gota d'aigua): 15 segons.
- Temps de càlcul de l'angle de contacte: 5 minuts.
- Interval de temps entre mesures: 3 segons.
- Nombre total de mesures: 100 unitats.

Finalment, s'iniciarà el procés d'anàlisi de l'angle de contacte. Per fer-ho, es premerà *Iniciar* en el programa informàtic. Acte seguit, es disposarà de 15 segons per dipositar la gota d'aigua damunt de la planxa mitjançant el dosificador. Un cop transcorregut aquest temps, el software iniciarà automàticament la mesura de l'angle de contacte d'acord amb els paràmetres establerts en anterioritat.

Aquest, ens determinarà tres tipus de mesures (angle de contacte esquerra, angle de contacte dret i la mitjana dels dos angles). Al llarg del procés, el resultat es mostraran de forma numèrica i gràfica per tal de poder-ne fer un anàlisi i extreure'n les unes conclusions a posteriori.

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

4.3.15.- Aplicació de pintures a materials compostos.

L'assaig per determinar l'angle de contacte que genera una gota d'aigua al estar en contacte amb la superfície del material, ens ha permès fer-se una petita idea de si els materials compostos fabricats, són aptes a ser pintats o no per a pintures.

Per tal d'intentar poder extreure unes conclusions i/o resultats molt més clarificadors, s'ha optat per pintar els materials compostos amb pintures plàstiques en base a aigua, a fi d'observar quin és el seu comportament un cop assecades.

Per elaborar aquest assaig, s'ha agafat un total de 4 provetes de cada un dels materials assajats, a més del cartró-guix. Dos d'aquestes provetes no se'ls hi ha generat cap canvi a la seva superfície llisa (Figura 36) que presenten. Per contra, les dos provetes restats, mitjançant un raspall de dents se les ha rallat, per tal d'aconseguir una textura rugosa (Figura 35).

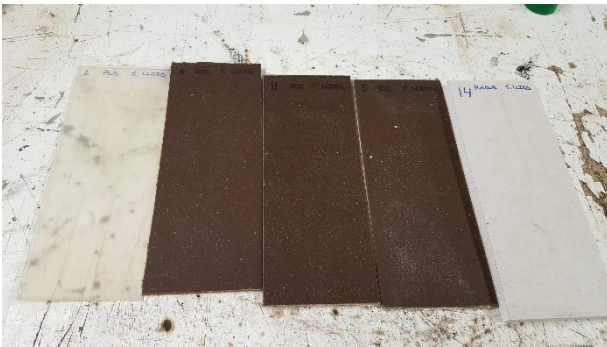


Figura 36. Provetes superfície lisa



Figura 35. Provetes superfície rugosa

Un cop preparades les superfícies de les provetes, se'ls hi ha aplicat una primera capa de pintura. Al cap de 10 minuts, un cop havia assecat una mica la pintura, s'ha disposat a emprar una segona i definitiva capa. Finalment, s'han deixat les provetes a assecar durant 3 dies. Transcorregut aquest temps, s'ha fet un anàlisi visual de les pintures per tal d'observar si s'establí una diferència clara entre les provetes ratllades amb les no ratllades.

5.- Resultats obtinguts dels assajos.

5.1.- Assaig a tracció.

Per la realització d'aquest assaig, s'ha utilitzat la màquina universal d'assajos (Figura 21), la qual ens ha permès mesurar diferents propietats mecàniques, com per exemple, la resistència màxima a tracció (σ_t), el mòdul de Young (E) i la deformació màxima (ε_t), entre d'altres.

A fi d'obtenir un valor que s'ajusti a la realitat, s'han assajat un mínim de 4 provetes de cada compost fabricat.

A continuació, s'adjunta un parell de taules on es poden observar les mitjanes de les provetes assajades. A la Taula 4 es mostra el mòdul de Young a tracció, així com la deformació que ha experimentat el material.

Pel que fa a la Taula 5, es mostren els resultats obtinguts durant l'assaig a tracció. Els valors que es troben entre parèntesis, fan referència a les desviacions estàndards.

Taula 4. Resultats Mòdul de Young a tracció.

Material Compost	E_t (GPa)	Deformació (%)
PLA	8,166 (0,264)	0,25
PLA + 10%	8,574 (0,032)	0,25
PLA + 20%	-	0,20
PLA + 30%	-	0,15
Cartró-guix	-	-

Taula 5. Resultats obtinguts en l'assaig a tracció.

Material Compost	σ_t (MPa)	E (GPa)	ε_r (mm)	ε_t (mm)
PLA	56,603 (0,999)	2,313 (0,255)	5,277 (0,188)	5,212 (0,208)
PLA + 10%	38,793 (2,419)	1,979 (0,164)	3,409 (0,082)	3,399 (0,099)
PLA + 20%	21,263 (1,721)	2,882 (0,362)	1,364 (0,158)	1,364 (0,158)
PLA + 30%	18,827 (1,863)	2,153 (0,279)	1,567 (0,270)	1,561 (0,267)
Cartró-guix	0,560 (0,044)	0,067 (0,056)	1,023 (0,290)	0,839 (0,400)

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

Si es fa un petit anàlisi als resultats que es mostren a la Taula 4, s'observarà que tant els materials compostos PLA i els reforçats amb un 10% de fibra han assolit una deformació màxima del 0'25%, determinada per la normativa de referència.

Per contra, els compostos format per un 20 i 30% de fibra, no s'han obtingut resultats, ja que totes les provetes s'han trencat. Les primeres, han arribat a una deformació del 0,20%, mentre que les segones han experimentat una deformació del 0,15% abans que es produís el seu trencament. Aquest fet, és degut a l'alta fragilitat dels materials al estar compostos per una major quantitat de fibra.

L'alta fragilitat del cartró-guix, ha impedit la mesura del mòdul de Young, ja que es trencava en el moment que ser subjectat per les mordasses.

Seguidament, es mostra una petita representació gràfica de l'evolució de la resistència màxima a tracció a mesura que augmentem la quantitat de fibra.

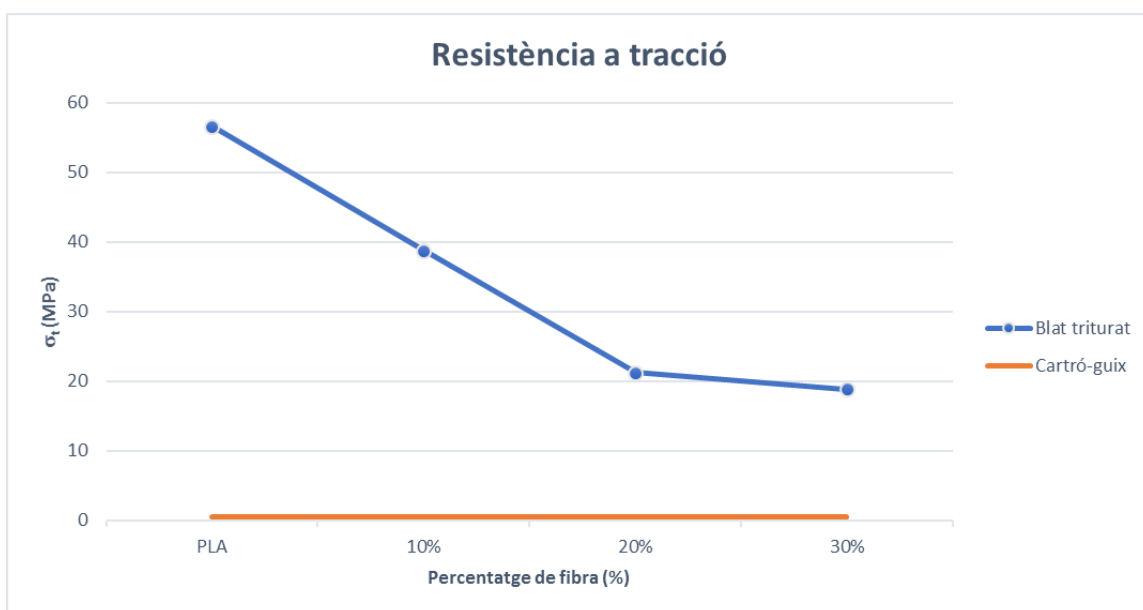


Figura 37. Representació gràfica de la resistència màxima a tracció

A la Figura 37 es pot observar que tots aquells compostos que presenten un reforç de la matriu polimèrica, obtenen una menor resistència a tracció a als materials no reforçats. L'adició de fibra, genera una major rigidesa i conseqüentment una major fragilitat. Aquest és el motiu pel qual les prestacions a tracció disminueixen a mesurar que augmenta la quantitat de fibra en el material.

D'altra banda, el descens de la resistència a tracció dels materials compostos no és lineal. Aquest fet, pot ser conseqüència de problemes amb la interacció matriu-reforç.

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

Amb la Figura 38, es mostra una comparativa amb l'evolució lineal entre el cartró-guix i els materials compostos fabricats mitjançant un procés de premsat.

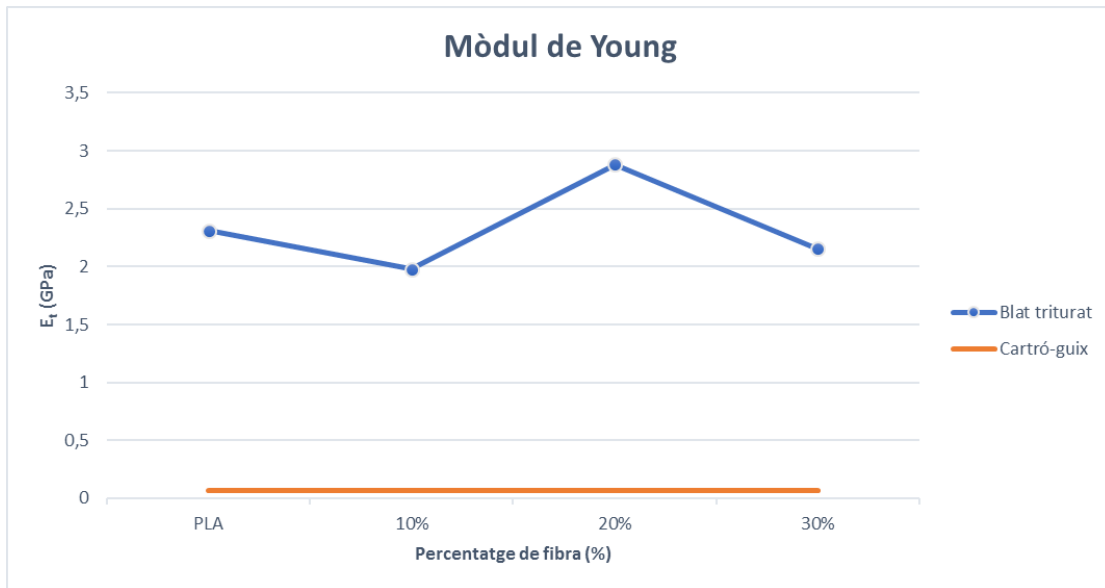


Figura 38. Representació gràfica del mòdul de Young a tracció

Analitzant la Figura 38, es visualitza una no evolució lineal del mòdul de Young dels materials compostos, és a dir, no es pot extreure una base imputable que determini l'augment o la disminució d'aquest paràmetre. Aquest fet és degut a la problemàtica durant el procés de mesurat del mòdul de Young, ja que per les provetes compostes per un 20 i 30% de fibra es produïa un trencament abans d'assolir el 0,25% de deformació.

A la següent pàgina, es mostra una representació gràfica del descens en la deformabilitat del materials compostos en relació a la quantitat de fibra utilitzada com a reforç de la matriu polimèrica.

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

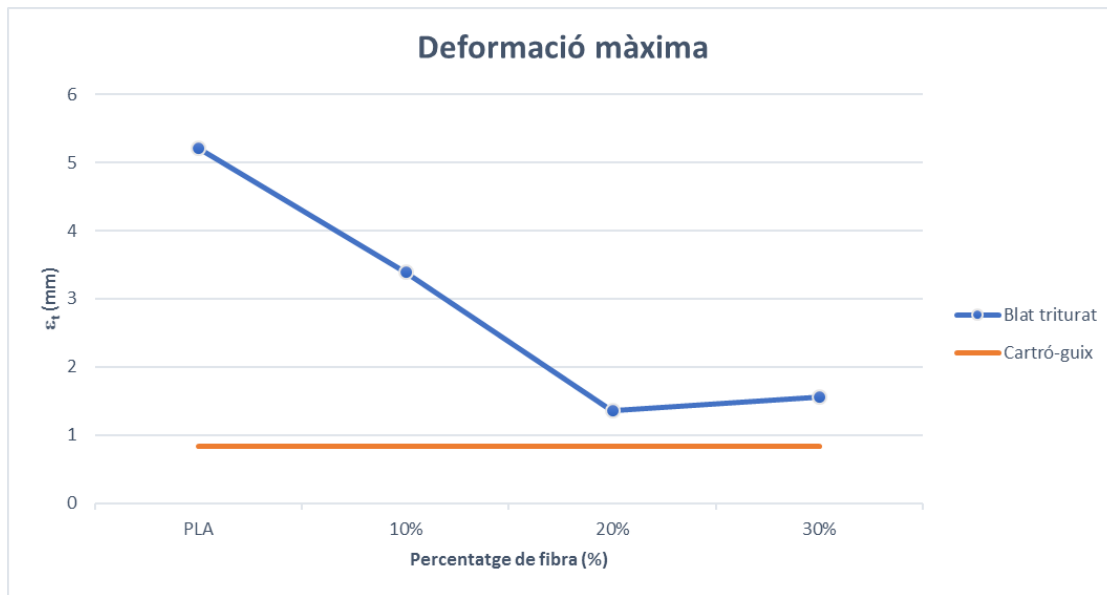


Figura 39. Representació gràfica de la deformació màxima a tracció

L'addició de reforços fibrosos a una matriu polimèrica provoca una disminució de la deformabilitat del material a causa de els següents factors; Un primer motiu fa referència a la no continuïtat de la matriu de PLA. És per aquest motiu que s'obtindrà un material més fràgil si aquest discontinuïtat és produïx en un punt on s'acumulen grans tensions de forma relativament fàcil.

Un segon factor fa esment a la fragilitat del material, causat per la incorporació d'un material amb menor capacitat de deformació.

A la Taula 5 s'observa que a major quantitat de fibra menor és la deformabilitat que experimenten els materials.

Els materials compostos en que la seva matriu polimèrica ha estat reforçada amb fibra, experimenten una deformació per ruptura i una màxima per igual. És a dir, quan es produeix el trencament del material és llavors quan aquest, arriba a la seva deformació màxima, per tant, no pateix cap tipus de deformació permanent. En canvi, els materials que disposen una reforç a la matriu de PLA, reporten a una deformació de ruptura major a la màxima, per tant, abans de trencar-se, aquests materials tendeixen a patir deformacions permanents.

En qualsevol cas, si s'analitza els valors de la Taula 5, s'observarà que totes les prestacions o característiques mecàniques extretes del present assaig, indiquen que tant els materials compostos reforçats i sense reforçar són clarament superiors a al cartró-guix. Si s'agafa de referència els material amb un 30% de fibra, es veurà que la seva resistència a tracció és fins a 33 vegades superior al cartró-guix, tenint present que es tracta del compost amb pitjors resultats.

5.2.- Assaig a flexió.

La determinació de les propietats a flexió de les provetes dels diferents materials compostos fabricats, s'ha fet mitjançant la utilització de la màquina universal d'assajos (Taula 22). A través d'aquest assaig, s'han mesurat paràmetres com ara, la resistència a flexió per 3 punts (σ_f), el mòdul de flexió (E_f), i la deformació màxima (ε_f) de les provetes fabricades per un procés de premsat.

L'assaig en qüestió, ha consistit a sotmetre a esforços de flexió, un mínim de 4 provetes per cadascun dels materials compostos fabricats. De la mateixa manera, a fi d'extreure'n unes conclusions finals, s'han assajat provetes de cartró-guix sota les mateixes condicions que la resta de materials.

A continuació, es facilita una taula on es mostren les mitjanes dels resultats obtinguts en l'assaig a flexió, així com, la desviació estàndard representada entre parèntesis.

Taula 6. Resultats obtinguts en l'assaig a flexió

Material Compost	σ_f (MPa)	E_f (GPa)	ε_f (mm)
PLA	98,183 (1,889)	2,549 (0,085)	6,379 (0,416)
PLA + 10%	70,183 (2,840)	2,491 (0,284)	4,363 (0,300)
PLA + 20%	41,063 (1,512)	4,366 (0,351)	2,127 (0,127)
PLA + 30%	38,843 (2,371)	4,181 (1,240)	1,361 (0,053)
Cartró-guix	2,819 (0,128)	0,749 (0,771)	0,057 (0,028)

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

A continuació, es troba els resultats extrets sobre la resistència màxima a flexió representats gràficament a la Figura 40.

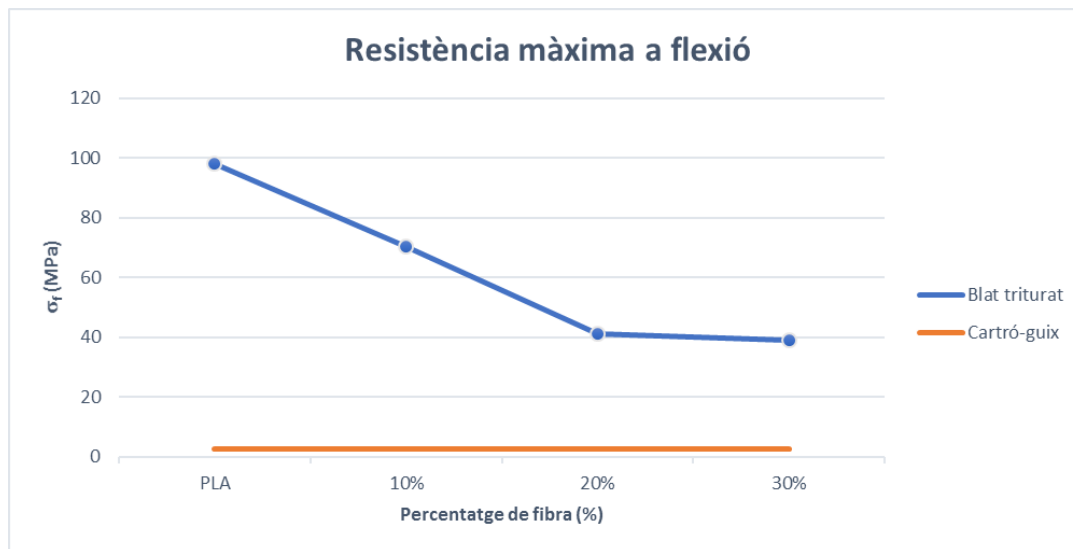


Figura 40. Representació gràfica de la resistència màxima a flexió

A la Taula 6, es conclou que la resistència màxima a flexió és inferior en els compostos reforçats amb fibra comparativament amb aquells que no disposen d'un reforç a la seva matriu polimèrica. A més, s'observa un progressiu descens d'aquesta propietat a mesura que augmenta la quantitat de fibra. Aquest fet, provoca una rigidització del material, i conseqüentment, un compost més fràgil.

