

Treball final de grau

Estudi: Grau en Arquitectura Tècnica

Títol: Estudi de material compost biodegradable a base de residus de colza i PLA (poliàcid làctic) per a la fabricació d'elements de divisions interiors en la construcció

Document: Memòria

Alumne: Joan Costa Burch

Tutor: Rafel Reixach Corominas

Departament: Arquitectura i Enginyeria de la Construcció

Àrea: Construccions Arquitectòniques

Convocatòria (mes/any): Setembre 2016

Índex de contingut

Índex de figures	VI
Índex de taules	VII
1 Glossari	1
2 Introducció	3
3 Objectius	4
4 Estat de la qüestió	5
4.1 Antecedents	5
4.1.1 Separacions verticals amb peces de petit format	5
4.1.2 Separacions verticals amb peces de gran format	10
4.2 Separacions verticals amb panells	14
4.3 Materials compostos	19
4.3.1 Matriu	19
4.3.2 Reforç	20
4.3.3 Interfase fibra-matriu	21
4.3.4 Mecanismes d'adhesió fibra-matriu	22
4.3.5 Poliàcid làctic	25
4.3.6 La colza	27
4.4 Actualitat de la fusta plàstica	28
4.5 Estudis realitzats	29
4.5.1 (M. Huda, Drzal, Mohanty, & Misra, 2006) i (M. S. Huda, Drzal, Mohanty, & Misra, 2008)	29
4.5.2 Acoustic properties of agroforestry waste Orange pruning fibres reinforced polypropylen compòsits as an alternative to laminated gypsum boards. (Reixach et al., 2015)	29
4.5.3 Continuous flame-retardant actions of two phosphate esters with expandable graphite in rigid polyurethane foams	30
5 Materials, equips i mètodes	31
5.1 Materials	31
5.1.1 Poliàcid làctic	31
5.1.2 Fibra de colza	31
5.2 Equips	32
5.2.1 Molí de fibres	32
5.2.2 Desintegrador	32
5.2.3 Bàscula digital	33
5.2.4 Mescladora cinètica d'alta intensitat	33

5.2.5	Molí.....	34
5.2.6	Màquina d'injecció de plàstics.....	35
5.2.7	Cambra climàtica.....	36
5.2.8	Estufa.....	36
5.2.9	Prensa de plats calents.....	37
5.2.10	Tall làser.....	38
5.2.11	Polidora.....	39
5.2.12	Pèndol d'impacte.....	39
5.2.13	Màquina universal d'assajos.....	40
5.2.14	Picnòmetre.....	41
5.2.15	Termobalança analítica.....	42
5.3	Metodologia experimental.....	43
5.3.1	Triturat de la fibra natural.....	43
5.3.2	Desfibrat de la fibra triturada.....	43
5.3.3	Obtenció del material compost.....	43
5.3.4	Obtenció de gransa per la fabricació de provetes.....	45
5.3.5	Transformació dels compostos per injecció.....	45
5.3.6	Fabricació de planxes a la prensa.....	46
5.3.7	Tall de provetes.....	47
5.3.8	Polit i mesura de les provetes.....	47
5.3.9	Càlcul de la densitat del compost.....	47
5.3.10	Assaig de tracció.....	48
5.3.11	Assaig de flexió.....	50
5.3.12	Simulació per anàlisi d'elements finits.....	51
5.3.13	Assaig d'impacte.....	54
5.3.14	Termogravimetria analítica.....	54
5.3.15	Burning Test.....	55
6	Resultats i discussió.....	56
6.1	Resultats a tracció.....	56
6.2	Resultats a flexió.....	61
6.3	Resultats de l'anàlisi per simulació d'elements finits.....	65
6.4	Resultats a impacte.....	72
6.5	Termogravimetria analítica.....	76
6.6	Burning Test.....	78
6.7	Estudi de la conductivitat tèrmica.....	80

7	Comparativa de resultats	81
8	Conclusions	82
9	Futures línies d'investigació	85
10	Normativa d'aplicació	86
11	Bibliografia	87

Agraïments

Vull agrair a en Rafel Reixach la seva dedicació i predisposició en quan a la realització d'aquest projecte, disposant sempre d'una gran atenció i ajuda.

A en Luis Angel Granda l'entrega mostrada per la seva tasca i l'ajuda a l'execució tant del projecte com de les tasques de laboratori.

A en Jordi Gironès i en Sergi Givica per no tenir mai un no i estar sempre atents perquè la feina tirés endavant.

Al grup de recerca LEPAMAP per donar-me l'oportunitat de realitzar aquest treball de recerca en materials compostos.

A en Pere Mutjé, en Marc Delgado i l'Helena Oliver pels seus comentaris i orientacions en l'execució dels assajos.

A en Xavier Espinach per la seva col·laboració en l'anàlisi per elements finits.

A l'empresa Polímer Tècnic pel tall de les provetes mitjançant la màquina del tall làser.

I finalment agrair també a família, amics i companys de carrera el suport i l'interès mostrat perquè aquest projecte s'acabés convertint en una realitat.

Moltes gràcies a tots!

*Marc no oblidarem
mai el teu exemple i la
teva força*

Índex de figures

Figura 1: Separació vertical interior de pedra ("Paredes piedra," 2003).....	6
Figura 2: Representació de construcció amb ceràmica ("Cerámicas Sampedro," 2012)	7
Figura 3: Separació vertical de bloc de formigó ("Pared bloques hormigón," 2009).....	8
Figura 4: Construcció amb bloc de guix ("Solución constructiva yeso," 2005).....	9
Figura 5: Bloc ceràmic revestit de guix ("Solución constructiva yeso," 2005).....	9
Figura 6: Construcció amb "pavés" ("Tabique con pavés," 2007)	10
Figura 7: Construcció amb panell de guix	11
Figura 8: Separació vertical amb panell ceràmic.....	11
Figura 9: Representació del sistema constructiu per panells de formigó ("DC Paneles Hormigón," 2005)	12
Figura 10: Construcció amb panells de vidre ("Cristalerías," 2011)	12
Figura 11: Representació de panell amb resines fenòliques ("Panells resines fenòliques," 2009).....	13
Figura 12: Panell de fibres vistes	13
Figura 13: Sistema constructiu amb mampara de vidre ("Cristalerías," 2011)	14
Figura 14: Representació del sistema ("Sistema," 2006)	15
Figura 15: Col·locació d'aïllament entre panells.....	16
Figura 16: Col·locació dels panells sense massillar.....	16
Figura 17: Pas d'instal·lacions entre estructura portant ("Atefuer," 2011)	17
Figura 18: Pas d'instal·lacions en sistemes ceràmics	17
Figura 19: Esquema de la tenacitat (D. Hull & Clyne, 1987)	21
Figura 20: Angle de contacte i tensions superficials d'una gota en una superfície sòlida (D. Hull & Clyne, 1987).....	22
Figura 21: Esquema d'interdifusió (Dereck Hull, 2003)	23
Figura 22: Esquema d'atracció electroestàtica (Dereck Hull, 2003)	24
Figura 23: Esquema d'adhesió per enllaç químic (Dereck Hull, 2003)	24
Figura 24: Molí de fibres.....	32
Figura 25: Desintegrador.....	32
Figura 26: Bàscula digital.....	33
Figura 27: Mesclador sintètic	34
Figura 28: Molí	34
Figura 29: Màquina d'injecció de plàstics	35
Figura 30: Cambra climàtica	36
Figura 31: Estufa.....	36
Figura 32: Premsa de plats calents	37
Figura 33: Motlles metàl·lics.....	37
Figura 34: Comandaments de control dels paràmetres	38
Figura 35: Tall làser	38
Figura 36: Polidora.....	39
Figura 37: Pèndol d'impacte.....	39
Figura 38: Màquina universal d'assajos amb el suport de flexió	40
Figura 39: Màquina universal d'assajos amb mordasses per assajar a tracció i extensòmetre	40
Figura 40: Picnòmetre de vidre de 50 ml.....	41
Figura 41: Termobalança analítica.....	42
Figura 42: Regularitzat de la fibra	43
Figura 43: Bocins de la mostra.....	44
Figura 44: Material a l'estufa	45
Figura 45: Col·locació de la mostra en l'interior del motlle	46
Figura 46: Mesura de les provetes.....	47
Figura 47: Esquema d'assaig a tracció	48
Figura 48: Esquema de flexió.....	50
Figura 49: Panells de resines fenòliques ("Lavabos polideportivo," 2015)	52
Figura 50: Fixació cartró-guix amb tirafons.....	55
Figura 51: Fixacions roscades amb resines fenòliques ("Agarre PLADUR," 2016).....	53
Figura 52: Esquema assaig d'impacte	54
Figura 53: Pincers pel Burning Test	55
Figura 54: Representació gràfica de la resistència a tracció	57
Figura 55: Representació gràfica del Mòdul de Young	58