D'altra banda, durant l'execució de l'assaig a flexió es va observar que en funció de la quantitat de fibra que tingui el material, experimenta un o altre tipus de trencament. Per aquells compostos sense reforç a la matriu polimèrica, o bé per els que disposaven d'un 10% de fibra, van patir un trencament sobtat. En canvi, els compostos amb un reforç fibrós del 20 i 30%, sofrien unes esquerdes en comptes d'una ruptura. Es creu que aquest succés és causat per les fibres, és a dir, aquestes estableixen com una espècie de lligam entre les partícules del material, evitant així un trencament del compost.

A través de la Figura 40, es pot observar una descens no lineal de la resistència màxima a flexió, fet causat per possibles problemes a la interacció fibra-matriu. Aquest succés no és cap novetat, durant l'assaig a tracció, es va poder arribar a la present conclusió.

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

A la Figura 41 que es mostra a continuació, trobem una comparativa del mòdul de Young entre els compostos fabricats i el cartró-guix.

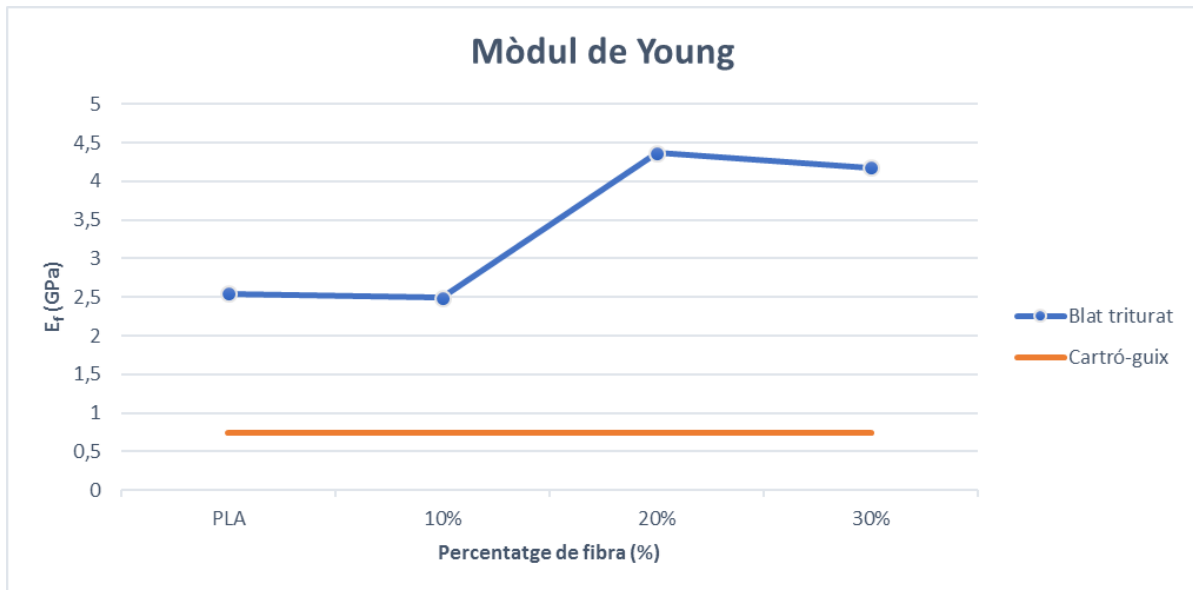


Figura 41. Representació gràfica del mòdul de Young a flexió

Tal hi com es pot observar a la Figura 41, no existeix una evolució lineal del mòdul de Young dels materials compostos assajats, és a dir, no es pot extreure una base imputable que ens justifiqui els resultats obtinguts. Dit això, dona la sensació que aquesta propietat no va relacionada amb l'addició de reforços fibrosos al polímer, sinó a les característiques de la interfase fibra-matriu. Aquest resultat han estat contrastats amb altres estudis elaborats en anterioritat, en els quals es va poder observar que aquells compostos fabricats a través d'un sistema d'injecció, experimentaven una evolució lineal del seu mòdul de Young, a diferència dels compostos obtinguts mitjançant un premsat. (Joan Costa, 2016)

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

Seguidament, a la Figura 42 es representa de forma gràfica els resultats obtinguts en relació a la deformabilitat de les provetes.

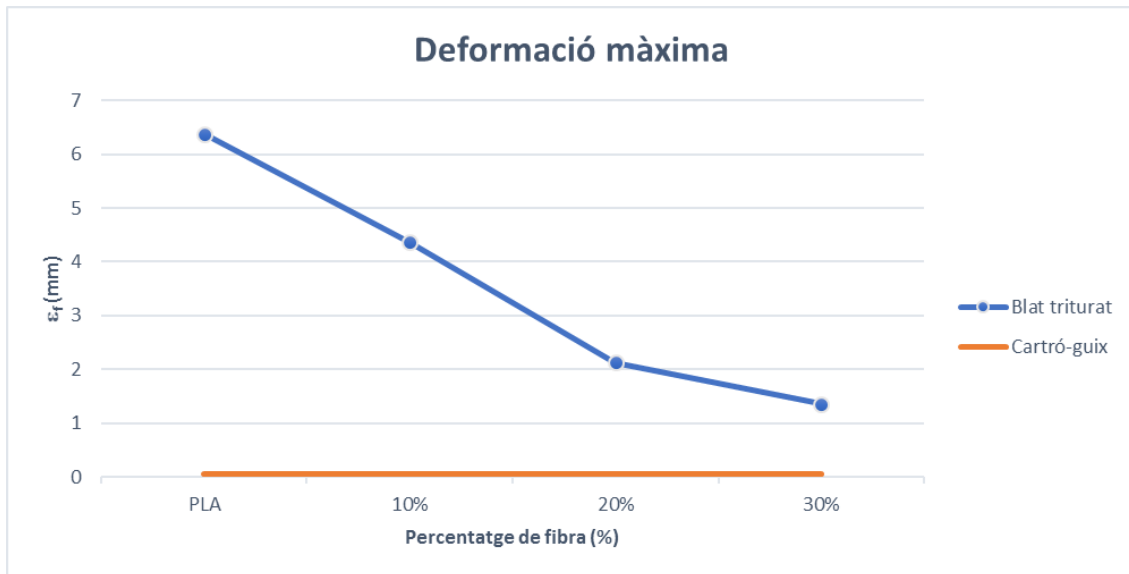


Figura 42. Representació gràfica de la deformació màxima a flexió

De la mateixa forma que la resistència màxima a flexió, la deformabilitat dels materials compostos disminueix a mesura que augmentem la quantitat de fibra. Això, provoca una discontinuïtat de la matriu polimèrica, causant així, zones més fràgils del material.

Fent un petit anàlisi general de les diferents propietats definides gràcies a l'assaig a tracció, s'observarà que tots els materials compostos assajats obtenen un resultat clarament superior al material que es vol substituir del mercat comercial, concretament el cartró-guix. Agafant com a referència al compost amb pitjor propietats mecàniques a flexió, el reforçat amb un 30% de fibra, s'aconsegueix un producte fins a 19 vegades superior al cartró-guix, tant amb resistència màxim a flexió com en deformabilitat.

5.3.- Assaig a impacte.

El present assaig ha facilitat l'obtenció de les propietats mecàniques a impacte mitjançant el mètode de Charpy, en els quals s'han assajat provetes amb entalla i sense entalla. D'acord amb les especificacions de la normativa de referència, s'han assajat un total de 10 provetes, cinc d'elles amb entalla i les cinc estants sense entalla.

A través de l'assaig, s'han obtingut els valors dels paràmetres de resiliència (KJ/m^2), així com la corresponent energia absorbida (J).

A la taula que es mostra a continuació (Taula 7), es faciliten un conjunt de dades referents a les propietats a impacte esmentades en els paràgrafs anteriors, tant per les provetes amb entalla com sense entalla.

Taula 7. Resultats obtinguts a l'assaig d'impacte.

Compost	Resiliència (KJ/m^2)	Energia (J)
Entallat		
PLA	3,182 (0,465)	0,110 (0,014)
10%	2,957 (0,686)	0,095 (0,019)
20%	2,110 (0,291)	0,045 (0,003)
30%	2,236 (0,180)	0,070 (0,004)
Cartró-guix	1,328 (0,241)	0,173 (0,033)
Sense entallar		
PLA	25,612 (2,888)	1,499 (0,120)
10%	12,099 (0,580)	0,639 (0,035)
20%	6,080 (0,070)	0,233 (0,008)
30%	6,007 (0,409)	0,330 (0,025)
Cartró-guix	1,469 (0,074)	0,337 (0,017)

Per a les provetes amb entalla, l'energia absorbida correspon a l'energia necessària per propagar la fractura de la mostra. En canvi, pel que fa a les provetes sense entalla, absorbeixen l'energia per crear una fractura així com per propagar-la al llarg de la seva superfície.

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

Primerament es mostra gràficament l'energia absorbida de les provetes per tal de propagar la fractura a llarg de les seves superfícies.

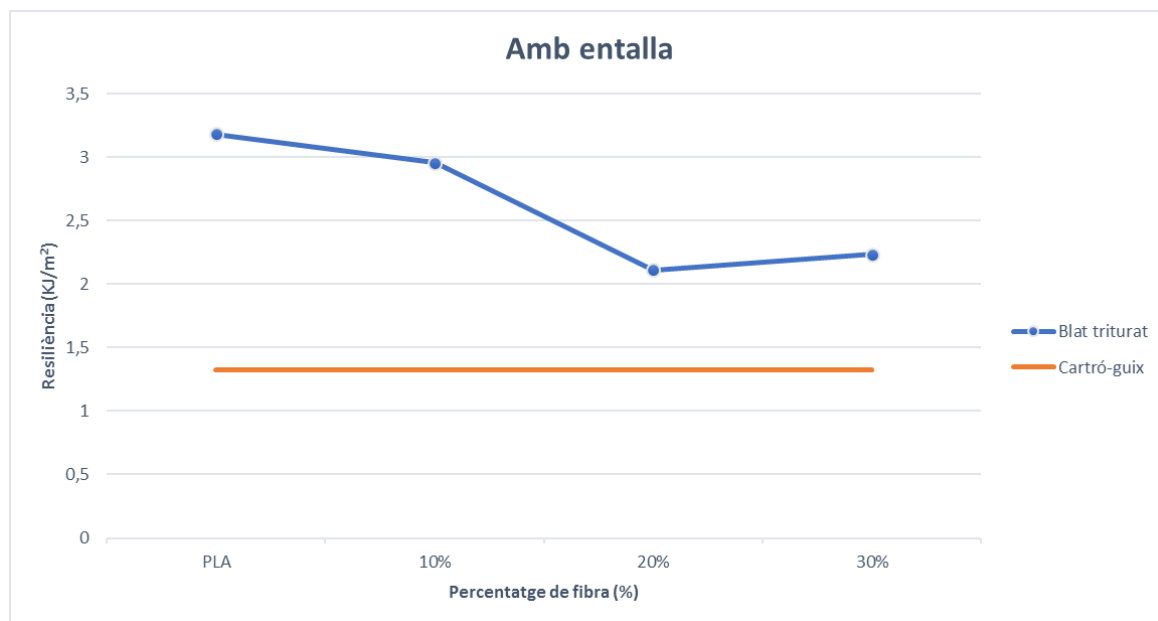


Figura 43. Representació gràfica de la resiliència de provetes amb entalla

A la Figura 43, s'observa al igual que les propietats esmentades en els apartats anteriors que l'addició d'un reforç fibrós provoca una disminució de la resiliència del compost. Així doncs, a més quantitat de fibra afegida al polímer, major serà la facilitat de fracturació d'ell.

D'altra banda, analitzant els resultats obtinguts a l'assaig, es pot observar una no linealitat del descens de les propietats mecàniques de les provetes, de la mateix manera que s'ha pogut veure als assajos anteriors. Aquest fet, pot ser degut a una problemàtica durant el procés d'elaboració de les entallades, ja que comparativament parlant, les provetes sense entalla presenten un bon comportament, mentre que les amb entalla no.

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

En segon lloc, es troba la representació gràfica de les provetes sense entallada, les quals absorbeixen l'energia per tal de generar la fractura a més de propagar-la.

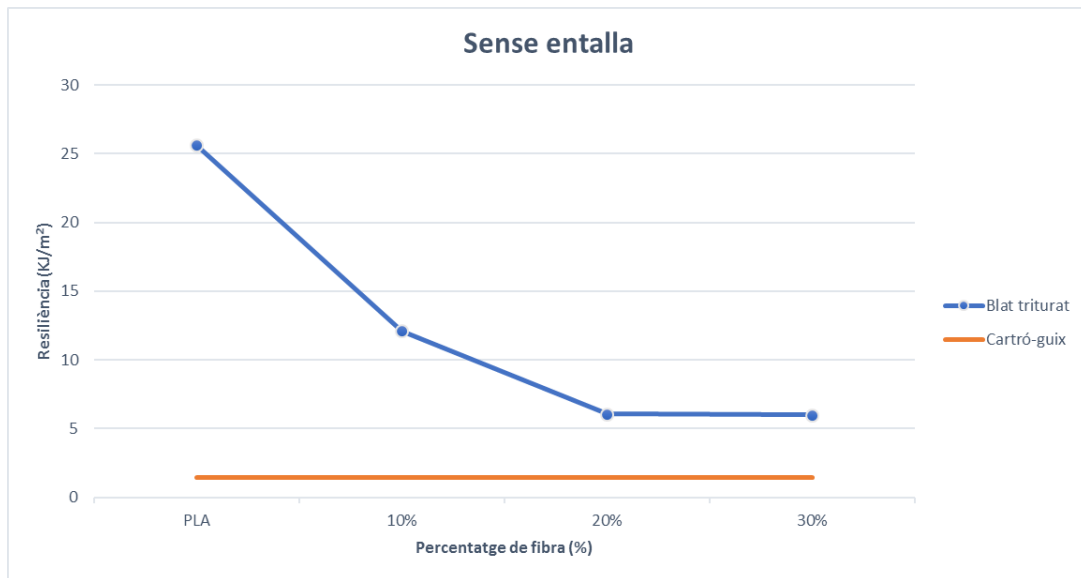


Figura 44. Representació gràfica de la resiliència de provetes sense entalla

A la Figura 44, s'observa una representació gràfica de les provetes assajades sense entalla. Els valors de resiliència són clarament superiors en comparació amb les mostres amb entalla, doncs aquestes absorbeixen l'energia d'impacte per generar la fractura i per propagar-la.

Els resultats de les provetes sense entalla, també experimenten un descens de la seva resiliència a mesura que augmenta la quantitat de fibra. A la Taula 7, es pot observar de forma clara que l'addició d'un reforç fibrós a la matriu polimèrica, provoca una penalització de la resiliència, sent així, una reducció del 50% de les seves propietats mecàniques a impacte.

Un cop s'han obtingut els resultats de totes les provetes pel mètode de Charpy, es pot obtenir l'energia necessària per crear una fractura a les provetes assajades.

Com s'ha esmentat anteriorment, a través de les provetes entallades, es determina l'energia necessària per propagar la fractura al llarg de la superfície de la proveta, mentre que les sense entalla, es defineix l'energia per tal de generar la fractura i de propagar-la. Així doncs, amb un simple resta dels valors obtinguts sense entalla respecte els amb entalla, s'obtenir l'energia necessària per crear una fractura.

A continuació, mitjançant la Taula 8, es representen els valors corresponents a l'energia necessària per produir una determinada fractura en els diferents compostos assajats.

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

Taula 8. Resultats de l'energia necessària per produir la fractura a les provetes.

Compost	Resiliència (KJ/m ²)	Energia (J)
PLA	22,430	1,389
10%	9,142	0,544
20%	3,970	0,188
30%	3,771	0,260
Cartró-guix	0,141	0,165

Mitjançant la Figura 45, es fa una representacions gràfica dels valors mostrats a la Taula 8 (energia per generar una fractura), a fi de poder extreure conclusions més clarificadores.

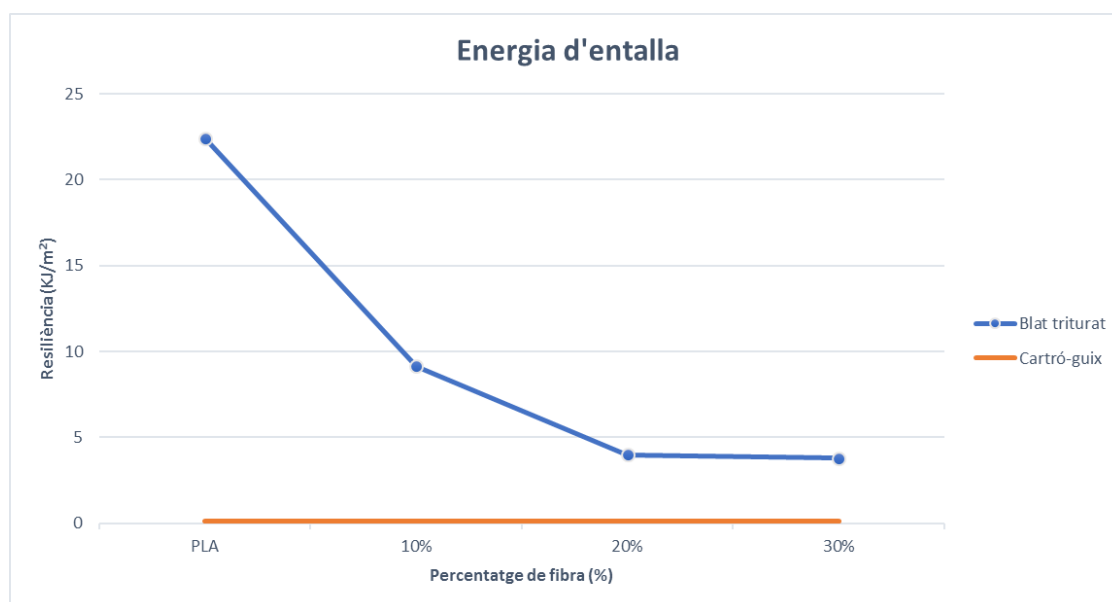


Figura 45. Representació gràfica de l'energia necessària per generar una fractura

Ambdues representacions (numèrica i gràfica), mostren de forma clara, tal hi com s'ha anat determinant al llarg d'aquesta investigació, com l'addició de quantitats creixents de fibra a la matriu polimèrica, genera una considerable disminució de l'energia necessària per originar una fractura.

El fet que les provetes reforçades amb components fibrosos requereixin una menor energia de fracturació, explica el menor comportament mecànic d'aquestes front els esforços a tracció i flexió, constatant així, discontinuïtats de la matriu polimèrica en el seu interior.

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

Si es realitza una comparativa dels materials elaborats per un sistema de premsat amb els cartróguix, s'observa novament que els valors són clarament superiors al producte a substituir, encara que l'adició de fibra, repercuteixen clarament a les propietats mecàniques a impacte, provocant així, una major facilitat del material a ser fracturat.

5.4.- Estudi conductivitat tèrmica.

Per realitzar l'estudi de la conductivitat tèrmica dels materials compostos fabricats, s'ha basat amb el sistema de la caixa tèrmica. Per fer-ho, s'han seguit les especificacions definides per la normativa de referència.

L'assaig s'ha executat amb un mínim de 3 provetes dels diferents materials fabricats. A més, cada proveta ha estat sotmesa a tres temperatures, concretament a 20, 30 i 40°C. D'aquesta forma, s'ha pogut observar l'evolució de la resistència total (R_T), i la conductivitat tèrmica (λ) que experimentaven els materials compostos al ser assajats a temperatures diferents.

Cal esmentar també, que l'assaig a s'ha dut a terme amb mostres de cartró-guix, a fi de realitzar una comparativa del tots els materials i ser capaç de determinar si els compostos presenten millors prestacions tèrmiques que el producte que volem substituir en el mercat comercial.

A la Taula 9, s'esmenten els valors de resistència total i conductivitat tèrmica calculats posteriorment a l'execució de l'assaig tèrmic.

Taula 9. Resultats obtinguts a l'estudi de la conductivitat tèrmica.

Material Compost	Temperatura (°C)	Mitjana R_T ($m^2 \cdot ^\circ C$)	Mitjana λ ($W/m \cdot ^\circ C$)
PLA	20	-0,0067	-0,5067
10%	20	-0,0428	-0,0655
20%	20	-0,0464	-0,0538
30%	20	-	-
Cartró-guix	20	-	-
PLA	30	0,3538	0,0096
10%	30	0,361	0,0078
20%	30	0,3344	0,0075
30%	30	0,3275	0,0092
Cartró-guix	30	0,3425	0,0373
PLA	40	0,2676	0,0127
10%	40	0,2725	0,0103
20%	40	0,2665	0,0094
30%	40	0,2522	0,0119
Cartró-guix	40	0,281	0,0454

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

Per a l'explicació dels resultats obtinguts de l'estudi de la conductivitat tèrmica, s'ha optat per fer una estructuració en tres subapartats en relació a les 3 temperatures a les quals s'han sotmès les provetes.

Estudi conductivitat tèrmica a una temperatura de 20°C.

En primer lloc, es mostraran un conjunt de gràfiques dels materials compostos formats per PLA (Figura 46), 10% de fibra (Figura 47) i 20% de fibra (Figura 48), respectivament. Tots ells, sotmesos a una temperatura a 20°C.

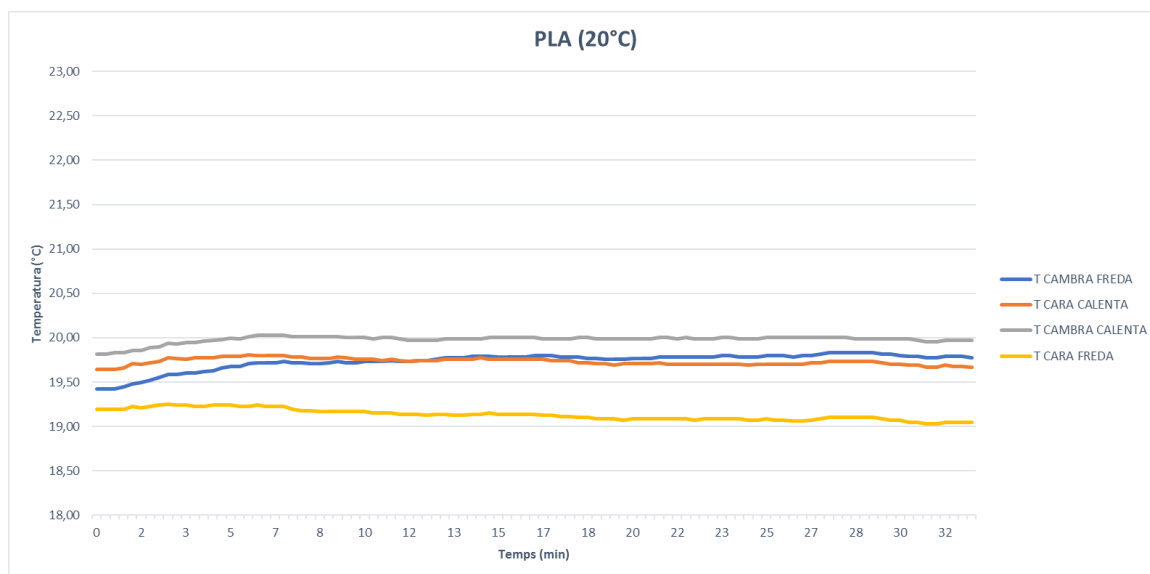


Figura 46. Representació gràfica del compost de PLA a temperatura de 20°C

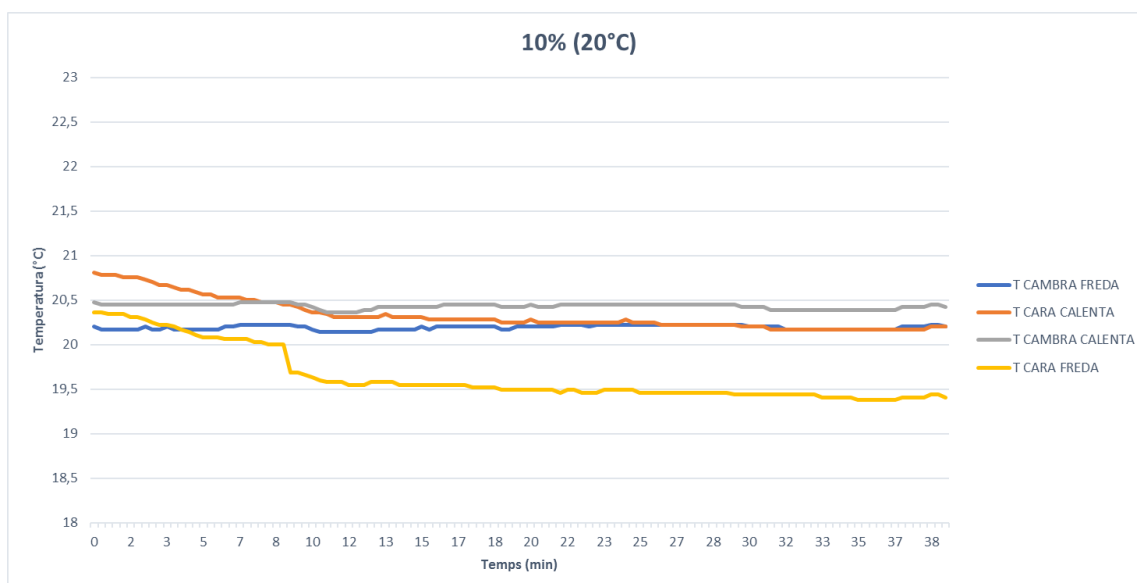


Figura 47. Representació gràfica del compost de 10% de fibra a temperatura de 20°C

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

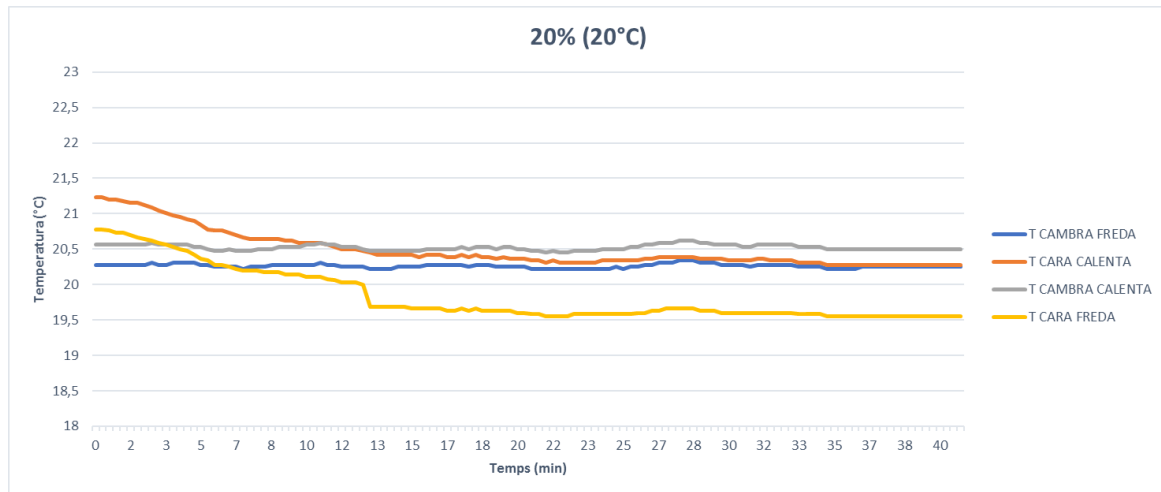


Figura 48. Representació gràfica del compost de 20% de fibra a temperatura de 20°C

A la Taula 9, s'observa que el càlcul de la resistència total ($m^2 \cdot ^\circ C$) i de la conductivitat tèrmica ($W/m \cdot ^\circ C$), s'han obtingut uns resultats negatius, fet que esdevé quelcom sorprenent. El motiu pel qual succeeix, és degut al règim estacionari en que es troben les dues cambres (cambra freda i calenta) abans d'iniciar el propi assaig.

S'entén com a règim estacionari quan les variables que defineixen el seu comportament (les anomenades variables d'estat) respecte el temps, romanen invariables.

A l'inici de l'assaig, les cambres es trobem a unes temperatures que ronden entre els 20 i 21°C, tant la calenta com la freda. Si es vol executar l'estudi de la conductivitat a 20°C, no es sotmet el compost a situacions no tant habituals. A causa d'això, i tal hi com es pot visualitzar a les Figures 46, 47 i 48, les representacions gràfiques dels valors obtinguts a través de les quatre sondes, resulten ser poc normals.

Tant la representacions gràfiques com les numèriques, no s'han obtingut els resultats esperats, possiblement, durant l'assaig i al trobar-se les dues cambres en règim estacionari, va provocar que en certes moment del procés, es produïssin errors de mesures per part de les sondes.

En referència a les Figures 47 i 48, més concretament al grafisme de la cara freda, s'observa un petit descens de la seva temperatura. No s'ha trobat cap base imputable per justificar aquest comportament, ja que el termopar encarregat de mesurar la temperatura es trobava en bon estat i enganxat amb la proveta. No obstant, al trobar-nos davant de la situació de règim estacionari des de l'inici de l'assaig, podria ser degut a un error de l'equip.

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

Finalment, no es creu convenient realitzar l'assaig per les provetes de materials compostos del 30% de fibra, així com del cartró-guix. Per tant, cal esmentar que els resultats obtinguts no són rellevants ja que no ens aporten cap tipus de conclusió.

Estudi conductivitat tèrmica a una temperatura de 30°C.

Seguidament, es mostraran un conjunt de gràfiques dels materials compostos formats per PLA (Figura 49), 10% de fibra (Figura 50), 20% de fibra (Figura 51), 30% de fibra (Figura 52) i cartró-guix (Figura 53) respectivament. Tots ells, sotmesos a una temperatura a 30°C.

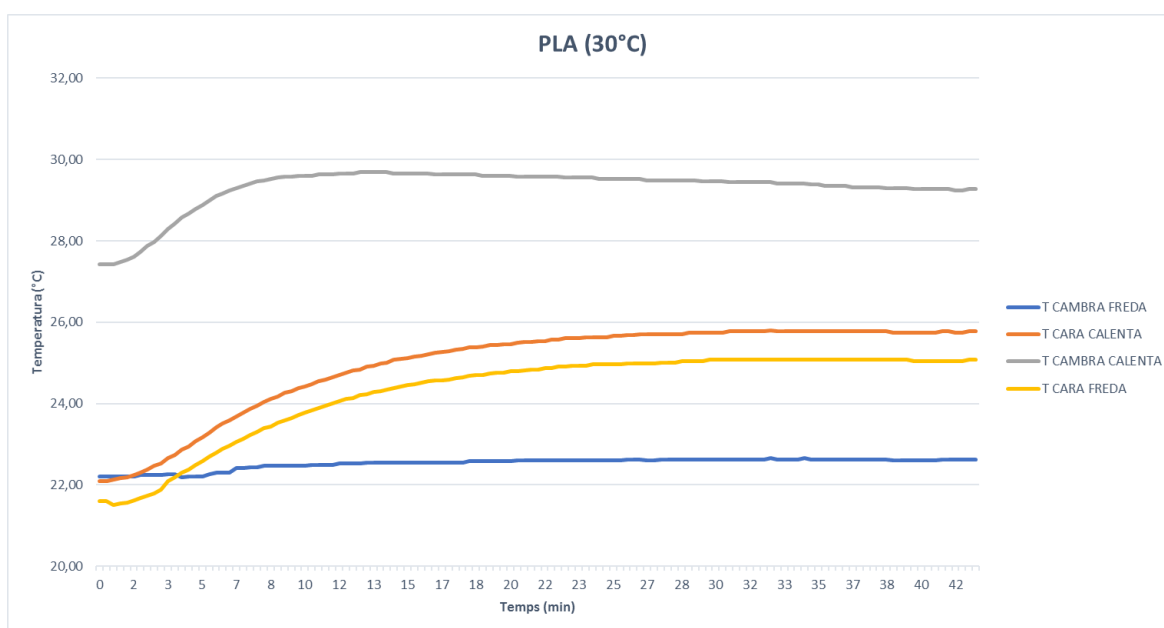


Figura 49. Representació gràfica del compost de PLA a temperatura de 30°C

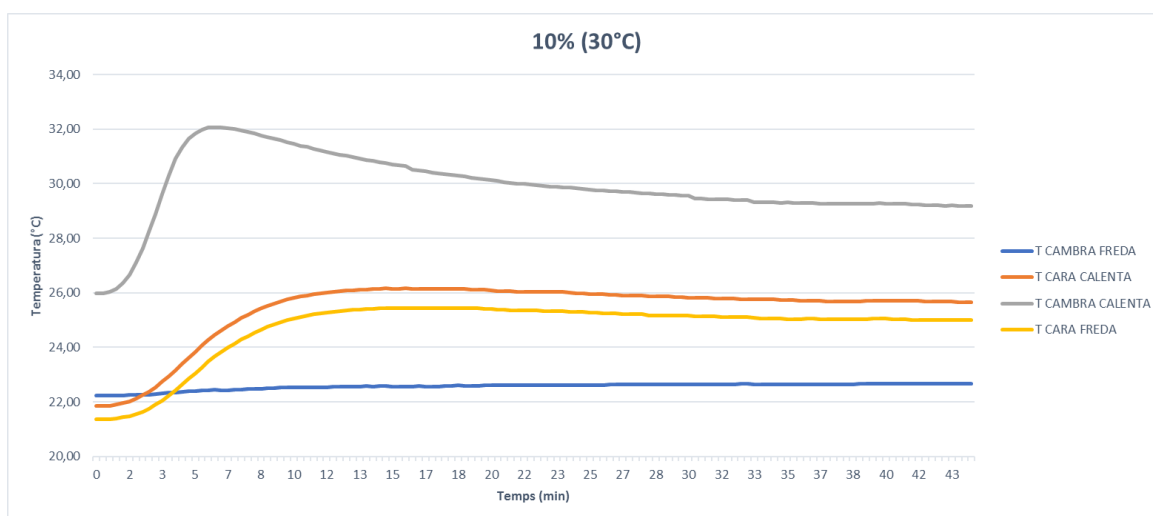


Figura 50. Representació gràfica del compost de 10% de fibra a temperatura de 30°C

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

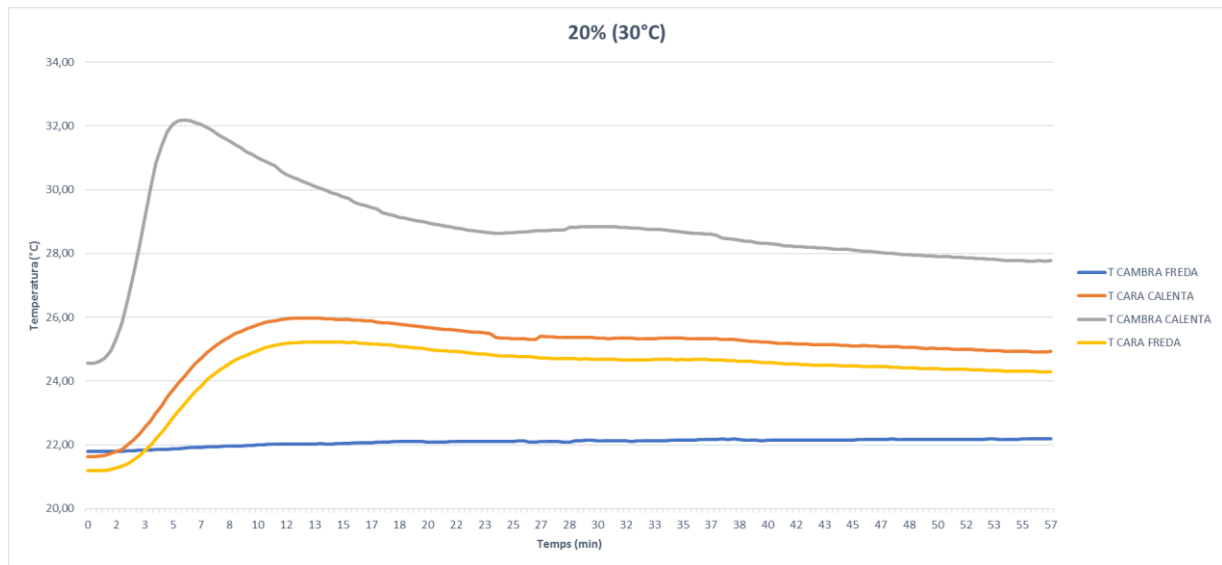


Figura 51. Representació gràfica del compost de 20% de fibra a temperatura de 30°C

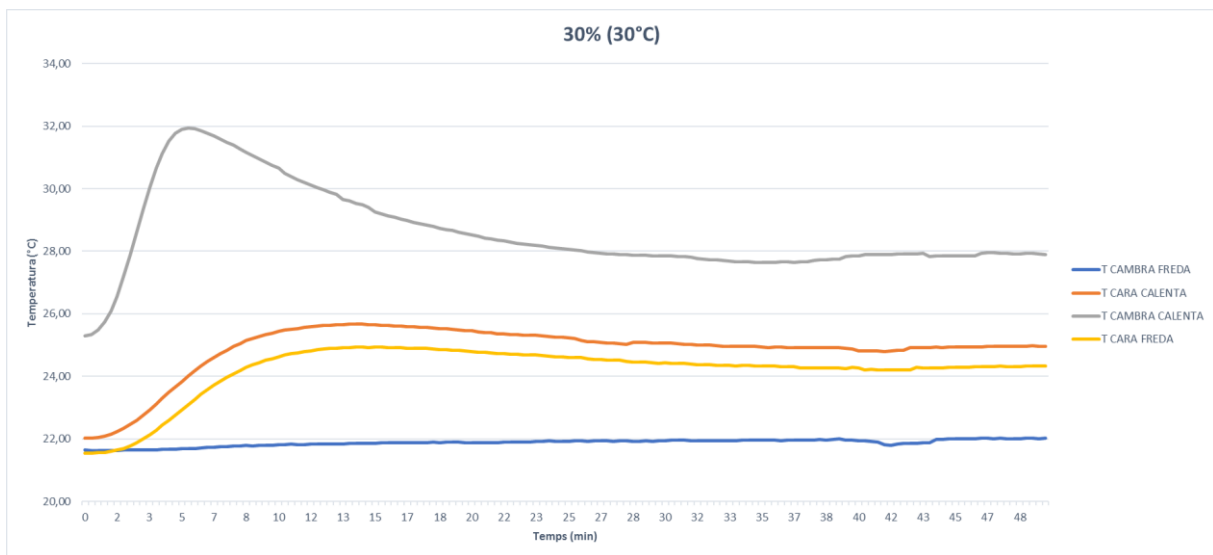


Figura 52. Representació gràfica del compost de 30% de fibra a temperatura de 30°C