Figura 56: Representació gràfica de la deformació màxima a tracció	59
Figura 57: Representació gràfica de la resistència a flexió	61
Figura 58: Representació gràfica del mòdul de flexió	63
Figura 59: Representació gràfica de la deformació màxima a flexió	64
Figura 60: Representació del panell.....	65
Figura 61: Força aplicada i punts de fixació.....	66
Figura 62: Representació modelada de la deformació del panell.....	66
Figura 63: Representació realista de la deformació	67
Figura 64: Representació del coeficient de seguretat	68
Figura 65: Simulació de fixació en paret	69
Figura 66: Representació de la simulació de l'enclavament d'un quadre	70
Figura 67: Simulació realista del panell amb el quadre penjat	70
Figura 68: Representació gràfica dels resultats del mètode Charpy (Ic).....	73
Figura 69: Representació gràfica dels resultats del mètode Charpy amb Entalla	74
Figura 70: Representació gràfica dels resultats del TGA	76
Figura 71: Representació del resultats de conductivitat tèrmica	80

Índex de taules

Taula 1: Classificació segons col·locació	5
Taula 2: Força horitzontal d'aplicació segons categoria d'ús	51
Taula 3: Força horitzontal d'aplicació en elements divisoris.....	52
Taula 4: Resultats dels assajos a tracció	56
Taula 5: Taula de resultats de l'assaig a flexió	61
Taula 6: Taula de resultats assaig Charpy.....	72
Taula 7: Resultats del treball necessari per generar la fractura en les provetes	75
Taula 8: Representació dels resultats del Burning test	78
Taula 9: Comparativa de materials	81

1 Glossari

$\cos \theta$	cosinus de l'angle de contacte
E	Mòdul de Young/Mòdul Elàstic
F	força
GPa	Giga Pascals
h	espessor proveta
K	conductivitat tèrmica
kg	quilograms
L	longitud
MPa	Mega Pascals
mm	mil·límetres
mm ²	mil·límetres quadrats
m ³	metres cúbics
N	Newtons
PB	pes picnòmetre amb mostra
PBH	pes picnòmetre amb mostra i aigua
PLA	poliàcid làctic
T	tara
t_{ch}	temps de combustió
TGA	termogravimetria analítica
V_{TOTAL}	volum picnòmetre
w	amplada proveta
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}	energia lliure de la interfase sòlid-líquid
γ_{lv}	energies lliures de superfície líquid-vapor
γ_{sl}	energies lliures de superfície sòlid-líquid
γ_{sv}	energies lliures de superfície sòlid-vapor
ϵ	deformació
σ	esforç/resistència
δ	fletxa de la proveta
ρ	densitat
$^{\circ}\text{C}$	graus centígrads

2 Introducció

La conscienciació de la preservació i protecció del medi natural, des d'uns anys ençà, ha anat agafant cada vegada més importància. S'intenta promoure l'ús de productes que provenguin de recursos naturals i que la seva eliminació, al final de la seva vida útil, no repercuteixi en un problema pel medi natural.

Aquest procés de conscienciació fa que la investigació en el camp de materials s'enfoqui en l'obtenció de materials amb cost ecològic 0.

Cada vegada més, s'estan utilitzant materials plàstics i compostos de matriu polimèrica que provenen de recursos derivats del petroli. El sector de la construcció ocupa el segon lloc en consum d'aquests materials, darrera dels embalatges. Aquests recursos són un dels majors problemes mediambientals a dia d'avui, ja que el petroli és un recurs considerat no renovable (FOCITEC, 2012).

La combinació de diferents materials esdevé en el resultat de nous compostos que aporten noves propietats com podria ser major lleugeresa o qualsevol tipus de resistència. De la mateix manera, també permet la substitució de materials amb elevat cost econòmic o mediambiental, per altres amb menor cost.

En aquest context, s'elabora aquest treball final de grau. Amb la obtenció d'un nou material compost biodegradable, del qual s'han estudiat les propietats mecàniques i tèrmiques que ofereix.

Els dos components del material que es proposarà són biodegradables. Aquest factor accentua les avantatges d'una possible utilització en la construcció, substituint materials com és el cartró-guix o els panells de resines fenòliques, com a elements de separació vertical. La eliminació del residu que generi aquest material és molt més senzill i sostenible que els comentats anteriorment. Això suposaria un avantatge en el camp de les construccions efímeres, com podrien ser mòduls prefabricats, estands de fires, esdeveniments, hospitals de campanya, etc.

Aquest treball exposa els sistemes constructius més utilitzats avui en dia en el món de la construcció, s'investiga sobre els estudis realitzats i l'actualitat dels materials compostos reforçats amb fibres naturals. A partir d'aquests, es proposa un material compost totalment biodegradable i es planteja un mètode experimental, on s'avaluarà l'aptitud del material com a element de separació vertical.

3 Objectius

En el sí del grup d'investigació LEPAMAP de la Universitat de Girona s'ha realitzat aquest treball final de grau. És un grup especialitzat en la recerca i investigació amb materials polimèrics reforçats amb fibres vegetals.

L'objectiu d'aquest treball ha estat la obtenció d'un material apte com a sistema constructiu sec, opac i fix. A més el compost serà totalment biodegradable per donar solució mediambiental als productes de que es disposa a dia d'avui.

Per tant s'ha analitzat la influència de les fibres naturals en el material compost i també s'ha comprovat i comparat la seva aptitud per aquestes aplicacions. Per això s'han realitzat compostos amb diferents composicions de fibra-matriu i s'han analitzat les seves propietats mecàniques, per simular la seva aplicació en envans, substituint panells com els de cartró-guix.

El nou sistema està pensat per resoldre els problemes més comuns en matèria de gestió de residus, proposant un compost que es podria veure absorbit pel medi a cost ambiental zero.

Com s'ha comentat en l'apartat anterior, la seva utilització aniria dirigida cap aquests construccions que són pensades per ser utilitzades durant un període de temps establert i acaben essent desmuntades i reutilitzades en un altre indret o bé demolides.

4 Estat de la qüestió

4.1 Antecedents

Un envà és un mur no estructural que permet separar i subdividir diferents espais. La seva utilització, generalment és per a sistemes fixes i opacs, però també es poden trobar mòbils i transparents. Poden ser instal·lats a qualsevol part de l'interior de l'habitatge, sempre i quan no hagin de suportar una càrrega estructural.

El sistema ha de complir un cert aïllament tèrmic, acústic i una mínima resistència mecànica, a més de permetre la fixació d'objectes i l'adaptabilitat d'instal·lacions, sense disminuir la seva resistència.

Segons la seva naturalesa, els envans es poden dividir de la següent manera:

Taula 1: Classificació segons col·locació

CLASSIFICACIÓ DE SEPARACIONS VERTICALS		
Col·locació a través de peces de petit format	Pedra	Massissa
	Ceràmica	Massissa
		Buida
		Alleugerida (termoarcilla)
	Morter-Formigó	Blocs buits
		Blocs alleugerits
	Guix	Blocs de guix
		Combinats amb ceràmica
	Blocs	Peces de vidre
Col·locació a través de panells de gran format	Panells	Panells de guix
		Panells ceràmics
		Panells de formigó
		Panells de vidre
		Panells "composites"
		Panells de resines fenòliques
	Entremats	Panells amb estructura de fusta
		Plafons amb estructura metàl·lica
	Mampares	Prefabricats

4.1.1 Separacions verticals amb peces de petit format

Aquests sistemes basen la seva estabilitat en el recolzament entre fulls perpendiculars d'envans o bé parets, formant plecs o caixes. Les traves amb altres envans, es fan completes, com en qualsevol mur de fàbrica. En canvi, el lligam amb parets es fa parcialment, depenent del format de la peça de cada fulla.

El pes també ajuda a estabilitzar els envans, ja que la independència amb els forjats s'aconsegueix desvinculant-los a través de bandes elàstiques, de manera que les flexions dels sostres no afectin a la seva composició, ni ocasionin patologies. D'aquesta forma també s'aconsegueix major aïllament acústic evitant transmissions entre elements horitzontals i verticals.

Pedra

En aquesta tipologia de parets, s'hi contempla un factor determinant, com és el cost econòmic de la seva construcció. És per això que particions interiors fetes a base de pedra només es troben en zones on és molt abundant.

Un altre aspecte rellevant és la seva caracterització, ja que s'extreu de la natura, en les pedreres, on a través de detonacions, es descomponen en grans blocs de formes molt irregulars que posteriorment es solen caracteritzar en un format més útil i regular.

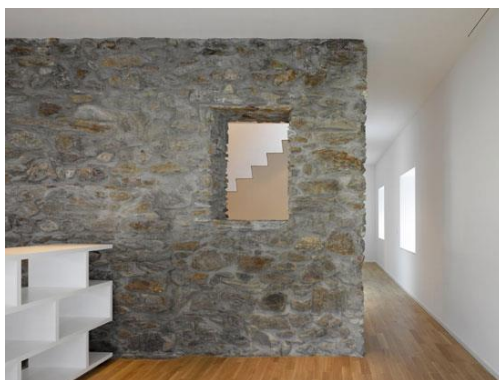


Figura 1: Separació vertical interior de pedra
("Paredes piedra," 2003)

Ceràmica

És el material més estès en construcció tradicional, tant en peces buides com massisses, les primeres majoritàriament en obra nova i les últimes en elements més aviat decoratius. Les condicions de solidesa li venen donades pel propi material i per la cohesió del morter a través de les seves juntes. La ceràmica és un material molt rígid, la deformabilitat de l'element s'aconsegueix a partir del morter de les juntes. Quant més juntes tingui l'element, és a dir, quant més petit sigui el format de les peces ceràmiques, menys rígid serà. Tot i així, la seva deformabilitat és molt petita. Per no veure's afectat pels moviments de l'estructura, fet que produiria esquerdes, s'ha de deslliurar en la seva part superior fins que els forjats superiors hagin entrat en càrrega. Una vegada s'hagi assolit, es rejunta aquest punt i queda tapat amb un material quant més flexible millor.