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

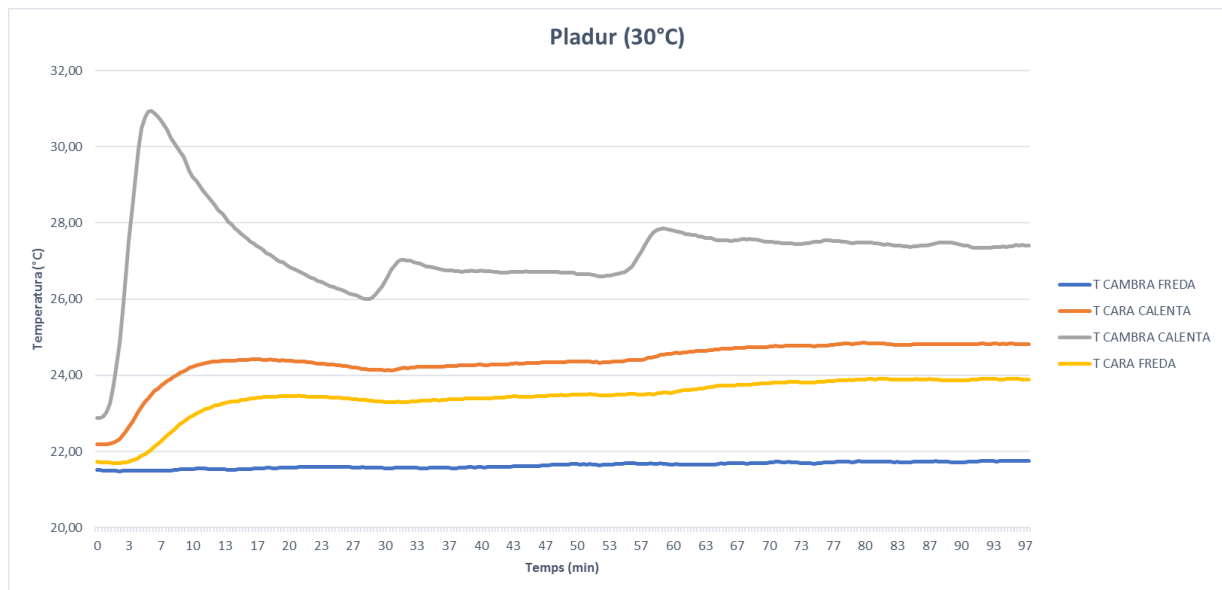


Figura 53. Representació gràfica del cartró-guix a temperatura de 30°C

Com es pot observar a les gràfiques en referència a una temperatura de 30°C i a diferència de les representacions gràfiques a 20°C, totes elles tenen una semblança en el grafisme. Es pot observar com la temperatura de la cambra calenta s'eleva fins arribar als 30 – 31°C, per després anar-se establint progressivament. No obstant, la cambra freda pràcticament no s'observa una variabilitat de la temperatura, augmentant un màxim d'un 1°C. Aquest factor, permet veure amb facilitat, que es tracta d'un material amb una conductivitat tèrmic molt baixa, fet destacable.

A la Taula 9, on es mostra els resultats obtinguts sobre la conductivitat tèrmica, corroboren l'aspecte comentat en el paràgraf anterior. A més, si es considera que les mostres es caracteritzaven per tenir un guix màxim de 3mm, esdevé un fet realment positiu.

A la Figura 53, on es mostra la representació gràfica del cartró-guix, s'observa que la temperatura de la cambra freda roman pràcticament estable tot i l'augment de la temperatura a la cambra calenta fins a 30°C. Si es realitza un anàlisi tant als resultats numèrics com gràfics, s'arribarà a la conclusió que els cartró-guix és un aïllament tèrmic. No obstant, si es compara els resultats extrems dels materials compostos amb el material a substituir al mercat (cartró-guix), s'observarà que els polímers reforçats amb fibra, aconseguen millors prestacions tèrmiques.

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

D'altra banda, cal remarcar, que els compostos tenien un gruix màxim de 3mm, en canvi el cartróguix era de 12,5mm. Tot hi això, els materials polimèrics han obtingut resultats molt superiors.

Mitjançant la Taula 9, es pot veure que s'estableix cap tipus de relació entre la conductivats tèrmica i l'augment de la quantitat de fibra. És a dir, no s'observa si al incrementar la quantitat de reforç fibrós a la matriu polimèrica, provocar un descens o no de la conductivats tèrmica o bé de la resistència total. Aquest fet pot ser degut a la dificultat per garantir una bona interfase fibra-matriu durant el procés de fabricat dels compostos per premsat.

Estudi conductivats tèrmica a una temperatura de 40°C.

A continuació, es mostraran un conjunt de gràfiques dels materials compostos formats per PLA (Figura 54), 10% de fibra (Figura 55), 20% de fibra (Figura 56), 30% de fibra (Figura 57) i cartróguix (Figura 58) respectivament. Tots ells, sotmesos a una temperatura a 40°C.

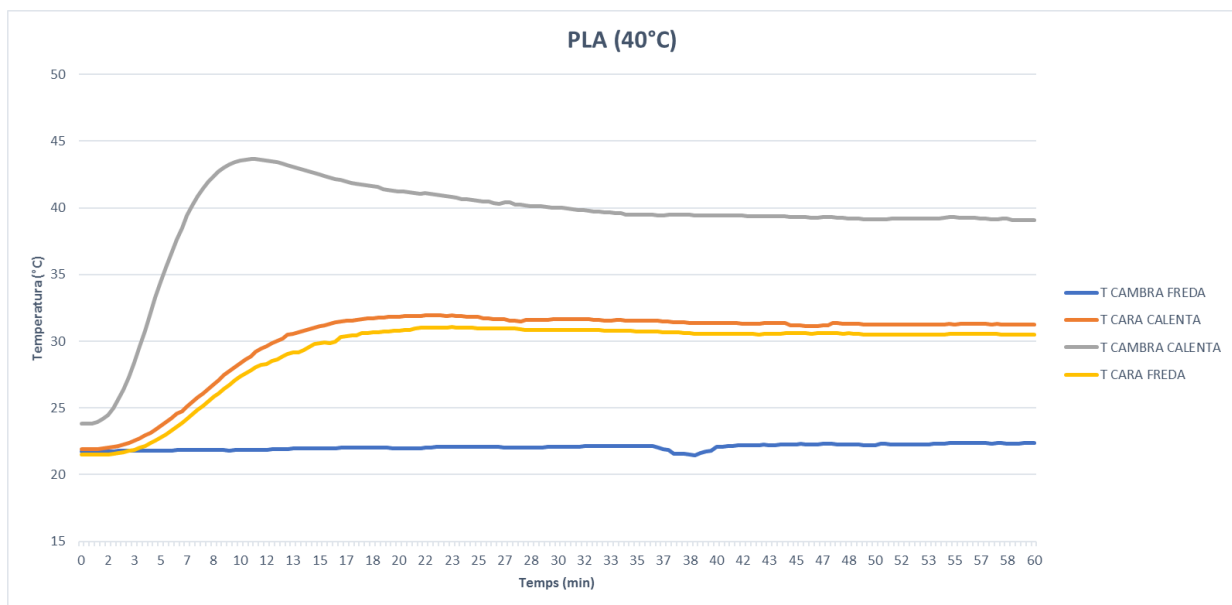


Figura 54. Representació gràfica del compost de PLA a temperatura de 40°C

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

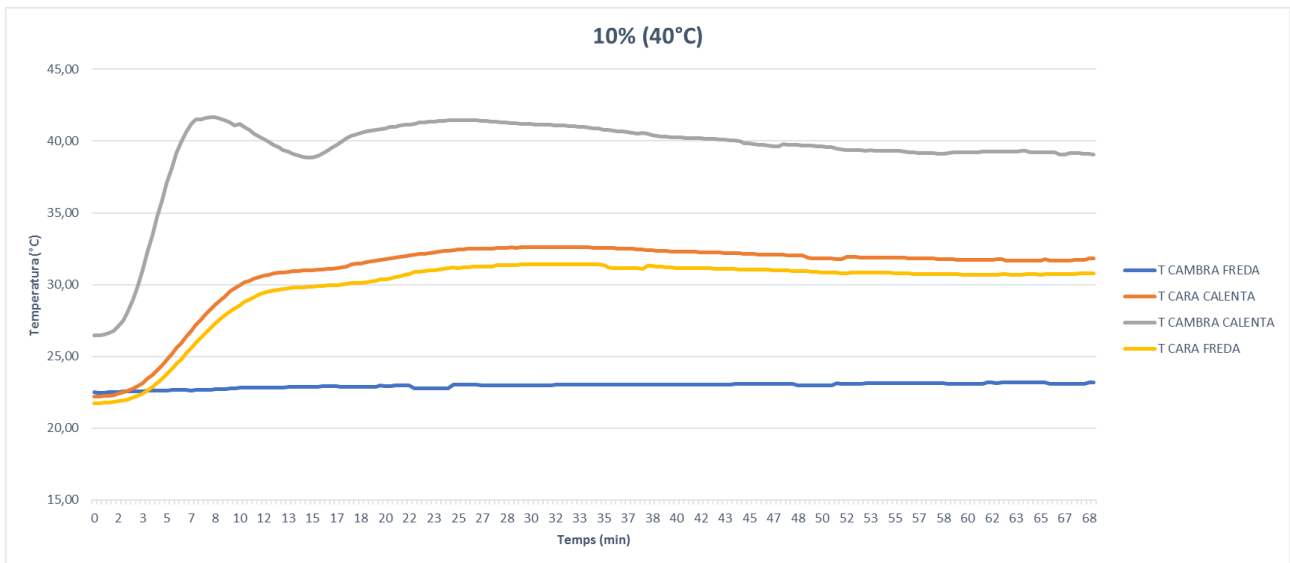


Figura 55. Representació gràfica del compost de 10% de fibra a temperatura de 40°C

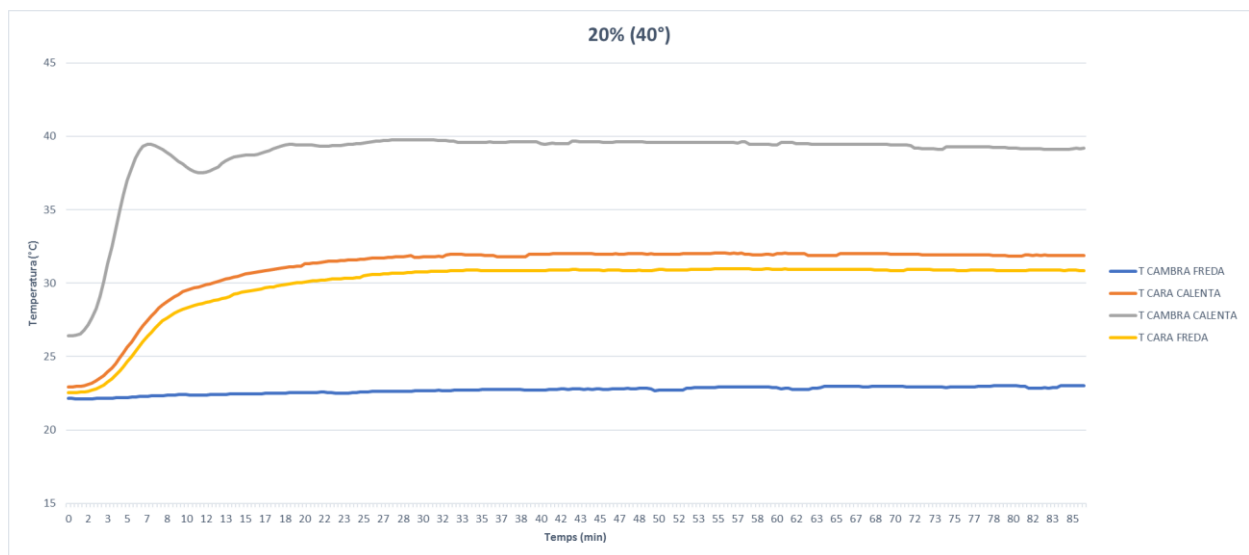


Figura 56. Representació gràfica del compost de 20% de fibra a temperatura de 40°C

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

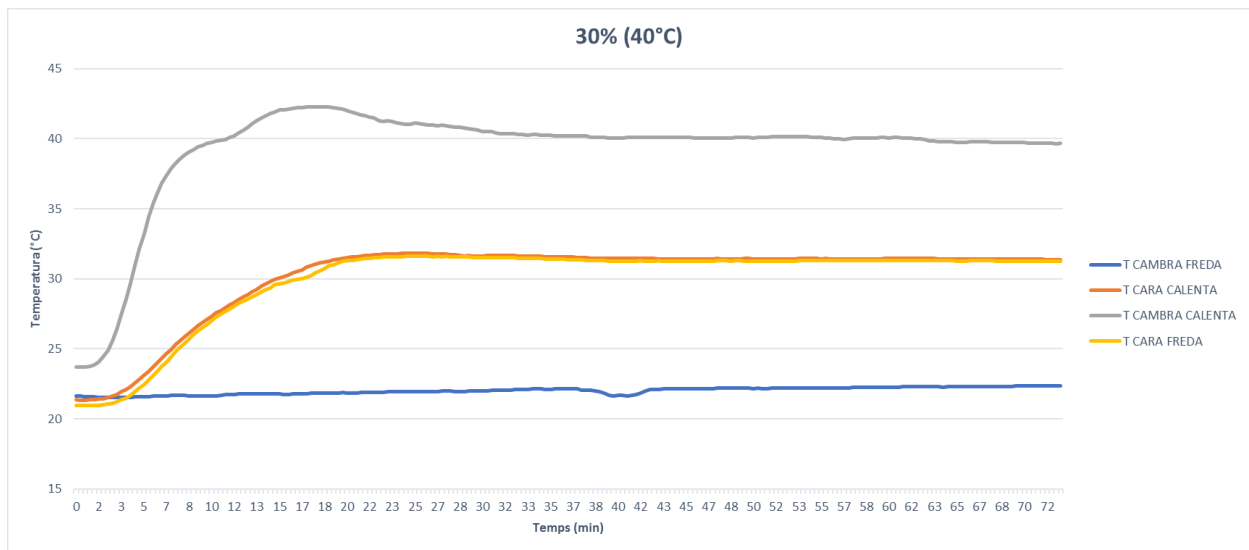


Figura 57. Representació gràfica del compost de 30% de fibra a temperatura de 40°C

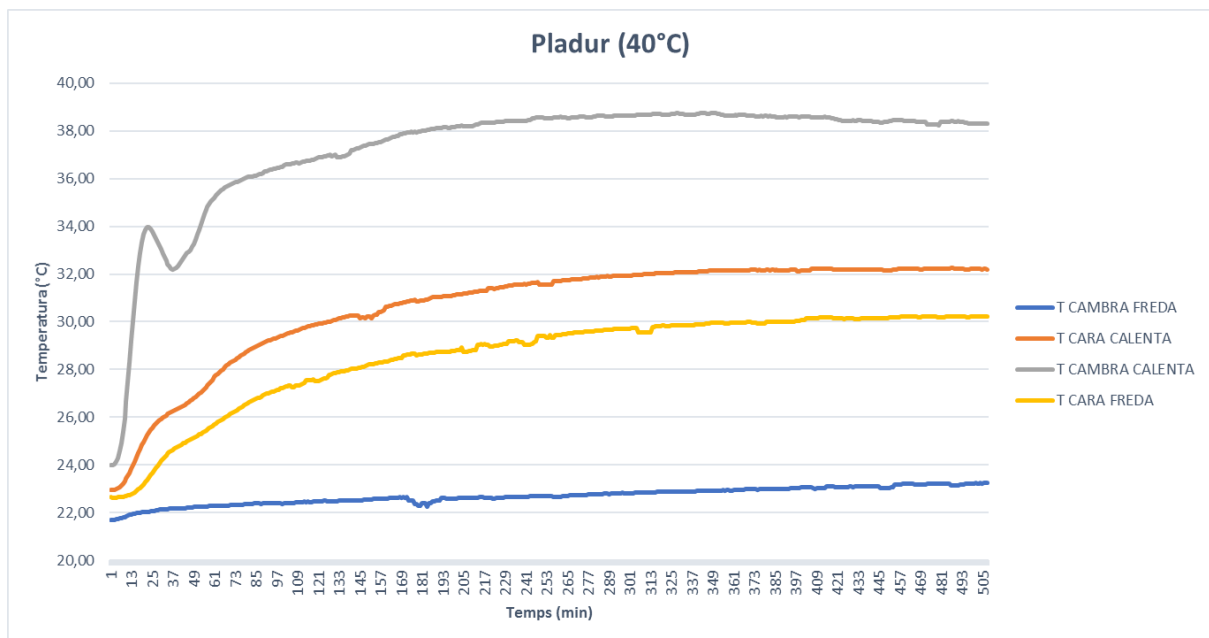


Figura 58. Representació gràfica del cartró-guix a temperatura de 40°C

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

Realitzant un primer anàlisi a les representacions gràfiques mostrades a les figures anteriors, s'observa que hi ha un semblança amb els grafismes de les provetes sotmeses a una temperatura de 30°C. La cambra calenta experimenta un increment de la temperatura a 40°C, mentre que la cambra freda pràcticament no es veu alterada. És cert, que en comparació a l'assaig de 30°C, l'ascens és una mica superior. No obstant, si es considera que la cambra calenta representaria una situació exterior a ple estiu, i la freda simbolitzaria l'interior d'un edifici, esdevindria un fet irrellevant ja que la conductivitat tèrmica resultar ser molt baixa.

Comparativament, els materials compostos fabricats, continuen sent molt superiors al cartró-guix en prestacions tèrmiques. Gràficament, si es pren atenció a la simbolització de la cambra freda, es veurà que el cartró-guix experimenta un ascens de gairebé 2°C en la seva temperatura, mentre que en els polímers reforçats amb fibra, augmenta 1 – 1,2°C. Per tant, estariem parlant que entre els 30 i 40°C, el cartró-guix pateix un increment de 1°C, per un màxim de 0,2°C dels compostos.

A través de la Taula 9, es pot corroborar numèricament aquesta superioritat per part dels materials compostos fabricats front el cartró-guix observat a les corresponents gràfiques. En aquest cas, els polímers reforçats resultar ser fins a 4 vegades superiors respecte el producte a substituir al mercat (cartró-guix).

De la mateixa forma que ha succeït a l'assaig amb una temperatura de 30°C, no es pot extreure una base imputable per tal d'intentar determinar una relació entre la quantitat de fibra amb el conductivitat tèrmica. Tal hi com s'ha esmentat en anterioritat, una possible causa d'aquest fet, seria la dificultat en aconseguir una bona interfase fibra-matriu a través del sistema de premsat.

Anàlisi i comparativa final.

Finalment, es realitzarà una valoració final dels valors obtinguts durant l'assaig, amb l'objectiu de arribar a unes conclusions fermes.

A continuació es mostrarà gràficament la conductivitat tèrmica del diferents materials compostos sotmesos a les temperatures de 30 i 40°C, així com un gràfic per observar la diferència entre ambdues situacions.

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

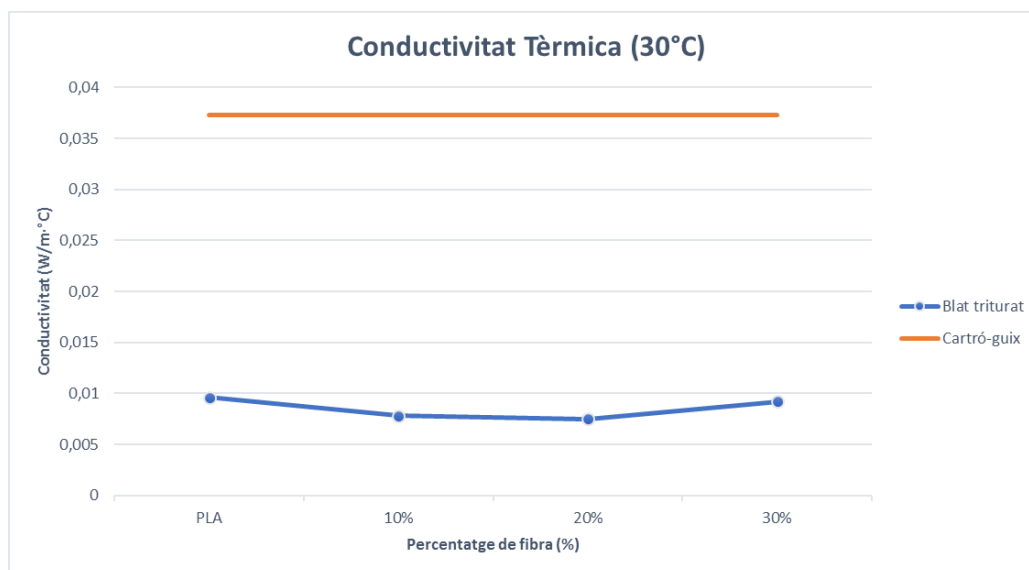


Figura 59. Representació gràfica de la conductivitat tèrmica a 30°C

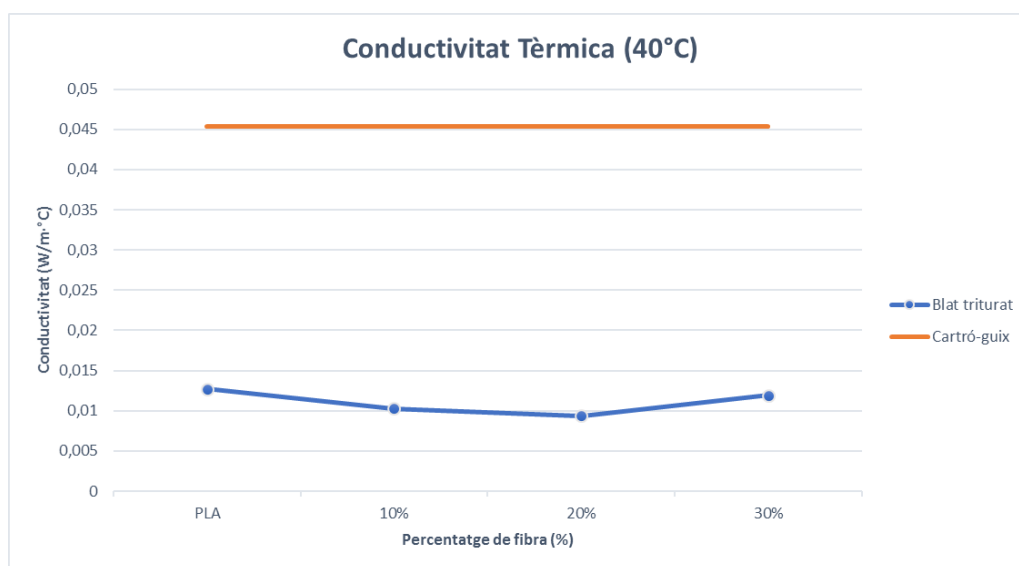


Figura 60. Representació gràfica de la conductivitat tèrmica a 40°C

Tal hi com es pot observar a les Figures 59 i 60 existeix un clar avantatge dels materials compostos front el cartró-guix, concretament fins a 4 vegades superiors. Aquest fet, podria suposar la reducció del gruix de les plaques i conseqüentment dels envans o elements de distribució verticals, ja que el cartró-guix tenia un gruix de 12,5mm mentre que els compostos era de 3mm.

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

Analitzant les gràfiques, de les Figures 59 i 60, s'observa una no evolució lineal de la conductivitat tèrmic en relació a la quantitat de fibra, aspecte comentat en els apartats anteriors. Això, podria esdevenir del procés d'obtenció del material.

A continuació, es mostra un gràfic comparatiu on es pot observar l'evolució de la conductivitat tèrmic en relació a l'increment de la temperatura.

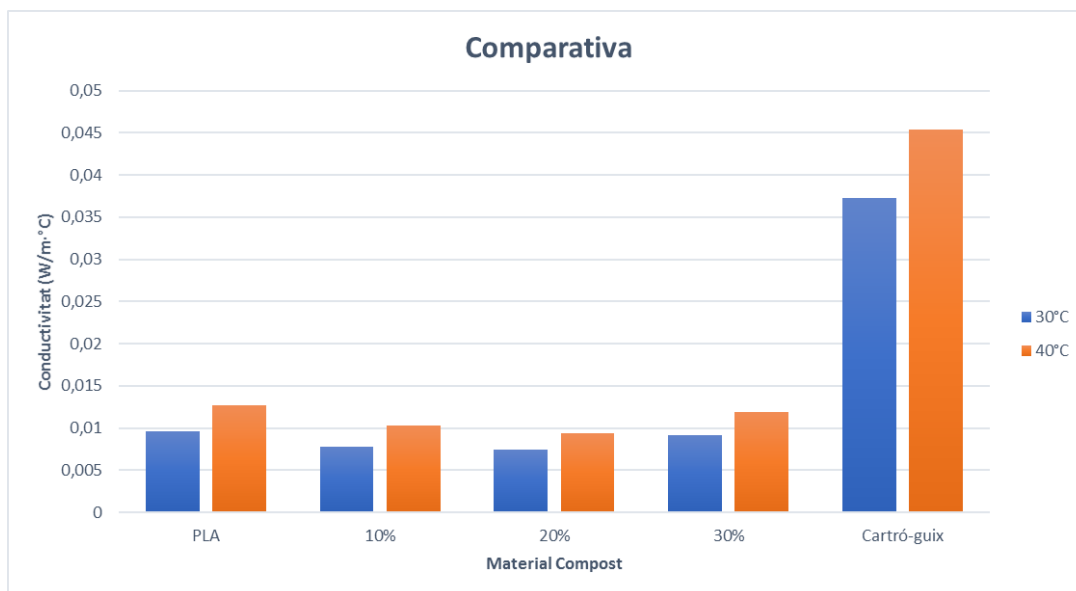


Figura 61. Representació gràfica de la conductivitat tèrmica en relació a la temperatura

Analitzant la Figura 61, s'observa que tots els materials compostos així com el cartró-guix, experimenten un increment de la conductivitat al augmentar la temperatura 10°C. Els polímers amb reforços fibrosos i el PLA pateixen un increment pràcticament igual, independentment de la quantitat de fibra.

Per contra, quan augmenta la temperatura d'assaig en provetes de cartró-guix, aquestes experimenten un increment superior al dels materials compostos. Aquest ascens, resulta ser el doble que el dels polímers amb i sense reforç.

Aquest fet esdevé quelcom positiu, ja que no només els materials compostos són fins a 4 vegades millors tèrmicament, sinó que amés, la seva conductivitat tèrmic pràcticament no augmenta comparativament parlant amb el cartró-guix.

5.5.- Microscòpia electrònica de rastreig.

Aquest anàlisi s'ha realitzat per tal de definir l'existència o no d'una bona interfase fibra-matriu dels compostos en que la seva matriu polimèrica ha estat reforçada amb un component fibrós. A més, el present estudi permetrà determinar el motiu pel qual es produeix una disminució de les propietats mecàniques dels compostos a mesura que augmentem la quantitat de fibra.

Per a dur a terme aquest assaig, s'ha fet ús de provetes dels compostos amb un 10, 20 i 30% de fibra. Les mostres no havien de tenir unes dimensions concretes, sinó que s'ha agafat un tall d'alguna proveta ja trencada. Així doncs, mitjançant un microscòpic electrònic dotat d'un equipament capaç d'enregistrar imatges amb resolucions de 3,5nm, s'ha procedit a l'anàlisi de les corresponents fissures.

Durant aquest procés, s'han obtingut un total de 3 – 4 imatges per cada compost amb escales gràfiques diferents, per tal d'enregistrar fotogràfiques que representen aspectes més generals, o bé, aspectes més concrets.

A continuació és mostraran tres imatges (Figura 62, 63 i 64) per representar els diferents compostos amb una escala gràfica de 500µm, a fi de fer una comparativa i extreure'n algunes conclusions que es corroboraran en imatges posteriors.

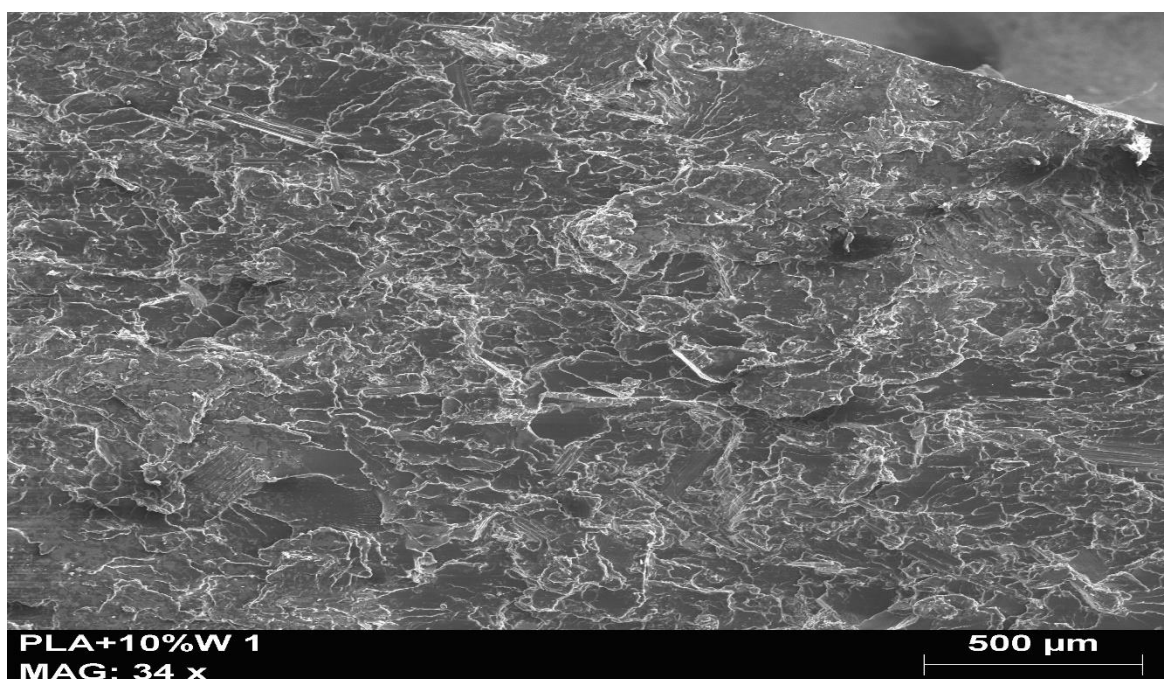


Figura 62. Representació fissura del compost 10% de fibra (500µm)

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

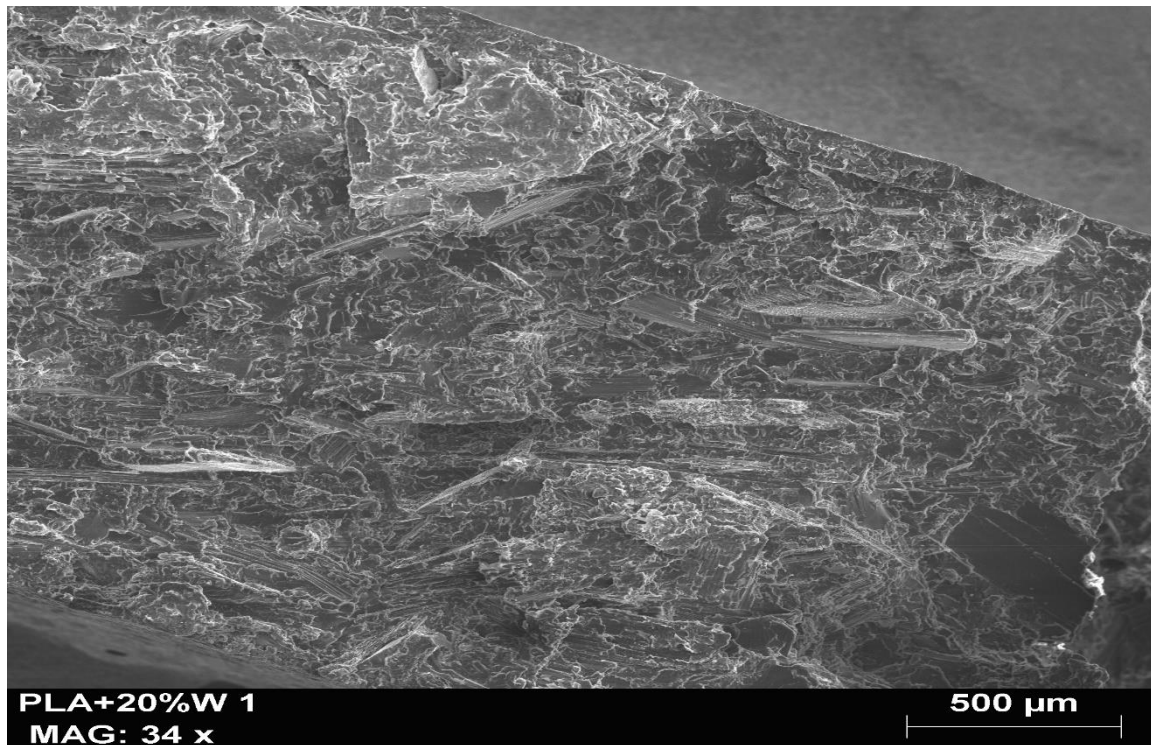


Figura 63. Representació fissura del compost 20% de fibra (500μm)

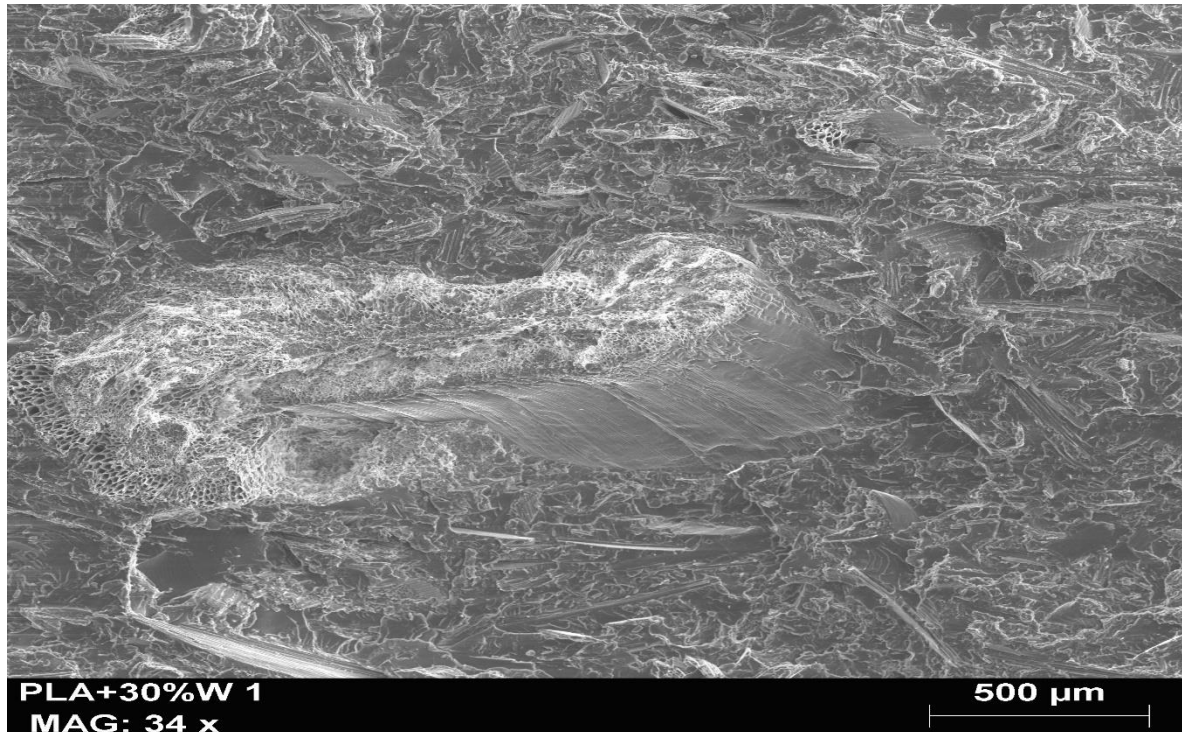


Figura 64. Representació fissura del compost 30% de fibra (500μm)

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

En primer lloc abans de realitzar una comparativa de les imatges mostrades, és important saber fer les distinció entre el PLA i la fibra que formen els compostos. Pel que fa a la fibra, és el component que es pot observa a través de unes línies completament rectes. A les imatges predominen les línies corbes, les quals representen el PLA, mentre que en determinades zones es pot observar línies rectes, les quals indiquen l'existència de fibra.

Entrant en matèria, si s'analitzen les Figures 62, 63 i 64 respectivament, s'observarà que a mesura que augmentem les quantitat de fibra com a element de reforç del polímer, apareixen més quantitat de fibra a les imatges, fet completament lògic i raonable.

D'altra banda, en totes tres imatges es pot observar una molt bona unió entre el PLA i la fibra, ja que no s'observa cap tipus de forat entre les seves unions. És a dir, en el supòsit cas que es produís una mala unió entre els components, vindria representada a través de forats, o bé, amb discontinuïtats entre materials.