En les peces de gran format, aquest factor és molt important per reduir operacions de col·locació i augmentar el rendiment, ja que els paraments són molt més rígids al tenir moltes menys juntes.

Pel que fa les capacitats de càrrega i d'encabir-hi els passos d'instal·lacions, dependrà del tipus i sobretot del gruix de la peça. Com a norma general, si s'han de passar instal·lacions elèctriques, el gruix mínim de l'envà serien d'uns 7 cm. En casos de cambres humides, és recomanable utilitzar envans de gruixos d'almenys 9 cm.



Figura 2: Representació de construcció amb ceràmica
("Cerámicas Sampedro," 2012)

Morter-formigó

No és gaire habitual veure aquesta tipologia constructiva en edificis destinats a habitatges. Més aviat són pensats per edificis d'una tipologia industrial, on els tancaments són de formigó.

Els blocs buits són fets de formigó, additius i colorants. Poden ser fabricats a partir de motlles o extruïts. És una construcció amb poca flexibilitat i també complica molt el pas d'instal·lacions degut a la major resistència en comparació amb la ceràmica, obligant-les a anar vistes.

Els blocs alleugerits s'aconsegueixen a partir de la introducció de lleugeresa en algun dels materials que componen el formigó. Per exemple, la substitució de la grava per àrids més lleugers com ara l'arilita, la perlita o fibres vegetals. Un altra via, consisteix en la introducció d'aire a la massa o additius que provoquen la formació de cèl·lules d'aire en el fraguat. A part d'aquests, un altre sistema d'alleugeriment de blocs és introduir materials aïllants poc pesants.



Figura 3: Separació vertical de bloc de formigó
("Pared bloques hormigón," 2009)

Guix

Existeixen dos sistemes molt ben diferenciats: el bloc ceràmic revestit amb una capa de guix executada de fàbrica i els blocs massissos de guix reforçats amb fibres vegetals.

Són sistemes que estalvien l'enguixat de tot el parament vertical perquè ja es subministra enguixat de fàbrica però tenen juntes encadellades que posteriorment s'hauran de rejuntar amb les massilles indicades. La seva col·locació es fa a partir de pastes de guix en comptes de morter.

Les diferències entre un i altre sistema són la major resistència portant que ofereixen els blocs ceràmics i per altra banda, la millora en aïllament tèrmic i acústic del bloc de guix.



Figura 4: Construcció amb bloc de guix
("Solución constructiva yeso," 2005)



Figura 5: Bloc ceràmic revestit de guix
("Solución constructiva yeso," 2005)

Blocs de vidre

Vulgarment es coneixen com “pavés” i són formats per blocs de vidre premsat, d'una o dues fulles, amb acabats que van des del quasi transparent al gravat o acolorit.

Pel que fa a la seva col·locació i arriostrat, aquests elements van armats, a l'interior de les juntes amb rodons d'acer, acer inoxidable o de plàstic.

No s'hi poden fer passar instal·lacions pel seu interior. Sempre que el conjunt quedi emmarcat per elements fixes, els seus contactes seran elàstics, ja que degut a la seva rigidesa, no admeten deformacions.



Figura 6: Construcció amb "pavés"
(“Tabique con pavés,” 2007)

4.1.2 Separacions verticals amb peces de gran format

Panells

Són elements de dimensions molt superiors als blocs dels casos anteriors, però això els hi confereix certa fragilitat. La seva estabilitat ve donada per elements de suport o a través de la configuració geomètrica de la fulla.

Els més representatius actualment són:

- Panells de guix: grans peces de guix amb armadures de fibres, massisses o alvèols, que per sí soles conformen tot el parament de terra a sostre i d'una amplada de 60-120 cm, amb junts encadellats, fixats i rejuntats amb pastes especials.

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

El seu muntatge es realitza en una sola operació. Un cop col·locat, l'envà queda a punt per aplicar-hi la capa de pintura, però la seva rigidesa obliga a la creació de junts elàstics en el seu contorn, per evitar trencaments.



Figura 7: Construcció amb panell de guix

- Panells ceràmics: s'han aconseguit peces sòlides de fins a 2,80 m de longitud, 60 cm d'amplada i 20 de gruix, incorporant aïllament tèrmic i acústic en el seu interior.

Són pensats per quedar amb les cares vistes, fet que impossibilita el pas d'instal·lacions. Es col·loquen amb morter plàstic i van encadellats.



Figura 8: Separació vertical amb panell ceràmic

- Panells de formigó o formigó alleugerit: són elements que des de la seva fabricació ja s'ha previst la seva utilitat i ubicació a l'edifici, per tal de preveure-hi els elements que hi puguin resultar indispensables.

A partir d'elements guia i encaixos entre peces, s'aconsegueix la creació del parament. No admeten el pas d'instal·lacions ni tot tipus de revestiments.

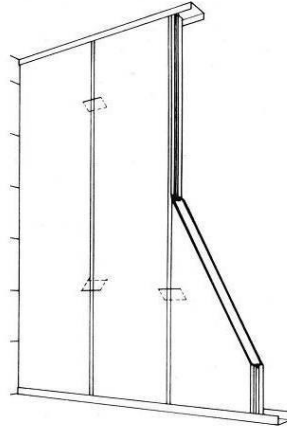


Figura 9: Representació del sistema constructiu per panells de formigó
("DC Paneles Hormigón," 2005)

- Panells de vidre: difereixen de les característiques de la peça i del parament, especialment en no necessitar armadura interposada en les juntes. Les seves dimensions venen assignades de fàbrica, ja que durant el procés de fabricació es poden realitzar talls a mida.



Figura 10: Construcció amb panells de vidre
("Cristalerías," 2011)

- Panells de resines fenòliques: són fabricats a través de làmines de cel·lulosa homogeneïtzades amb resines fenòliques i compactades a alta pressió i temperatura. El material acaba assolint una molt alta densitat i gran resistència a la humitat, a la calor i al vapor.

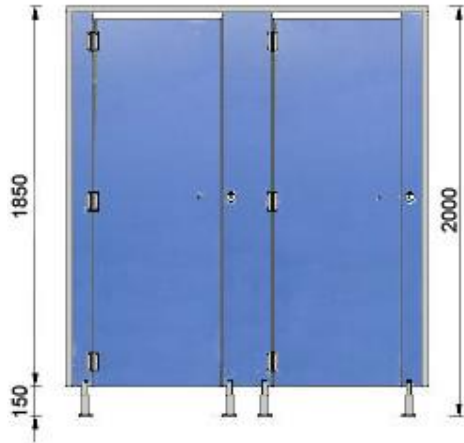


Figura 11: Representació de panell amb resines fenòliques
("Panells resines fenòliques," 2009)

Entramats lleugers

La composició d'aquests sistemes parteix de dos elements; l'estructura portant i els panells.

L'estructura portant són perfils que poden ser de fusta, de secció rectangular o quadrada o bé metàl·lics, on es troben formes de tot tipus, però generalment són omegues.

Els panells són els elements decoratius del conjunt i són fixats a l'estructura portant. Poden ser panells de tot tipus de materials: metàl·lics amb tot tipus d'acabats, de fusta a base de conglomerats amb acabat de melamina o bé panells de fibres vistes, etc.



Figura 12: Panell de fibres vistes

Mampares

Són un sistema d'entramat en el que la majoria de peces venen a punt de col·locar-se des de fàbrica, ja que incorporen l'acabat final. Això implica no poder-les modular manualment o amb mitjans mecànics a obra.

A través de sistemes estructurals de fusta o metall, que poden anar vistos o ocults pels mateixos plafons, s'estampen les mampares mitjançant mecanismes de pressió. Les deformacions dels elements de suport queden absorbides a través dels sistemes de fixació i les juntes entre els elements estructurals i els plafons.

Sempre són productes patentats per una firma comercial, fet que provoca que les seves característiques i formes de col·locació s'hagin de consultar al fabricant o proveïdor.



Figura 13: Sistema constructiu amb mampara de vidre
(“Cristalerías,” 2011)

4.2 Separacions verticals amb panells

Com ha quedat palès, hi ha un ampli ventall d'opcions i mètodes per realitzar separacions verticals interiors en la construcció. L'objectiu final acaba essent la definició de la compartimentació d'espais lliures a través d'elements sòlids.

Els elements que caracteritzen aquest treball són les plaques fixades a una estructura portant. A través de perfils metàl·lics fixats a l'estructura, s'hi pengen panells que acaben formant un parament continu i divisor.