El fet que hi hagi una bona unió entre PLA i fibra, determina que realment existeix una bona interfase fibra-matriu. Inicialment, a l'hora de realitzar els assajos mecànics (tracció, flexió i impacte) es va observar que a mesura que augmentàvem la quantitat de fibra, es produïa un descens de les propietats mecàniques. Això es creia que venia originat per una mala interfase, però després de realitzar aquest estudi, s'ha desmentit l'anterior afirmació. Així doncs, la disminució de les propietats que experimenten els compostos amb més quantitat de fibra, és degut a la utilització de serrin. És a dir, al triturar la palla de blat, estem evitant que aquest compost fibrós actuï com a element de reforç, conseqüentment provocant una major fragilitat del compost.

A la Figura 64, es pot observar que un gran component de fibra, fet que pot haver originat el seu trencament per aquella zona concretat. Aquest fet, es pot veure amb més deteniment i/o precisió a la Figura 67.

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

A continuació es mostren les Figures 65, 66 i 67, on es pot observar de forma més exhaustiva la major quantitat de fibra a mesura que s'incrementa el reforç de la matriu polimèrica.

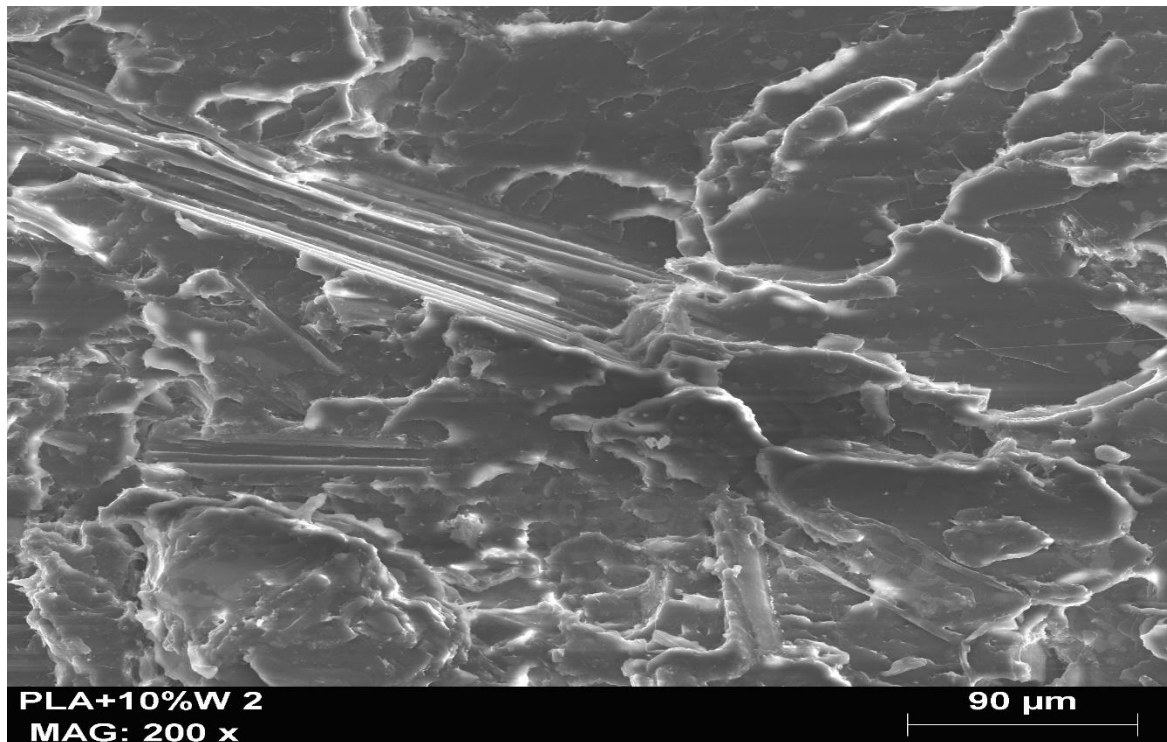


Figura 65. Representació fissura del compost 10% de fibra (90μm)

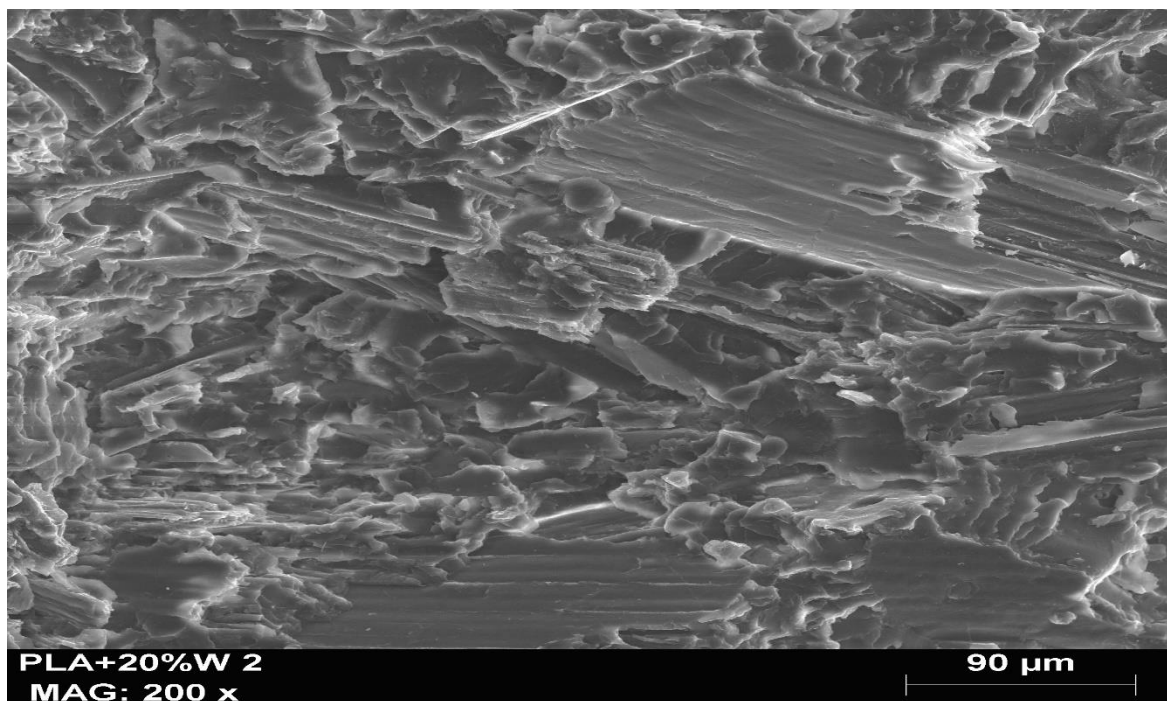


Figura 66. Representació fissura del compost 20% de fibra (90μm)

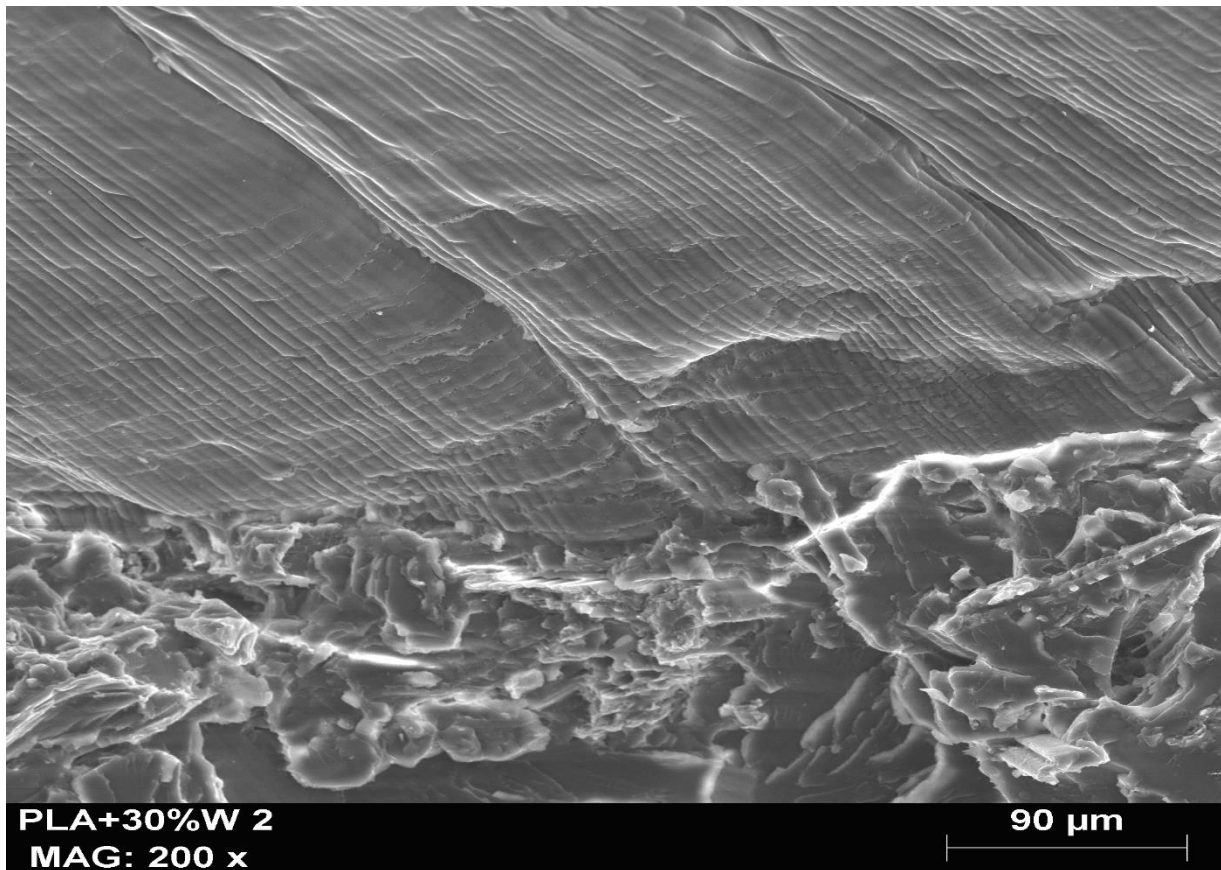


Figura 67. Representació fissura del compost 30% de fibra (90 μ m)

Tal hi com s'ha esmentat en les tres primeres imatges, a les Figures 65, 66 i 67 s'observa una major presència de fibra a mesura que augmenta la quantitat de reforç a la matriu polimèrica.

En aquestes darreres tres imatges es pot fer una major diferenciació entre els dos materials que formen els compostos fabricats, el PLA representats amb línies corbes, i la fibra simbolitzat amb línies rectes.

Es pot corroborar amb més certesa que existeix una bona interfase fibra-matriu, ja que no s'observen cap tipus de forats i discontinuïtats entre les unions dels diferents materials que conformen els compostos.

La Figura 67 representa una ampliació de la Figura 64, concretament de la zona on apareix un gran component fibrós. El trencament d'aquesta proveta pot haver esdevingut per aquest punt, ja que tal hi com s'ha comentat en apartat interiors, al acumular-se tensions a l'entorn del reforç, es genera una major fragilitat del compost, provocant així, la fissura i posterior trencament de la proveta.

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

Finalment es mostra un parell d'imatges (Figura 68 i 69) on es pot observar l'existència d'una bona interfase.

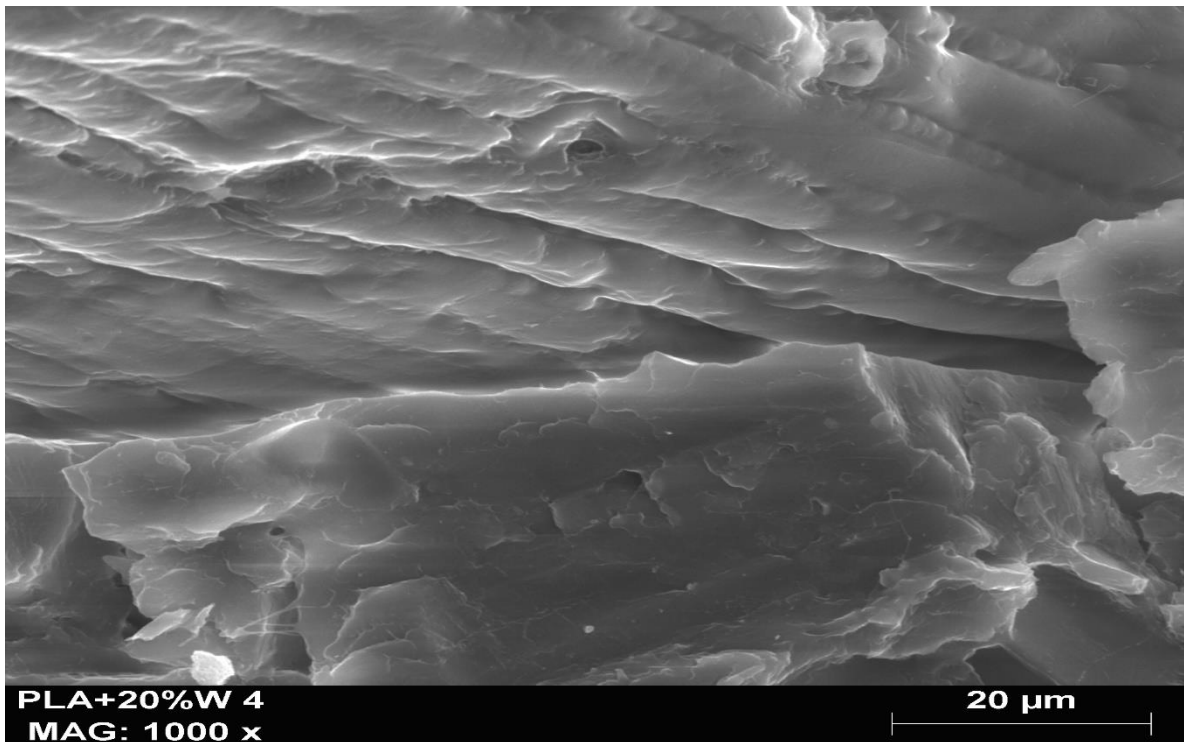


Figura 68. Representació fissura del compost 20% de fibra (20μm)

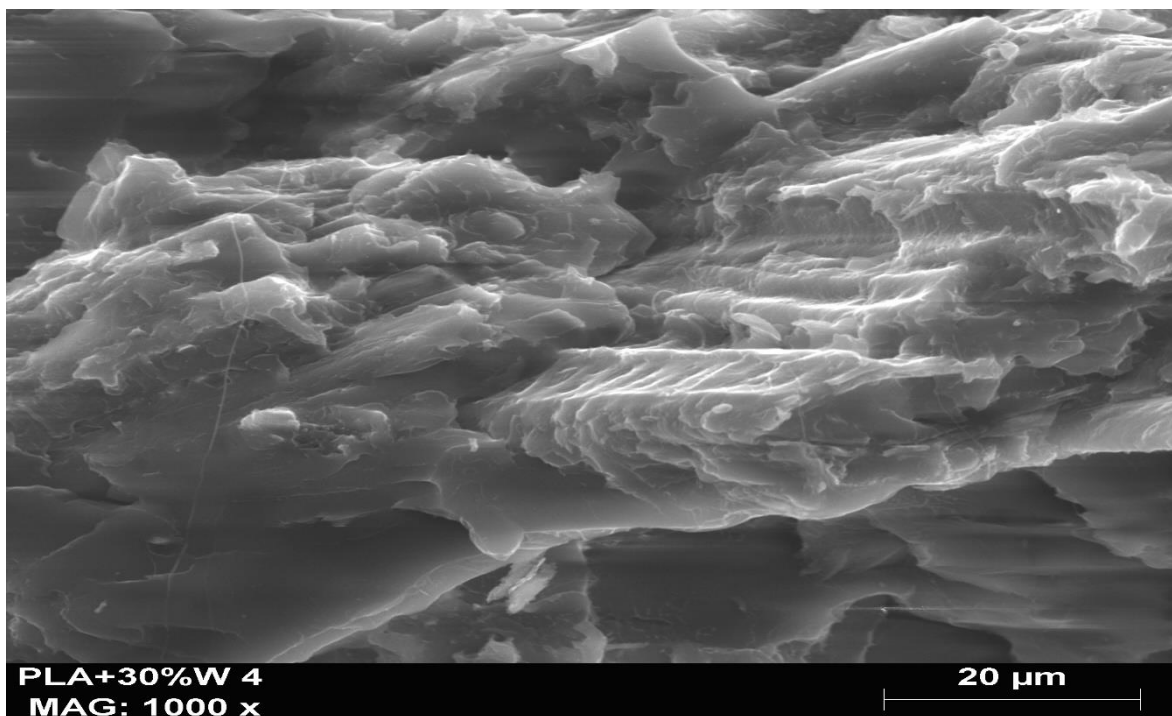


Figura 69. Representació fissura del compost 30% de fibra (20μm)

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

A la Figura 69, s'observa una petita part de la fibra, la qual, podria ser el motiu del seu trencament per aquest punt. De totes formes la unió entre la matriu polimèrica i la fibra es bona.

Pel que fa a les Figura 68, es pot veure a la part superior de la imatge un component fibrós, mentre que la part inferior, representa el PLA. De la mateixa manera que la Figura 69, existeix una bona interfase entre ambdós components que conformen el compost.

5.6.- Burning test.

A resistència front al foc del materials en el sector de la construcció esdevé aspecte rellevant. Per aquest motiu s'ha realitzat el present assaig del diferents materials compostos fabricats, així com del cartró-guix. En aquest petit estudi i/o anàlisi s'ha comprovat diferents paràmetres d'acord amb les especificacions de la normativa vigent, concretament el color de flama i el fum, determinar si la flama pren i quan tarda, i el degoteig de la peça, entre d'altres. A la Taula 10 que es mostra a continuació, s'especifiquen els resultats obtinguts per cadascun dels compostos.

Taula 10. Resultats obtinguts a l'assaig Burning test.

Material	Temps (segons)	Aplicacions	Flama pren	Color flama	Color fum	Goteja	Flama s'apaga
PLA	5	1	Sí	Blava	Blanc	Sí	No
	5	1	Sí	Blava	Blanc	Sí	No
10%	10	2	Sí	Blava	Blanc	Sí	No
	10	2	Sí	Blava	Blanc	Sí	No
20%	10	1	Sí	Blava - Taronja	Blanc	Sí	No
	10	1	Sí	Blava - Taronja	Blanc	Sí	No
30%	10	1	Sí	Taronja	Blanc	No	No
	10	1	Sí	Taronja	Blanc	No	No
Cartró-guix	-	5	No	-	-	-	No
	-	5	No	-	-	-	No

A la Taula 10 es pot observar com el PLA únicament ha necessitat 5 segons per tal que la flama prengué, en canvi el materials compostos que en la seva matriu polimèrica disposaven d'un reforç fibrós, han necessitat 10 segons. Amb aquest esment es pot determinar que la fibra actua d'element retardant a l'hora d'encendres el material, fet que resulta ser positiu.