Es poden diferenciar quatre grans grups d'elements: estructura portant, elements de fixació, aïllament i panells. Cadascun d'aquests té una funció dins el sistema.

L'estructura portant actua com a suport de fixació dels panells. És l'esquelet del sistema i queda totalment ocult una vegada estigui acabada l'actuació. Es fixa als suports que es troben a l'espai

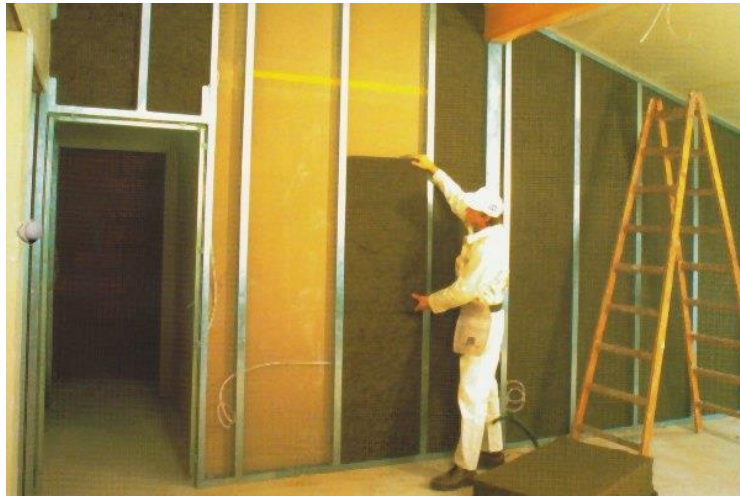


Figura 15: Col·locació d'aïllament entre panells

Els panells acaben essent l'acabat del sistema. Se'ls pot aplicar diferent tipologia de decoració, per exemple pintures, paper decorador, moqueta, etc. Degut a les imperfeccions que es creen a la seva llisa superfície, al fixar-los a l'estructura portant, se'ls hi aplica una mà de massilla per deixar el parament regular i continu. També es fa aquesta operació en les seves juntes, ja que resulten en discontinuïtats del parament com es pot veure a la Figura 16.



Figura 16: Col·locació dels panells sense massillar

Seguidament s'exposen els avantatges i inconvenients que es preveuen amb sistemes constructius basats amb la instal·lació de panells:

Avantatges:

- Sistema constructiu sec, sense utilització d'aigua per a la fabricació de morters.
- Evita la formació de regates, ja que les instal·lacions poden passar per l'interior de l'estructura portant.

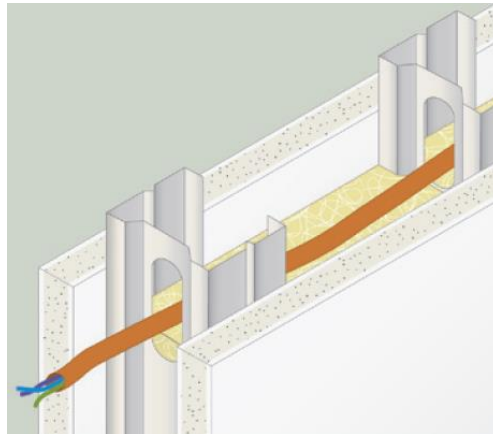


Figura 17: Pas d'instal·lacions entre estructura portant
(“Atefuer,” 2011)

- Aquesta condició deriva en una gran reducció de generació de runa.



Figura 18: Pas d'instal·lacions en sistemes ceràmics

- Cost ecològic més baix que la resta de sistemes, degut a la poca merma de materials i baixa utilització de maquinaria.
- Rapidesa en el muntatge i poca generació de pols i runa a l'entorn de treball.

- Acaba proporcionant un millor acabat final, ja que manté controls de qualitat des de la seva fabricació. La seva forma de col·locació es podria arribar a considerar no ser influent en les prestacions finals.
- En combinació amb materials aïllants, acaba proporcionant un bon aïllament tèrmic i acústic.
- Agafa molta importància en la rehabilitació, per les qualitats prèviament descrites i pel poc pes que suposa.
- Posta o aplec del material a obra molt poc difícil.
- Alts rendiments en la seva posta a obra.

Inconvenients:

- Al ser un sistema amb un muntatge molt elemental, ha provocat que oficials d'altres camps es vegin capaços de realitzar aquest tipus d'actuacions.
- Pel bon funcionament acústic, és obligatori la utilització d'un element d'una altra família totalment desvinculada.
- La resistència de les plaques és baixa, això provoca que no es puguin fixar directament elements a la paret com es faria en els casos convencionals.
- Muntatge i replanteig especial en previsió a futures fixacions d'elements penjants.
- Construcció econòmicament més elevada que qualsevol fàbrica convencional.
- Antigament ha estat un producte amb una dificultat excessiva en el mercat, degut als prejudicis dels usuaris, sovint relacionant aquest sistema amb construcció de poc valor econòmic i de baixa qualitat.

4.3 Materials compostos

Es considera material compost, aquell que està format per dos o més materials, immiscibles entre ells. Tant s'hi poden incloure els reforçats amb fibres, com els que incorporen partícules en el seu interior. També existeixen compostos on la distribució dels materials es realitza en forma de capes, sense estar mesclades (Dereck Hull, 2003).

L'objectiu d'aquesta mescla és la combinació de les propietats dels materials que el formen, resolent mancances que poden tenir els materials monolítics. Assolir propietats especials a través de la combinació de materials permet substituir materials més cars en algunes aplicacions.

Les característiques més importants són:

- Resistència específica: relació resistència-densitat
- Rigidesa específica o mòdul específic: relació rigidesa-densitat
- Es pot incidir fàcilment en la seva formulació per modificar les propietats, depenent de

l'aplicació que es necessiti.

Actualment, aquests materials es troben en camps d'aplicació tant diversos com serien l'automoció, la medicina, les telecomunicacions, equipaments, mobiliari, etc.

Per tant, es sap que els materials compostos consisteixen en dos o més materials immiscibles, i que per tant formen dos fases: la matriu o fase continua i el reforç o fase discontinua (Michaeli & Wegener, 1989).

4.3.1 Matriu

La matriu és el component continu que protegeix i envolta el reforç, que convé que hi estigui fortament units, per tal d'afavorir la transmissió d'esforços. Això fa necessari la obtenció d'una interfase de qualitat. Segons la seva naturalesa, les matrius es poden classificar de la següent manera:

- Metàl·liques: com per exemple l'alumini reforçat amb carbur de silici
- Ceràmiques: així com l'argila i carbur de silici
- Polimèriques: com poliàcid làctic reforçat amb fibres naturals

Compostos amb matriu metàl·lica (MMC)

Les seves principals propietats són la conductivitat tèrmica, la resistència mecànica i la baixa densitat que presenten. Estan estretament lligats a camps d'aplicació com ara la indústria aeroespacial, l'automotriu o l'electrònica.

Encara que també es poden utilitzar diversos metalls com a matriu, l'alumini es pot considerar el més emprat com a tal. Aquest ofereix un cost reduït respecte la resta i per això es troba en elements molt corrents, com podrien ser peces d'automòbil, elements constructius, etc. (Mariano, 2015).

Compostos amb matriu ceràmica (CMC)

Són materials resistents a elevades temperatures. Presenten una elevada resistència a la compressió i no reaccionen químicament amb altres materials. Són materials amb elevada fragilitat i s'utilitzen com a aïllaments tèrmics en aplicacions mecàniques, elements de frenada amb disc, etc.

Compostos amb matriu polimèrica (PMC)

Aquests materials compostos són els més coneguts. Utilitzen polímers com a matriu, i poden ser reforçats amb una gran varietat de fibres.

Dels tres tipus de compostos, són els de més fàcil obtenció, degut al seu fàcil processament i menor cost econòmic. De la combinació de les bones propietats dels polímers, com ara, la resistència a l'oxidació, el baix pes específic i la ductilitat amb la resistència mecànica i la rigidesa de les fibres, n'esdevenen propietats millorades.

Els materials compostos presenten una major estabilitat tèrmica, que els polímers sense reforçar, a més d'una baixa densitat que repercutirà en una resistència específica superior. No obstant, el caràcter orgànic d'aquests tipus de materials compostos repercuteix en una baixa resistència al foc en comparació als dos anteriors.

Les matrius polimèriques es poden classificar en termostables i termoplàstiques. En les primeres, existeixen molts enllaços covalents entre molècules, fet que comporta la seva incapacitat en fondre's. Prèviament a l'arribar al punt de fusió, el material es degrada. En el cas de les termoplàstiques, són cadenes lineals o ramificades, que estableixen interaccions intermoleculars amb les altres cadenes. Això fa que, un cop es vencin aquestes forces intermoleculars, el material fongui. Al poder-se fondre i solidificar-se fa possible el seu reciclatge mecànic.

4.3.2 Reforç

Aquest component del material compost té com a funció suportar les càrregues i reforçar la matriu. Per tant, augmenta algunes característiques mecàniques del material, com serien la resistència i la rigidesa.

Les partícules presenten una distribució aleatòria i ofereixen propietats isotròpiques, és a dir, que actuen d'igual forma en totes les direccions del material. Pot arribar a suposar des d'una a quatre cinquentes parts del pes del compost, depenent de les densitats de cada component.

Per altra banda, la configuració geomètrica de les fibres fa que no presentin propietats isotròpiques. Això és degut a que les fibres suporten millor els esforços que s'apliquen en la mateixa direcció en la que estan orientades. A mesura que s'augmenta la relació llargada/diàmetre de les fibres, la resistència a tensió s'incrementa considerablement.

4.3.3 Interfase fibra-matriu

L'extrusió de components de diferent naturalesa pot provocar un mal comportament entre ells, com ara degut a la seva diferent polaritat. Això comporta una interacció insuficient entre les fases, resultant així en una interfase dèbil i dificultant la transmissió d'esforços a les fibres.

Els materials amb fortes interfases tenen una elevada resistència però són fràgils. En canvi, quan es parla de materials compostos amb interfases dèbils, s'obtenen resistències i rigideses relativament baixes, però amb una elevada deformació a la ruptura (Dereck Hull, 2003).

Això es veu directament relacionat amb la capacitat de separar les fibres de la matriu durant la propagació de la fractura.

La interfase és un factor important per controlar la tenacitat del material, és a dir, la capacitat que té el material d'absorbir energia sense trencar-se.

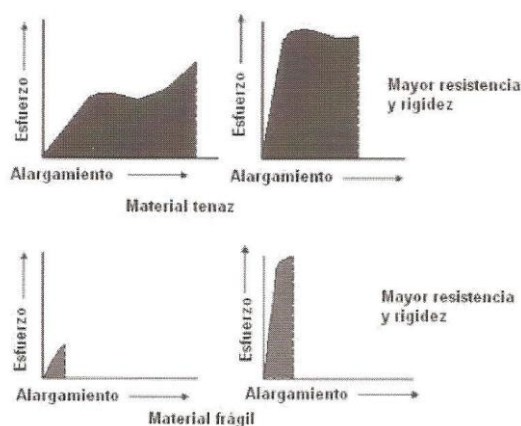


Figura 19: Esquema de la tenacitat

(D. Hull & Clyne, 1987)

Aquesta interfase que s'ha descrit prèviament, és específica per cada sistema fibra-matriu, degut a que depèn de les característiques específiques dels components que la componen.

Quan un material és tenaç experimenta un allargament més elevat abans d'arribar a la ruptura. Això es deu a que les ruptures internes que es produeixen en els materials quan són sotmesos a esforços es propaguen més ràpidament quant més rígid sigui el material. Si el material té capacitat per a deformar-se fàcilment, la part que rodeja a la ruptura, es deforma i consumeix energia, fet que retarda la propagació de l'esquerda, aportant tenacitat al material. En canvi, en materials rígids, al no deformar-se tant fàcilment, la ruptura disposa de més energia per propagar-se, fet que provoca que el material tingui una tenacitat més baixa.

4.3.4 Mecanismes d'adhesió fibra-matriu

A la interfase entre la fibra i la matriu hi existeixen diferents mètodes per generar una bona unió entre elles. Es disposen dels següents mecanismes:

Absorció per humectació

És una tipologia d'interacció física que es produeix quan dues superfícies elèctricament neutres es troben suficientment a prop, com per provocar entre elles, una atracció física. La rugositat de la superfície sòlida, fa necessària que l'altre fase sigui líquida perquè pugui adaptar-se al sòlid, cobrint cada rugositat de la fase sòlida, sense que quedi aire entre les dues fases.

La humectació pot entendre's a través de l'equació de Dupré pel treball termodinàmic d'adhesió (W_A), on γ_1 i γ_2 són les energies lliures de la superfície del líquid i del sòlid, respectivament, i γ_{12} és l'energia lliure de la interfase sòlid-líquid.

$$W_A = \gamma_1 + \gamma_2 - \gamma_{12} \quad (1)$$

Aquesta equació es pot relacionar amb la situació física d'una gota líquida sobre una superfície sòlida, mitjançant l'equació de Young. Quan es resol l'equació de forces en la direcció horitzontal en el punt A, l'equació de Young estableix:

$$\gamma_{sv} = \gamma_{sl} + \gamma_{lv} \cdot \cos \theta \quad (2)$$

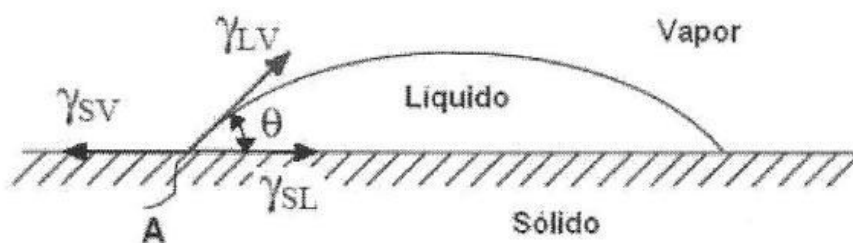


Figura 20: Angle de contacte i tensions superficials d'una gota en una superfície sòlida

(D. Hull & Clyne, 1987)

on γ_{sv} , γ_{sl} i γ_{lv} són les energies lliures de superfície o tensions superficials de les fases sòlid-vapor, sòlid-líquid i líquid-vapor, respectivament, i θ és l'angle de contacte. Perquè es produeixi una humectació espontània, el valor de θ ha de ser 0° . La tensió superficial dels sòlids és molt difícil de mesurar, en canvi, la tensió superficial dels líquids, pot ser determinada de manera relativament senzilla. La mesura de γ_{sv} es pot obtenir a partir de la manera en que el líquid mulla el sòlid, si es coneix γ_{lv} .

Aquest anclatge físic és difícil d'aconseguir degut a que la superfície pot estar contaminada, pel que l'energia superficial efectiva és molt menor que la del sòlid. La presència d'aire i altres gasos atrapats en la superfície sòlida i la aparició de grans esforços de contracció, també dificulten l'enllaç físic. No obstant, és un mètode molt recorregut en els processos de fabricació de materials compostos.

Adhesió per interdifusió

El mecanisme d'interdifusió permet formar una unió entre dues superfícies de polímers. La força de la unió dependrà del grau d'entramat molecular i del número de molècules implicades. La interdifusió pot ser promoguda per la presència d'agents plastificants i dissolvents, i la seva efectivitat dependrà del grau de difusió de la conformació molecular dels constituents que intervenen i de la facilitat de moviment molecular. El mecanisme d'interdifusió ha estat nomenat autoadhesió en relació amb els adhesius.

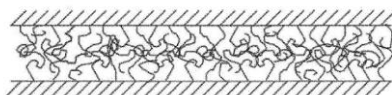


Figura 21: Esquema d'interdifusió

(Dereck Hull, 2003)

Atracció electrostàtica

El mecanisme d'atracció electrostàtica consisteix en que les diferents fases quedin unides mitjançant la diferent polaritat que tenen. La força de la interfase dependrà de la densitat de càrrega. No obstant, l'atracció electrostàtica no contribueix de manera determinant a la unió del reforç amb les matrius plàstiques.

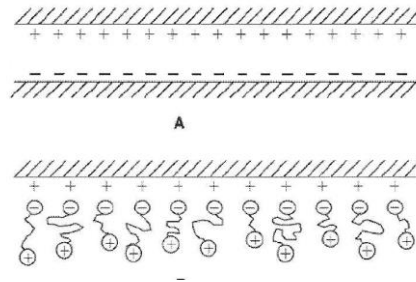


Figura 22: Esquema d'atracció electroestática

(Dereck Hull, 2003)

Enllaç químic

En els mecanismes d'adhesió per enllaç químic, es forma un enllaç entre grups químics de la matriu i la superfície del reforç. La força de la unió dependrà del número i tipus d'enllaços.

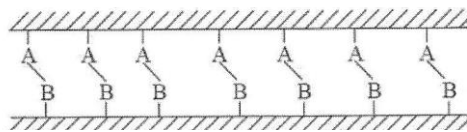


Figura 23: Esquema d'adhesió per enllaç químic

(Dereck Hull, 2003)

Adhesió mecànica

En aquest cas, la interacció es produeix, únicament per la interpenetració mecànica de dues superfícies. La resistència a tracció i a cisalla, dependrà del grau de rugositat de la superfície de la fibra. També existeixen molts esforços interns en el material que afecten a la resistència aparent de la unió fibra-matriu (D. Hull & Clyne, 1987).

Les fibres de vidre són un material que tradicionalment s'ha utilitzat com a reforç, però comporta diferents inconvenients. Alguns exemples serien l'acceleració del deteriorament dels elements de les màquines de fabricació, la seva manipulació pot provocar dermatitis i silicosis i deixa residus després de la seva incineració. A més a més, la seva alta fragilitat dificulta el reciclatge mecànic dels materials que la contenen (Donaldson & Tran, 2004; Greenberg, Waksman, & Curtis, 2007; Wang, Lee, & Wang, 1993).