Un cop la flama havia pres el PLA, ha experimentat un degoteig constant d'elements amb foc així com el deteriorament del propi material. A més, en cap moment la flama s'ha extingit.

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

En referència als polímers reforçats amb fibra, han experimentat una disminució del seu degoteig, és a dir, a mesura que augmenta la quantitat del reforç fibrós, els compostos deixen de produir un degoteig de partícules enceses. Per tant, a major quantitat inorgànica incorporada al material, menor és la capacitat que té el foc per fluir en el compost. Aquest succés, esdevé un aspecte positiu, ja que si el material no degoteig, s'evitaria una propagació del foc en cas d'incendi, fet que succeiria amb el PLA.

Finalment, el cartró-guix és un material amb unes excel·lents propietats front al foc, ja que com es pot observar a la Taula 10, han fet un total de 5 aplicacions durant 10 segons però no s'ha aconseguit que prenguéssin. El cartró-guix és utilitzat com a retardant de l'acció del foc a l'estructura de l'edifici. Al tractar-se d'un material amb gran quantitat inorgànica, provoca aquest excel·lent comportament front el foc.

5.7.- Anàlisi de l'angle de contacte.

La finalitat d'aquest assaig ha estat determinar l'angle que es genera al deixar caure una gota d'aigua destil·lada damunt de la superfície del material. Per dur-ho a terme, s'ha utilitzat un mesurador de l'angle de contacte (Figura 26) així com un software informàtic per a la recopilació de dades.

L'assaig en qüestió s'ha fet a tres provetes diferents de cadascun dels materials compostos fabricats a través d'un sistema de premsat. També s'han assajat mostres de cartró-guix, a fi de poder fer-ne una comparativa i observar si els materials compostos presenten millors prestacions que altres materials que podem trobar avui dia en el mercat.

A banda de determinar l'angle de contacte, s'ha agafat un total de 4 provetes per tal de aplica'ls-hi un revestiment mitjançant una pintura en base a aigua. Dues de les mostres no han rebut cap tipus de modificació / tractament a la seva superfície, mentre que les dues restants sí. És a dir, unes se'ls hi ha aplicat la pintura damunt un acabat completament llis, mentre les altres se'ls hi ha creat una superfície rugosa a través d'un raspall i/o llima.

Dit això, es realitzarà una estructuració d'aquest apartat en dos subapartats. Primerament es farà referència a l'angle de contacte i acte seguit a l'aplicació de pintures als materials compostos.

Anàlisi de l'angle de contacte.

En primer lloc, s'explicarà què senten com a angle de contacte. Aquest concepte resulta ser una funció de la tensió superficial del líquid i de l'energia superficial lliure del substrat. Per tal de garantir una correcta adhesió del líquid, és important que aquest disposi d'una tensió superficial superior a la del material.

A fi de garantir una bona adherència de les pintures en base a aigua, serà necessari una tensió superficial de 72mN/m, amb unes condicions de temperatura de 20°C. (Y. Oliva, 2012)

A la següent pàgina es mostra una taula comparativa dels angles obtinguts en els diferents compostos fabricats respecte el cartró-guix.

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

Taula 11. Resultats obtinguts a l'anàlisi de l'angle de contacte.

Material Compost	Angle Dret (°)	Angle Esquerra (°)	Mitjana Angles (°)
PLA	83,54	83,58	83,83
10%	75,68	76,77	76,22
20%	81,03	81,20	81,12
30%	84,20	84,33	84,26
Cartró-guix	87,41	88,30	87,86

A continuació, es mostra una representació gràfica de la Taula 11, on es podrà observar l'evolució de l'angle de contacte a mesura que augmentem la quantitat de fibra.

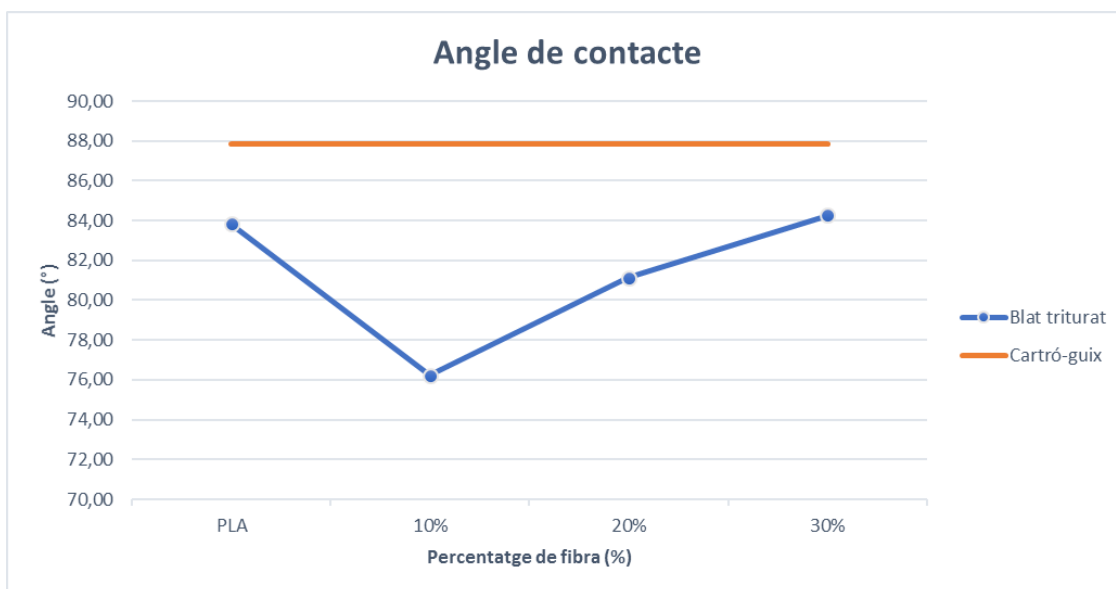


Figura 70. Representació gràfica de l'angle de contacte

A l'hora de determinar l'angle de contacte, s'ha d'establir una relació entre el propi angle i les característiques d'humectació que es produiran.

En general podem fer una diferenciació entre superfícies hidrofòbiques o hidrofíliques, en funció de l'angle de contacte resultant. Les primeres, provocaran que l'angle de contacte generat sigui superior a 90°, en canvi les segones, l'angle serà inferior a 90°.

En aquells situacions que l'angle de contacte sigui superior a 90°, implicarà que la humectació, l'adhesió i l'energia superficial del sòlid siguin baixes. Mentre que si l'angle format és inferior a 90°, les tres propietats esmentades anteriorment seran altes. (Universidad Nacional de La Plata, n.d.)

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

Dit això, es pot concloure que com més gran sigui l'angle que formi la gota sobre la superfície del compost, menor serà la capacitat d'humectació d'aquest. Per tant, interessa que aquest angle sigui inferior a 90° , tals que la humectació, l'adhesió i l'energia superficial del sòlid seran altes. (Evonik Industries AG, n.d.)

D'acord amb el que es defineix a la Taula 11 com a la Figura 70, s'observa que tots els materials compostos reforçats i sense reforçar generen un angle de contacte inferior al del cartró-guix, fet inicialment positiu, ja que significarà que aquests compostos presenten una millor humectació.

No obstant, segons la Figura 70, l'evolució de l'angle de contacte no és lineal, per tant, no podem disposar d'una base imputable que ens permeti definir si a mesura que augmentem la quantitat de fibra, s'incrementa o disminueix la capacitat d'humectació del compost.

Aplicació de revestiments als compostos.

Per tal de determinar amb major certesa si els materials compostos són aptes a l'aplicació de revestiments com ara les pintures, no només em determinar l'angle de contacte, sinó que s'ha fet un prova real, és a dir, s'ha pintat un conjunt de quatre mostres per avaluar el seu comportament tant en el moment de ser pintades, com un cop s'ha endurit el revestiment.

Com s'ha esmentat anteriorment, a dues provetes se'ls hi ha mantingut el seu acabat llisa (Figura 35), mentre que les dues restants, se les hi ha donat un acabat rugós (Figura 36).

Acte seguit es mostraran un conjunt d'imatges en les quals es podrà observar els resultats obtinguts després que la pintura s'hagués assecat i endurit, tant de les provetes amb superfície llisa com en rugosa.

Cal remarcar que en totes sis fotografies, s'observaran dos provetes. La mostra de l'esquerra representa la superfície llisa, mentre que la de la dreta, fa referència a la superfície rugosa d'aquell determinat compost.

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

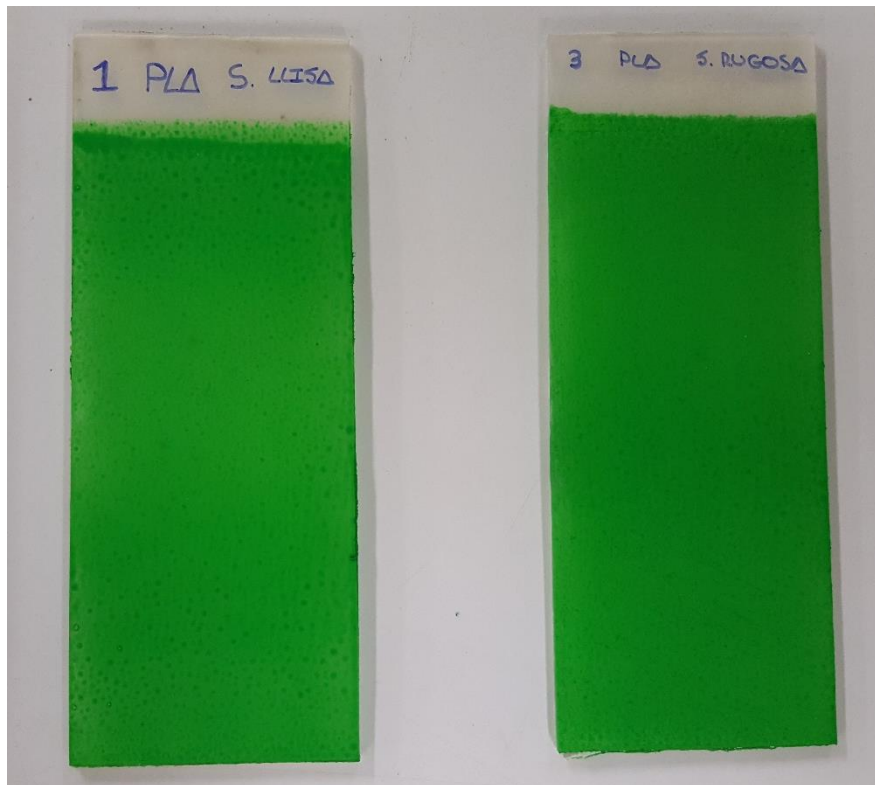


Figura 71. Pintura assecada en el PLA

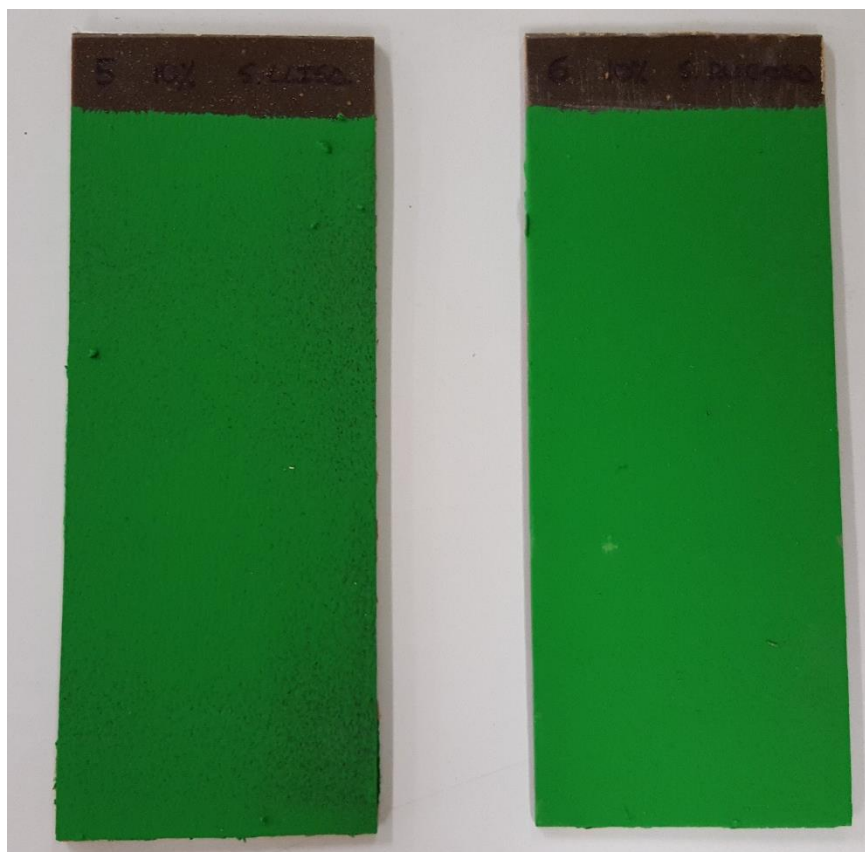


Figura 72. Pintura assecada en el compost de 10% de fibra

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

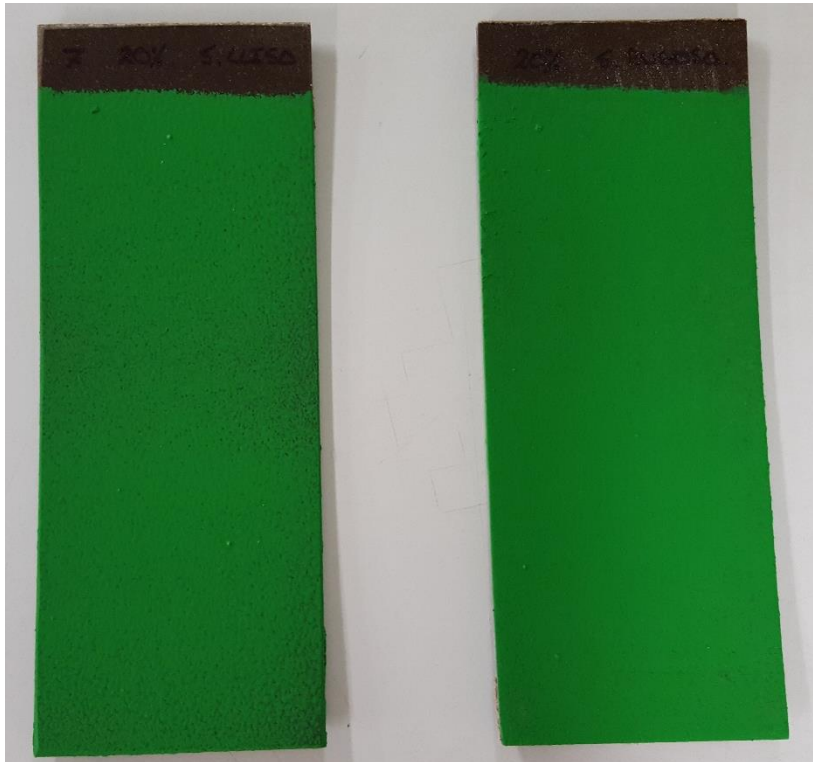


Figura 73. Pintura assecada en el compost de 20% de fibra



Figura 74. Pintura assecada del compost de 30% de fibra

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

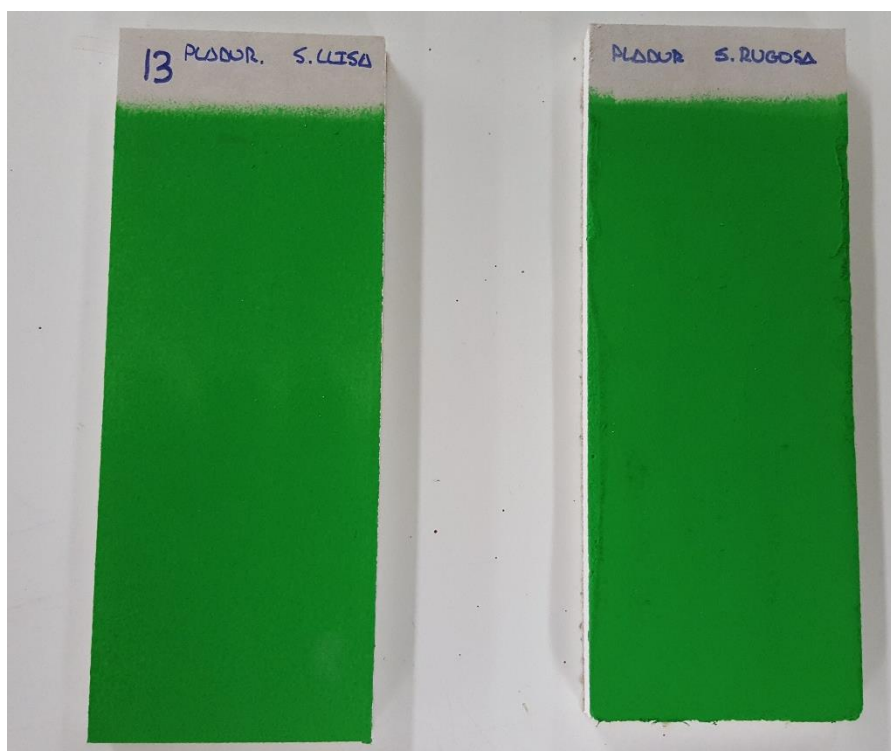


Figura 75. Pintura assecada en el cartró-guix

Com s'ha esmentat anteriorment, s'ha fet una avaluació durant el procés de pintat, així com un cop la pintura havia assecat al cap de tres dies.

Durant el procés de pintat, els polímers amb i sense reforç que es caracteritzaven per tenir una superfície llisa, presentaven alguna petita per ser pintat, és a dir, s'observava que la pintura no es repartia de forma uniforme al llarg de la proveta. No obstant, a mesura que es revestien el compostos amb més quantitat de fibra, més fàcil aplicar-li la pintura, és a dir, semblaria que a major reforç fibrós, millor és el pintat d'aquests.

En quan a tots aquells materials compostos en que la seva superfície era rugosa, presentaven una major facilitat per ser pintats en relació els llisos. Per aquestes mostres, no es va apreciar si aquells compostos amb major quantitat de fibra, presentaven més facilitat a ser pintats respecte el PLA.

Realitzant una comparativa amb el cartró-guix, els polímers reforçats amb fibra resultava ser més difícil la aplicació de la pintura, ja que el cartró-guix, tan si la seva superfície era llisa com rugosa, no presentaven cap tipus de dificultat a l'hora d'aplicar-li el revestiment.

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

En referència a les pintures un cop assecades, s'observa que tant les Figures 71, 72, 73 i 74 les provetes amb superfície llisa han obtingut un acabat del tot bo, ja que es poden veure com petits espais sense pintar. Per contra, les mostres que es caracteritzaven per tenir una superfície rugosa, han obtingut millor acabat. Tant els compostos sense reforçar com els reforçats, el seu aspecte de forma visual, sembla bo.

Finalment a la Figura 75, on s'observen les provetes del cartró-guix, no s'observa cap tipus de diferència entre la mostra de superfície llisa com de la rugosa, degut a que l'aspecte visual és completament igual. Així doncs, en aquest aspecte, els materials compostos fabricats, tenen un petit desavantatge front el cartró-guix, a causa de caracteritzar-se per una superfície poc porosa.