Per tal de substituir les fibres de vidre per reforços més reciclables i menys nocius, s'ha treballat amb fibres de cel·lulosa. Tot i que aquestes presenten propietats mecàniques inferiors, com ara la resistència màxima a tracció o el mòdul d'elasticitat, la seva major flexibilitat fa que no quedin tant afectades dins de la maquinaria de transformació. És a dir, conserven millor la relació longitud-diàmetre de la fibra.

Aquest fet és molt favorable per augmentar la reciclabilitat d'aquests compostos. Una altre avantatge és la poca afectació a la salubritat que tenen sobre les persones que manipulen aquestes fibres. Finalment, són menys abrasives que la fibra de vidre i per tant, deterioren molt menys els elements de les màquines de processat, disminuint el cost en manteniment dels equips.

D'uns anys cap aquí, s'està veient una clara aposta per a l'obtenció de materials compostos a partir de fibres de cel·lulosa.

En aquest estudi, s'ha utilitzat la fibra de colza per a la realització dels assajos. L'ús d'una matriu com la del poliàcid làctic permetrà l'obtenció d'un material totalment biodegradable i amb prestacions mecàniques elevades. A continuació es descriurà detalladament les característiques d'aquest polímer.

4.3.5 Poliàcid làctic

El poliàcid làctic (PLA) és un polímer biodegradable derivat de l'àcid làctic. Aquest material es pot produir per fermentació de recursos 100% renovables, com poden ser el blat de moro, la remolatxa, el blat o altres productes rics en midó. Aquest polímer té prestacions mecàniques equiparables a alguns plàstics derivats del petroli.

Pel que fa a les seves característiques, el PLA és un polímer inodor, transparent i brillant, i és utilitzat en molts camps relacionats amb la medicina com ara tubs de sutura, ortodòncia, cirurgia plàstica, etc. Té una baixa absorció d'humitat i de greix. (Sin, Rahmat, & Rahman, 2012).

La resistència màxima i el mòdul d'elasticitat del PLA són comparables a les del polietilètereftalat (PET), però té una densitat més baixa. És estable a la llum UV, permetent la seva utilització en teles que no es descoloreixen.

Al ser l'àcid làctic un monòmer quiral, es poden obtenir conformacions L i D. Les propietats entre aquestes són diferents, essent la cristal·linitat i la resistència màxima superiors quan s'utilitza àcid làctic. Això permet certa versatilitat per obtenir un material amb diferents propietats mecàniques.

Aquest material és totalment biodegradable, significa doncs que els residus produïts una vegada hagi acabat la seva vida útil poden ser fàcilment eliminables mitjançant processos de

compostatge. Cal dir també que procedeix de recursos renovables, així que la matèria primera pot estar sempre disponible, a diferència dels polímers derivats dels recursos petroquímics.

Un punt negatiu del PLA és la fase d'interrupció biològica. En aquesta desprèn diòxid de carboni i metà, substàncies que participen a l'efecte hivernacle. No obstant, el balanç net en diòxid de carboni serà nul, ja que la quantitat de CO₂ emesa a l'atmosfera serà la mateixa que va ser absorbida durant la fotosíntesi de la planta. (Guerra Pérez & Vallejo Martín, 2009)

És important ressaltar que la tecnologia de fabricació del PLA és recent, només deu anys enfront dels gairebé 100 anys d'existència de la petroquímica del plàstic, durant els quals ha avançat repercutint en una major eficiència del procés.

Finalment, el PLA per degradar necessita trobar-se en condicions de compostatge concretes. En general és barrejat amb residus orgànics. La tecnologia per a aquesta classe d'abonament a nivell industrial s'està desenvolupant a la Universitat de la Florida i rep el nom de SEBAC (sequential batch anaerobic composting).

Síntesi

Es poden diferenciar dues etapes: la síntesi de l'àcid làctic i la polimerització.

L'obtenció de l'àcid làctic ha estat molt estudiada anteriorment. A través de la sacarosa refinada o la glucosa s'extreu el midó, també es podria estar parlant de la lactosa provinent del lactosèrum.

Per a l'extracció del midó de productes no refinats es realitza un mòlt humit. El midó obtingut es converteix en sucre per hidròlisi enzimàtica o àcida. El *Lactobacillus delbrueckii* és el microorganisme utilitzat en la producció industrial de l'àcid làctic, ja que té l'avantatge de consumir eficientment glucosa. Un altre avantatge és que és termòfil amb una temperatura òptima de creixement en el rang de temperatures comprés entre els 45 i els 62°C, fet que redueix costos de refredament i esterilització, així com riscos de contaminació microbiològica en el fermentador.

Al substrat se li afegeix una font de vitamines i de cofactors, una barreja de 10 a 15% de glucosa, 10% CaCO₃, quantitats menors de fosfat d'amoni i extracte de llevat. El medi s'inocula i s'agita sense ventilació per optimitzar la neutralització de l'àcid làctic format. La fermentació dura de 2 a 4 dies i s'acaba quan tot el sucre és consumit, per tal de facilitar la purificació. L'àcid làctic ha de separar-se del cultiu fermentable i purificar-se abans de la polimerització en la majoria dels casos. Al final de la fermentació el medi és ajustat a pH 10 i escalfat per solubilitzar el lactat de calci i coagular proteïnes presents. Posteriorment, el mitjà es filtra per remoure substàncies insolubles com la biomassa. Després de concentrar per evaporació, l'àcid làctic lliure es recupera a través de l'addició d'àcid sulfúric i posteriorment es filtra per treure el sulfat de calci format.

La conversió aconsegueix en general valors per sobre del 95% en substrat de carbohidrats. La fermentació pot realitzar-se tant en processos "Batch" com continus.

4.3.6 La colza

La colza és una espècie que prové de la família de les cruciferae i mesura entre un metre i un metre i mig d'alçada. Es considera una planta anual o biennal i els principals productors d'aquesta planta són la Unió Europea i el Canadà (García, 2014).

Les seves arrels són allargades i primes i la composició general de la planta es podria considerar cònica, d'un metre de diàmetre aproximadament i amb flor de color groc.

Es pot conrear en climes bastant freds i no excessivament plujosos. En climes d'influència mediterrània es sembra al principi de la tardor mentre en els continentals es fa a la primavera.

La seva producció va destinada a la fabricació d'oli de colza, majoritàriament, lligada a l'obtenció de les seves llavors. Com a subproducte s'obté un tortó ric en proteïna, dedicat a l'alimentació animal ("Agro Salvi," 2014).

4.4 Actualitat de la fusta plàstica

S'anomena fusta plàstica als materials compostos formats per una matriu plàstica i reforçats amb fibres o partícules provinents de reforços que s'extreuen de la fusta. El terme prové de la traducció literal de l'anglès Wood-Plastic-Composites (WPC) i són barreges físiques, fetes a temperatures superiors a la fusió de la matriu

Actualment, de la llista de polímers que es coneixen amb els que s'està treballant per fer aquests tipus de materials són el polietilè, el polipropilè o el policlorur de vinil.

La seva utilització esdevé innovadora als anys 60 als Estats Units on la indústria dels tancaments, com portes i finestres, necessitava materials més econòmics que els que s'estaven utilitzant llavors, com ara plàstics o aluminis.

Les serradures són el reforç lignocel·lulòsic industrial més utilitzat, per motius econòmics. A més ofereixen una major lleugeresa. Això permet el reaprofitament de molts residus de fusta.

La seva densitat es pot arribar a controlar per mitjà del tipus de procés o els espumants que se li poden anar aplicant, però s'estaria parlant de valors aproximats a 1 kg/dm³.

La temperatura de processat d'aquests compostos queda limitada a la descomposició del reforç lignocel·lulòsic, trobant-se a temperatures entorn dels 190-200°C.

Els principals mètodes de transformació de materials compostos són:

- Injecció
- Extrusió

El color i brillo del producte final depèn en gran mesura del color de la fusta i del polímer utilitzat. El color del compost es pot modificar després del procés amb laca, tot i que l'habitual és modificar el color en massa durant el processament afegint concentrats de color.

La densitat dependrà principalment de la quantitat de fusta que contingui el compòsit, ja que la densitat augmenta proporcionalment al contingut de fibra del material compost degut a la major densitat que presenten aquestes.

4.5 Estudis realitzats

Actualment hi ha pocs estudis amb resultats positius en l'aspecte d'adhesió de reforços naturals a matrius de poliàcid làctic i que provoquin un augment significatiu en la resistència mecànica d'aquests nous compostos respecte el valor nominal del PLA sense reforçar.

4.5.1 (M. Huda, Drzal, Mohanty, & Misra, 2006) i (M. S. Huda, Drzal, Mohanty, & Misra, 2008).

A través d'un estudi realitzat per Huda, es pot comprovar la dificultat de reforçar PLA amb fibres naturals, ja que s'intenta l'addició de fibres naturals de diferent procedència a una matriu de PLA i s'observa que la resistència a flexió de la totalitat dels reforços emprats disminueix respecte la del PLA sense reforçar.

Es sap que l'augment de la resistència mecànica, tant a flexió com a tracció, a l'afegir un agent de reforç està estretament lligada a la qualitat de la interfase generada entre la matriu i el reforç. Per tant, els baixos resultats mecànics d'aquest estudi indiquen que la interfase obtinguda en cadascun dels binomis matriu-reforç és de baixa qualitat.

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

Aquest estudi analitza les propietats acústiques de materials compostos a base d'una matriu polimèrica de polipropilè reforçada amb fibres provinents de la poda de taronger.

Es van dur a terme els següents assajos: assaig de tracció de les provetes i assaig a la resistència al flux del so.

Pel que fa als resultats, la dada més important és la obtinguda de l'estudi de l'aïllament acústic, ja que pot arribar a igualar les prestacions que ofereix a dia d'avui el cartró-guix, material molt utilitzat en el món de la construcció.

A més a més, se li poden trobar altres camps d'aplicació, com serien el disseny de productes i l'automobilístic a part del plenament constructiu.

4.5.3 Continuous flame-retardant actions of two phosphate esters with expandable graphite in rigid polyurethane foams

A través d'escumes retardants de la flama a base de poliuretà amb metilfosfonat de dimetil, es van preparar provetes per a ser assajades tèrmicament.

L'objectiu era incorporar tres tipus de retardants de flama diferents (DMMP, EG i BH) a un sol sistema per comprovar si endarrerien el seu efecte als RPUF.

L'addició de retardants de la flama va fer augmentar el valor LOI respecte els materials que no els incorporaven. També va fer disminuir el valor màxim de la velocitat d'alliberament de calor, va sostenir el calor efectiu de la combustió i va fer rebaixar a un nivell baix el calor total alliberat.

Els resultats dels anàlisis termogravimètrics (TGA) van confirmar que l'efecte sinèrgic va ser causat per l'alliberament continu de DMMP/EG i BH/EG, accions retardants de flama a l'augment de la temperatura.

5 Materials, equips i mètodes

5.1 Materials

5.1.1 Poliàcid làctic

S'ha utilitzat poliàcid làctic com a matriu pel desenvolupament de materials compostos totalment biodegradables. El polímer utilitzat ha estat l'Ingeos Biopolymer 3251D i ha estat subministrat per NatureWorks.

El PLA és un polímer termoplàstic semicristal·lí biodegradable. Les seves característiques principals, és que té una cristallinització que ronda el 40%, una temperatura de fusió compresa entre el rang de 150-160°C i una densitat de 1,21-1,43 g/cm³. És insoluble en aigua, però sí que ho és en dissolvents organoclorats (Battezzore, Bocchini, & Frache, 2011).

5.1.2 Fibra de colza

Com a component fibrós del material compost s'ha utilitzat la colza. Ha estat subministrada per Explotacions Agràries Cal Gall (Sant Gregori) i forma part del residu sobrant de la sega de la colza durant el mes de juliol de 2015.

S'han utilitzat aquests materials per les seves característiques biodegradables, eix bàsic de la línia d'estudi d'aquest treball.

5.2 Equips

5.2.1 Molí de fibres

La colza, subministrada en forma de palla, es va triturar amb un molí Agrimsa (Sant Adrià del Besós) per tal de poder procedir al mesclat amb PLA còmodament. D'aquesta forma s'assegura una mida de la mostra regular a través de la col·locació d'un tamís, amb un pas de llum de 5 mm.

La palla s'anirà introduint per la tremuja de la màquina i serà conduïda a un eix amb tres ganivetes col·locades longitudinalment, que trituraran la palla.



Figura 24. Molí de fibres

5.2.2 Desintegrador

S'ha procedit al desfibrat de la palla de colza per tal de millorar la seva processabilitat tant per injecció com per premsat. Es va fer servir el desintegrador de la casa comercial Sprout Waldron, model 10G-a per aquest objectiu.

S'introdueix la colza a través de la tremuja metàl·lica. La colza caurà sobre un vis sense fi que la transportarà a la zona de desintegració. Aquesta estarà formada per un espai on hi ha dues rodes dentades situades de tal manera que, fent girar el volant, executaran tal pressió que desfibrarà la colza.



Figura 25. Desintegrador

5.2.3 Bàscula digital

Per saber en tot moment la quantitat de material que és necessari per a la composició de la mescla, s'ha utilitzat una bàscula granatària, de com a màxim 2500 grams per així saber les quantitats.



Figura 26: Bàscula digital

5.2.4 Mescladora cinètica d'alta intensitat

A partir d'un mesclador cinètic d'alta intensitat fabricat per Draiswerke, inc. (Mahwah), s'obté la mescla dels materials compostos.

Es poden diferenciar 4 parts:

L'equip es controla a partir d'una unitat de comandament exterior, on es configuren les condicions de treball. Per poder treballar a diferents revolucions (càrrega i mesclat). L'equip consta d'un variador de freqüència de la casa ABB (Västerås, Suècia) que permet modificar les revolucions de l'eix.

La tercera part seria la zona de càrrega, on s'evoca el material i serà recollit per l'eix central que el conduirà a la cambra de mescla.

A través d'un motor elèctric es fa girar l'eix central, en el qual hi han unes hèlices que aportaran energia cinètica als dos materials, un cop estiguin a la cambra de mescla. La fricció dels materials amb les parets de la cambra de mescla provocarà l'escalfament d'aquests, fins a fondre el plàstic. D'aquesta manera la fibra s'incorpora a l'interior de la matriu, obtenint-se el material compost.

La cambra de mescla està refrigerada amb aigua per evitar el sobreescalfament del material, a causa de l'excés de calor que provoca aquest mesclat.



Figura 27. Mesclador sintètic

5.2.5 Molí

El molí s'utilitza per triturar el material de tal forma que sigui possible introduir-lo a la injectora per obtenir provetes, o realitzar planxes amb la premsa de plats calents

El molí ha estat fabricat per la casa comercial REISCH (Haan, Alemanya). A la seva part superior hi ha una tolva, de secció quadrada, que connecta amb la cambra de triturat. A la cambra de triturat, hi ha un eix circular amb diferents dents que, al girar, tritura el material. El material triturat passa per un tamís de 8 mm de pas de llum, per assegurar la mesura necessària per poder-lo processar.



Figura 28. Molí

5.2.6 Màquina d'injecció de plàstics

Una vegada es tingui la gransa triturada, es procedeix a la seva injecció per obtenir provetes estandarditzades.

S'ha fet servir una injectora model Allrounder-220M per a obtenir provetes normalitzades pels assaigs de tracció, flexió i impacte. L'equip ha estat fabricat per ARBURG (Eschweiler, Alemanya). Les seves característiques tècniques són:

- Diàmetre de l'eix: 25 mm
- Pressió màxima d'injecció: 1860 bar
- Velocitat d'injecció: 88 cm³/s
- Carrera màxima de l'eix: 595 rev/min
- Pes màxim injectable: 40 g
- Volum per injecció màxim: 39 cm³
- Força màxima d'injecció: 91'1 kN
- Potència del motor: 11 kW

La màquina s'acosta al motlle i injecta el material que ha plastificat. Això permet obtenir les provetes amb les dimensions i formes normalitzades, per realitzar els assajos mecànics de tracció, flexió, impacte i duresa. El material del motlle és d'acer i segueix la normativa ASTM 3641.



Figura 29: Màquina d'injecció de plàstics

5.2.7 Cambra climàtica

S'ha utilitzat una cambra climàtica fabricada per la casa Dycometal (Sant Boi de Llobregat), amb una capacitat de 1000 L. És programable per tenir-la treballant entre -30°C i 150°C i del 15 al 98% d'humitat relativa. A través de resistències elèctriques blindades s'executa el sistema de calefacció i una termosonda realitza la mesura de la temperatura. La humitat es mesura amb una sonda capacitativa.



Figura 30: Cambra climàtica

5.2.8 Estufa

L'estufa també ha estat fabricada per la casa Dycometal. El model de l'estufa era l'AFA 288. Consta d'un sistema d'aire calent de recirculació forçada per a l'evacuació de l'aire saturat d'aigua.

S'ha utilitzat per l'assecatge de fibres i el material compost abans de ser injectat durant un mínim de 24 hores. S'ha programat a una temperatura de treball de 80°C.



Figura 31. Estufa

5.2.9 Premsa de plats calents

És la màquina amb la qual s'han realitzat les planxes, d'una mida aproximada d'un A4, aplicant pressió i temperatura dins d'un motlle metàl·lic que contenia la mostra.

Es tracta d'una Fontijne Presses (Vlaardingen, Holanda). L'equip consisteix en dos plats calefactats de 40x40 cm de superfície. Un sistema hidràulic, acciona un pistó que permet compactar els plats a la pressió desitjada. Aquests plats, pressionaran el motlle (Figura 33) carregat amb la mostra a processar.



Figura 32: Premsa de plats calents



Figura 33: Motlles metàl·lics

Posteriorment, a través de paràmetres com són, temps, pressió i temperatura de treball, s'executa la transformació del material en planxes. Tots aquests paràmetres es controlen a través del taulell de control d'aquesta màquina.



Figura 34: Comandaments de control dels paràmetres

Per a la refrigeració del sistema, l'equip incorpora un circuit hidràulic que fa circular aigua corrent.