6.- Comparativa de resultats.

Un cop analitzats els resultats obtinguts dels diferents assajos, es realitza una petita comparativa entre els polímers sense reforçar, els reforçats amb fibra i, amb el cartró-guix, material el qual volem substituir en el mercat.

Aquesta comparativa permetrà veure de forma més clara quina és l'evolució de les propietats mecàniques i tèrmiques dels compostos, així com la resistència al foc, amb l'addició de fibra a la matriu polimèrica de PLA.

A continuació es mostra una taula, on s'hi representen el conjunt de resultats de cadascun dels compostos assajats.

Taula 12. Comparativa de resultats.

Material	Gruix proveta (mm)	σ_t (MPa)	σ_f (MPa)	λ (W/m·°C)	Burning Test
PLA	3,00	56,603	98,183	0,0127	No apte
10%	3,00	38,793	70,183	0,0103	No apte
20%	3,00	21,263	41,063	0,0094	No apte
30%	3,00	18,827	38,843	0,0119	No apte
Cartró-guix	12,50	0,560	2,819	0,0454	Apte

D'acord amb els resultats que s'observen a la Taula 12, les propietats mecàniques de tracció i flexió, així com tèrmiques dels compostos vers al cartró-guix, són clarament superiors. No obstant, s'observa que a mesura que augmenta la quantitat de fibra a la matriu de PLA, aquestes propietats es veuen repercutides de forma negativa. Aquest fet no es degut a una mala interfase fibra-matriu, ja que a través de la microscòpia electrònica de rastreig s'ha pogut observar una molt bona unió entre els dos materials, sinó pel tipus de fibra utilitzada. Al reforçar el polímer amb serrin, no s'està aportant cap tipus de reforç a la matriu, sinó que s'està empitjorant.

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

La conductivitat tèrmica dels compostos és un dels grans punts a favor, ja que amb planxes de fins a 4 vegades menys gruix, som capaços d'obtenir millors prestacions tèrmiques que el cartró-guix. Això, permetria reduir les quantitats d'aïllament així com, reduir els gruixos dels tancaments i/o divisions interiors dels edificis.

Pel que fa als resultats obtinguts a l'assaig de resistència al foc, no es pot dir el mateix que en les propietats mecàniques. És cert que l'addició de fibra a aportat un petit retardant a l'hora de prendre's la flama, així com evitar el degoteig del material, però no esdevenen fets rellevants per determinar que els polímers reforçat amb fibra presenten millors prestacions que el cartró-guix.

El comportament del foc d'aquests compostos, resulta ser un dels principals factors a millorar de forma clara, mitjançant algun tipus d'additiu que permeti retardar de forma considerable la presa de la flama o bé, que directament eviti la crema del material.

7.- Conclusions

En el present treball s'han fabricats compostos de matriu polimèrica reforçats amb fibra natural a través d'un sistema de premsat mecànic. Els continguts de reforçar era del 10, 20 i 30% de fibra.

A través del sistema de premsat s'han obtingut materials amb un gruix aproximat de 3mm, que posteriorment s'han tallat per elaborar les provetes i poder-les assajar en els diferents assajos esmentats al llarg d'aquest projecte.

Fet l'anàlisi dels resultats obtinguts, les conclusions que es poden extreure de cadascun dels assajos realitzats, s'esmenten a continuació.

Assaig a Tracció.

Mitjançant l'assaig a tracció es conclou que:

- L'addició de fibra natural a la matriu polimèrica no provoca una millora de les d'aquestes propietats, sinó tot el contrari.
- No s'han extret una conclusions clarificadors respecte a l'evolució del mòdul de Young al augmenta les quantitats de fibra, degut al trencament de les provetes abans d'assolir els nivells de deformació especificats per la normativa.
- La deformació del material es veu afectada per l'augment de fibra. Al utilitzar la fibra en forma de serrin, s'està augmentant la fragilitat del compost, per tant, s'aconsegueix una menor deformació per la discontinuïtat de la matriu de PLA.
- L'addició de fibra provoca que els compostos reforçats experimentin deformacions permanent abans de trencar-se, fet que no succeeix amb el PLA sense reforçar.
- En comparació al cartró-guix, material que volem substituir al mercat, els materials compostos obtenen una prestacions mecàniques a tracció molt superiors.

Assaig a Flexió.

Mitjançant l'assaig a flexió es conclou que:

- L'addició de fibra provoca una disminució de les propietats mecàniques a flexió, tal hi com succeïa a tracció.
- Els compostos sense o amb poca quantitat de reforç a la matriu de PLA, experimentaven un trencament sobtat, en canvi, a mesura que augmentava el percentatge de fibra, es produïa una petita fissura, evitant així, el trencament del material. Aquest fet, pot ser originat per un lligam de les fibres amb les resta del partícules.
- No es pot determinar si al augmentar la fibra, el material experimenta una millora o no del mòdul de Young, així com una evolució lineal.
- Com ja ha succeït a tracció, els materials compostos obtenen un millor comportament front els esforços a flexió, en comparació al cartró-guix.

Assaig a Impacte.

Mitjançant l'assaig a impacte es conclou que:

- El descens del valor de la resiliència , al afegir fibra a la matriu de PLA, causa l'augment de la fractura del material.
- L'addició d'una major quantitat de fibra, provoca una disminució de l'energia necessària per generar una fractura al compost.
- La no linealitat observada en els resultats obtinguts pot ser degut a problemes a l'hora de realitzar la entalla de les provetes, ja que les provetes sense entalla presenten un bon comportament, mentre que les amb entalla no.
- Els compostos reforçats amb fibra, requereixen menor energia per trencar-se, el qual explica el menor comportament mecànic d'aquests front els esforços a tracció i flexió.

Estudi de la conductivitat tèrmica.

Mitjançant estudi de la conductivitat tèrmica es conclou que:

- Amb les provetes sotmeses a una temperatura de 20°C, s'han obtingut els resultats esperats, ja que des de l'inici de l'assaig les dues cambres es trobaven sota una situació de règim estacionari.
- No es pot obtenir una base imputable per establir una relació entre la conductivitat tèrmica i la quantitat de fibra, ja que no s'observa cap augment o descens de les propietats.
- Els materials compostos presenten un excel·lent comportament tèrmic, ja que les temperatures de la cambra freda augmenten 1°C respecte el 10 o 20°C de la cambra calenta.
- Al incrementar la temperatura de la cambra calenta, s'observa un descens de la conductivitat tèrmica del material, fet completament lògic.
- Els compostos presenten millors prestacions tèrmiques que el cartró-guix, considerant que els materials de PLA reforçats amb fibra natural tenien un gruix de 3mm, mentre que el cartró-guix era de 12,5mm.

Microscòpia electrònica de rastreig.

Mitjançant la microscòpia electrònica de rastreig es conclou que:

- Existeix una bona interfase fibra-matriu, ja que en les imatges no s'han observat cap tipus de discontinuïtat entre components o bé qualsevol forat.
- El descens de les propietats mecàniques al augmentar la fibra, és degut a la utilització de la fibra natural en forma de serrin, ja que no aporta cap tipus de reforç a la matriu de PLA, sinó tot el contrari, major fragilitat.

Burning Test.

Mitjançant l'assaig de resistència al foc es conclou que:

- L'addició de fibra a la matriu de PLA ha esdevingut un factor positiu, ja que ha provocat un no degoteig del material així com un retard a la inflamació del compost.
- En comparació al cartró-guix, els compostos de PLA i els reforçats amb fibra, presenten un comportament negatiu front el foc. Així doncs, s'hauria de buscar algun tipus d'additiu per permeti millorar les seves prestacions.

Anàlisi de l'angle de contacte.

Mitjançant l'anàlisi de l'angle de contacte i l'aplicació de revestiments continus es conclou que:

- Els resultats obtinguts en l'anàlisi de l'angle de contacte demostren que existeix una bona absorció dels compostos, de la mateixa forma que el cartró-guix.
- L'aplicació de revestiments a través de pintura en base a aigua es conclou que per aquelles provetes amb una superfície llisa, presentaven un pitjor comportament que aquelles amb superfície rugosa.
- L'addició de fibra a la matriu polimèrica, provoca una millora en l'absorció de la pintura.
- Els materials compostos presenten un pitjor comportament que el cartró-guix, per tant, s'hauria de buscar algun producte que aportés més adherència al material, com per exemple, l'aplicació d'una capa d'imprimació prèvia al pintat.

8.- Futures línies d'investigació.

Al llarg del present projecte s'ha estudiat un conjunt de propietats mecàniques dels materials compostos fabricats, així com s'ha fet un estudi de la conductivitat tèrmica i un anàlisi de la interfase fibra-matriu a través de la microscòpia electrònica de rastreig. Finalment, s'ha analitzat el comportament dels compostos front l'aplicació de pintura en base a aigua. Un cop obtinguts i analitzats els resultats, es conclou que es tracta d'un material apte en el món de la construcció.

Tot hi això, un dels principals objectius del present treball era determinar el comportament dels materials compostos front el foc. L'assaig en qüestió, s'ha realitzat però no segons les especificacions regulades per la normativa de referència. Aquest fet no ha estat possible ja que no es disposava de tot l'equipament necessari per realitzar l'assaig, i en cas de demanar-lo, no s'hauria pogut complir amb els terminis d'entrega.

Per tal de poder aconseguir un producte que en un futur pugui ser utilitzat com a elements de separació vertical, és necessari que es realitzin els estudis que es mostren a continuació:

- **Millorar del reforç de la matriu polimèrica.**

Tot hi que els resultats obtinguts dels assajos indiquen una clara superioritat de les propietats mecàniques dels compostos respecte el cartró-guix, s'hauria de trobar una alternativa per reforçar la matriu polimèrica per tal d'evitar una reducció de les propietats al augmentar la quantitat de fibra. És a dir, cercar la forma d'introduir fibra a la matriu, sense que aquesta sigui en forma de serrin.

- **Comportament front el foc.**

Analitzats els resultats obtinguts, esdevé fet primordial millorar el comportament dels materials compostos front el foc, ja siguin utilitzant algun additiu que permeti retardar i/o evitar l'afecte de la flama.

- **Comportament acústic.**

Malgrat es té constància d'un bon comportament d'aquests materials compostos front les prestacions acústiques, és completament necessari realitzar altres proves i/o assajos que permetin corroborar amb ferma certesa les conclusions extretes en estudis anteriors.

9.- Normativa d'Aplicació.

UNE-EN ISO 527-1:2012 Plàstics. Determinación de la propiedades en tracción. Parte 1. Principios generales.

UNE-EN ISO 527-2:2012 Plàstics. Determinación de les propiedades en tracción. Parte 2: Condiciones de ensayo de plàstics para moldeo y extrusión.

UNE-EN ISO 178:2011 Plàstics. Determinación de las propiedades de flexión.

ASTM D-790 Propiedades de flexión de plàstics reforzados y no reforzados y materiales de aislamiento.

UNE-EN ISO 179-1 Plásticos. Determinación de las propiedades al impacto Charpy. Parte 1. Ensayo de impacto no instrumentado.

UNE-EN ISO 179-2 Plásticos. Determinación de las propiedades al impacte Charpy. Parte 2. Ensayo de impacto instrumentado.

UNE-EN ISO 8890: 19977. Determinación de les propiedades de transmisión tèrmica en régimen estacionario. Métodos de la caja caliente guardada y calibrada.

UNE-EN ISO 9772:2012 Plàstics. Determinación de las características de combustión horitzontal de pequeñas muestra sometidas a una pequeña llama.

Código Técnico de la Edificación – Documento Básico HE Ahorro de energia. Apartado HE 1. Limitación de la demanda energètica.

Código Técnico de la Edificación – Documento de Apoyo al documento básico HE Ahorro de energia, Apartado HE 1. Cálculo de parámetros característicos de la envolvente.

10.- Referències Bibliogràfiques.

- [1] Bledzki, A. K., Jaszkiwicz, A., & Scherzer, D. (2009). *Mechanical properties of PLA composites with man-made cellulose and abaca fibres. Composites Part A: Applied science and manufacturing*, 40(4), 404-412. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2009.01.002>
- [2] Carulla, C. (n.d.). *Microscòpia electrònica de Rastreig*. <http://www2.udg.edu/serveis/STRUM/Microsc%C3%B2piaElectr%C3%B2nica/Microsc%C3%B2piaElectr%C3%B2nicadeRastreig/Caracter%C3%ADstiquesdelEquip/tabid/13271/language/ca-ES/Default.aspx>
- [3] Deborah D.L., C. (2010) *Composite Materials: Science and Applications* https://books.google.cat/books?id=vGstB0vDe04C&printsec=frontcover&dq=Composite&hl=ca&ei=dJ78Tdf0Ksf0gan1p3ZAw&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=3&ved=0CDgQ6AEwAg#v=onepage&q&f=false
- [4] Escalera Pérez, A. (2011). *Estudi des de la perspectiva preventiva del procés de revestiments ceràmics*. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/13460/Estudi%20des%20de%20la%20perspectiva%20preventiva%20del%20proc%C3%A9s%20de%20col%20E2%80%A2locaci%C3%B3%20d%E2%80%99elements%20cer%C3%A0mics.pdf>.
- [5] Garzara, A. (n.d) “*El Trigo*” Retrieved from <http://www.monografias.com/trabajos6/trigo/trigo2.shtml>
- [6] Gerra Pérez, F., Vallejo Martín, H. (n.d) “*Ácido Poliláctico (PLA)*” <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso08-09/pla/Pag%20web/acido%20polilactico.html>
- [7] Granda, L. A., Espinach, F. X., Tarrés, Q., Méndez, J. A., Delgado-Aguilar, M., & Mutjé, P. (2016). *Towards a good interphase between bleached kraft softwood fibers and poly (lactic) acid. Composites Part B: Engineering*, 99, 514-520. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.05.008>
- [8] Granda, L. A., Méndez, J. A., Espinach, F. X., Puig, J., Delgado-Aguilar, M., & Mutjé, P. (2016). *Polypropylene reinforced with semi-chemical fibres of Leucaena collinsii: Thermal properties. Composites Part B: Engineering*, 94, 75–81. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836816300415>

- [9] Huda, M., Drzal, L., Mohanty, a, & Misra, M. (2006). *Chopped glass and recycled newspaper as reinforcement fibers in injection molded poly(lactic acid) (PLA) composites: A comparative study*. *Composites Science and Technology*, 66(11-12), 1813–1824.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0266353807002643>
- [10] Huda, M. S., Drzal, L. T., Mohanty, A. K., & Misra, M. (2008). *Effect of fiber surface-treatments on the properties of laminated biocomposites from poly(lactic acid) (PLA) and kenaf fibers*. *Composites Science and Technology*, 68(2), 424–432.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0266353807002643>
- [11] Info Agro (n.d). “*El Cultivo del trigo*” Retrieved from
<http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/trigo3.htm>
- [12] Islam, M. S., Pickering, K. L., & Foreman, N. J. (2010). *Influence of accelerated ageing on the physico-mechanical properties of alkali-treated industrial hemp fibre reinforced poly (lactic acid)(PLA) composites*. *Polymer Degradation and Stability*, 95(1), 59-65.
<http://researchcommons.waikato.ac.nz/handle/10289/3555>
- [13] Joaquín Palacios, A., & Adolfo Obaya, V. (2001). *Demostración de los conceptos de ángulo de contacto y mojado entre un material polimérico y líquidos polares y no polares*.
<http://www.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n41ne/demos.pdf>
- [14] Joan Costa Burch (2016). *Estudi de material compost biodegradable a base de residus de colza i PLA per a la fabricació d'elements de divisions interiors en la construcció*.
<http://dugi-doc.udg.edu/handle/10256/13015>
- [15] Krüss – Advancing your Surface Science (n.d). Retrieved from
<https://www.kruss.de/products/contact-angle/dsa25/drop-shape-analyzer-dsa25/>
- [16] Mariano. (2015). “*Tecnología de los Plásticos. Poliacido láctico (PLA)*”
<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.es/2011/08/poliacido-lactico-pla.html>
- [17] Molera Solar, P., Cruells Cadevall, M., Llorca Isern, N., & Viñals Olia, J. (2011) *Ciència dels materials (2a edició)*
<https://books.google.es/books?id=vB0SWB9sf1cC&pg=PA397&lpg=PA397&dq=refor%C3%A7at+dels+materials+compostos&source=bl&ots=OjnuvyKql&sig=LcrddgCb1CH6uBiWLn dHI04Bw&hl=ca&sa=X&ved=0ahUKEwiMwuiovjSAhVDnRoKHfV9AgUQ6AEIWTAN#v=onepage&q=refor%C3%A7at+dels%20materials%20compostos&f=false>

DESENVOLUPAMENT DE MATERIALS COMPOSTOS D'ÀCID POLILÀCTIC REFORÇAT AMB FIBRES NATURALS PER LA PRODUCCIÓ DE LÀMINES PER AÏLLAMENT TÈRMIC I ACÚSTIC

- [18] Olivé Saperas, J., & Codina Anguera, N. (2008). *Sistemes de Tancaments*.
<http://www.salleurl.edu/tecnologia/pdf/teoria/segona/20.pdf>
- [19] Plasmatrete (n.d.). Determinación de la tensión superficial por el método de tintas de prueba. Determinación del ángulo de contacto (Goniómetro). Retrieved from
http://www.plasmatrete.es/instalaciones_productos/determinacion_tension_superficial.html
- [20] Químicas Tháí (2010). Adherencia Pintura / Barniz – Substrato.
<https://quimicathai.wordpress.com/2010/04/20/adherencia-pinturabarniz-substrato/>
- [21] Tego (n.d.). Aditivos humectantes de substrato. Retrieved from
<http://www.tego.de/sites/dc/Downloadcenter/Evonik/Product/Tego/es-mx/technical-background-substrate-wetting-additives.pdf>
- [22] Textos Científicos (n.d.). “Ácido Poliáctico (PLA)” Retrieved from
<https://www.textoscientificos.com/polimeros/acido-polilactico>
- [23] Universidad de Oviedo (n.d.). “Introducción a los materiales compuestos. Generalidades” Retrieved from
<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/EXP.T9.1MPyC.Tema9.IntroduccionMaterialesCompuestos.Generalidades.pdf>
- [24] Universidad de Oviedo (n.d.). “Materiales Poliméricos y Compuestos. T11. Intercara Fibra-matriz.” Retrieved from <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/AP.T11.1-MPyC.Tema11.Intercara.Fibra-Matriz.pdf>
- [25] Universidad Nacional de La Plata (n.d.). Evaluación de propiedades fisicoquímicas de sustratos. Retrieved from http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2685/4_-_Evaluaci%C3%B3n_de_propiedades_fisicoqu%C3%ADmicas_de_sustratos.pdf?sequence=9
- [26] Xi, W., Qian, L., Huang, Z., Cao, Y., & Li, L. (2016). *Continuous flame-retardant actions of two phosphate esters with expandable graphite in rigid polyurethane foams*. *Polymer Degradation and Stability*, 130, 97 – 102.
<http://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2016.06.003>