5.2.10 Tall làser

El tall làser s'ha realitzat amb una màquina GLC1215 – Tall/Gravador, de la casa comercial Màquines Cortelaser (Fornells de la Selva), de dimensions mitjanes.

És adequada pel treball en sèrie i fa talls en espessors petits. Pot arribar a tallar fusta de 20 mm i ve equipada amb un tub làser d'una potència màxima de fins a 130 W.

En aquest cas, s'ha fet servir per dibuixar/tallar les provetes que s'obtenen per mitjà de planxes.

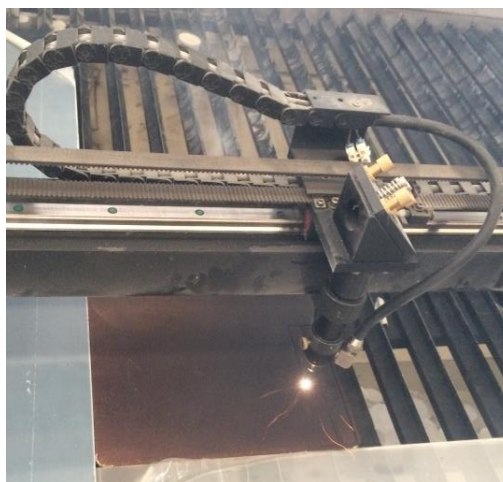


Figura 35: Tall làser

5.2.11 Polidora

Aparell elèctric que treballa a 230 V i 50 Hz, considerada una multi-eina. Es considera una multi-eina perquè té capçals intercanviables, per a realitzar diferents feines. Aquest va fixat a un sistema rotatiu que el sosté mitjançant la seva premsa. És el model 4000 de la casa DREMEL (Breda, Holanda).

En aquest treball s'ha utilitzat un capçal per rectificar amb l'objectiu de deixar la superfície de la proveta totalment regular, eliminant així petites discontinuïtats o esquerdes, que podrien suposar punts febles per l'assaig de la peça.



Figura 36: Polidora

5.2.12 Pèndol d'impacte

A través d'un martell Resil 5'5 de la casa Ceast (Pianezza, Italia), es determina l'energia absorbida a través d'impacte.

L'equip consisteix en un martell que colpeja la mostra col·locada en el suport que la sosté. La forma del martell i la posició de la mostra al suport, determinaran la metodologia i assaig amb que es treballa.

Les provetes assajades a impacte han seguit dues metodologies diferents: Charpy i Izod.



Figura 37: Pèndol d'impacte

5.2.13 Màquina universal d'assajos

A través d'aquest aparell, subministrat per la casa IDMtest (San Sebastián), s'ha realitzat els assajos de les propietats de tracció i flexió. L'equip està equipat amb una cèl·lula de càrrega de 5000 N. Té dos models intercanviables que permet l'assaig a tracció o a flexió. El model que permet l'assaig a flexió consta d'una base amb dos suports on es recolzen les provetes i un punxó longitudinal que pressionarà la proveta per la zona central.



Figura 38: Màquina universal d'assajos amb el suport de flexió

L'altre model són dues mordasses que subjectaran la proveta pels seus extrems. La màquina estirarà la proveta fins al seu trencament. Per la mesura del mòdul, s'ha utilitzat un extensòmetre MFA2 de l'empresa Walter+bai ag (Löhningen, Suïssa).

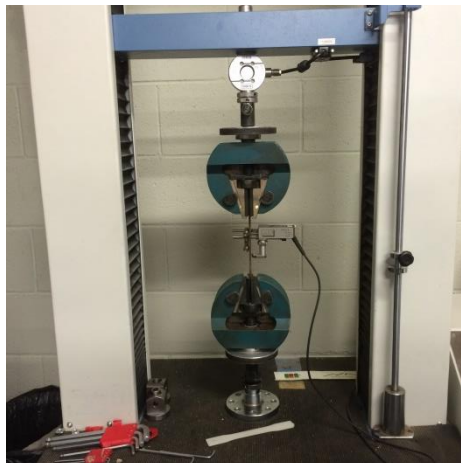


Figura 39: Màquina universal d'assajos amb mordasses per assajar a tracció i extensòmetre

L'enregistrament i tractament d'aquestes dades el realitzarà el programa Registra III.

5.2.14 Picnòmetre

Aquest element ha estat utilitzat per a la recerca de la densitat del material, amb la seva corresponent dosificació.

És un recipient de vidre, en forma de pera, que es tapa amb un tap que disposa d'un capil·lar. D'aquesta forma es pot mesurar el volum amb gran precisió.

Amb l'ajuda d'una balança, s'obtenen els resultats referents a la massa del conjunt (Baró, Orriols, Pi, Pintó, & Suriñach, 1997).



Figura 40: Picnòmetre de vidre de 50 ml

5.2.15 Termobalança analítica

La termobalança utilitzada en aquest projecte ha estat adquirida a través de Mettler Toledo (L'Hospitalet de Llobregat). El model de l'aparell és el TGA/DSC1 i presenta les característiques següents:

Volum màxim de mostra: 900µl

Exactitud: $\pm 0,25^{\circ}\text{C}/\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ (al superar els 1100°C)

Temperatura màxima del forn: 1600°C

Resolució SDTA: $0,005^{\circ}\text{C}$

Consisteix en un forn on s'emplaça la mostra, que està mesurada per una balança analítica. Un controlador regula la temperatura del forn i les velocitat d'escalfament. Es mesura el pes i la temperatura de la mostra i s'enregistren per estudiar-los posteriorment.

Aquest equip permet estudiar la degradació de diferents materials. Permet treballar tant en règim dinàmic com en règim estacionari.



Figura 41: Termobalança analítica

5.3 Metodologia experimental

5.3.1 Triturat de la fibra natural

La colza rebuda presenta dimensions irregulars. Per tal de procedir al mesclat i transformació correctament, s'ha triturat utilitzant el molí que es mostra a la Figura 42 d'on es recull la fibra tamisada, a punt per a ser posada a l'estufa per ser assecada.



Figura 42: Regularitzat de la fibra

5.3.2 Desfibrat de la fibra triturada

A través del desintegrador de fibres (Figura 25) es realitza el desfibrat de la fibra triturada per obtenir pasta mecànica.

Aquesta màquina, a través d'uns discos desfibra la fibra triturada prèviament en el triturat i s'obté un material amb una relació longitud-diàmetre molt diferent a la que s'obté del triturat. Aquesta relació fa funcionar molt millor el compost quan es mescla amb la matriu plàstica.

5.3.3 Obtenció del material compost

Per a l'obtenció del material compost s'ha utilitzat un mesclador cinètic d'alta intensitat, el qual acaba proporcionant, en forma de massa pastosa, el material compost correctament mesclat. El procediment que s'ha seguit per a la seva elaboració ha estat el següent:

- El primer pas consisteix en tancar la porta de descàrrega de material. Acte seguit es carrega cadascun dels materials a mesclar per la tremuja de la zona d'alimentació, que es troba a la part superior de la màquina, seguint el següent ordre: primer la fibra i després el PLA. En aquest procés es fa girar l'eix a una velocitat d'unes 300 rpm. Tot aquest material, anirà a parar directament al cilindre on un vis sense fi el transportarà a la cambra de mesclat.

- Quan tot el material hagi entrat a dins de la cambra de mesclat, es tancarà la comporta d'alimentació, per evitar fuites del material per aquell punt durant el mesclat.

- Seguidament es procedeix a la plastificació de la matriu i extrusió del material compost. Per tal d'aconseguir-ho, es puja la velocitat de gir de l'eix progressivament fins a les 2800 rpm. Degut a la alta energia que es genera per fricció, provocada per les altes velocitats que s'aconsegueixen a la cambra de mesclat, el material s'escalfa. El PLA es fondrà i envoltarà la fibra, obtenint un material compost amb el reforç degudament dispers en la matriu.

- Per expulsar el material de la màquina, s'espera a que es produeixi el canvi d'estat de la matriu, que provocarà un augment de potència consumida per la màquina. Qualsevol augment de temperatura posterior, a la incorporació de la totalitat del reforç, provocarà un descens en la viscositat del producte i conseqüentment, del consum d'energia del mesclador. Quan la pantalla mostri un descens de la intensitat consumida, es procedirà a la descàrrega del material.

- Un cop es té el material cohesionat a la safata de recopilació, es divideix ràpidament en petits bocins d'entre 5 i 10 cm³ de volum abans de que la massa hagi refredat. D'aquesta manera s'accelera el refredament del material compost i s'obtenen trossos que faciliten la posterior trituració al molí.



Figura 43: Bocins de la mostra

- Per acabar, es realitza la neteja de la zona d'alimentació amb aigua, eliminant les restes de fibres que hagin pogut quedar-hi. Per netejar la resta de la zona de treball, en canvi, s'utilitza polipropilè amb un 5% en pes d'àcid esteàric per facilitar el desenganxat de partícules. S'eleva la temperatura seguint el mateix procediment que en la obtenció de materials compostos fins a la descàrrega.

5.3.4 Obtenció de gransa per la fabricació de provetes

Una vegada els bocins hagin refredat, es trituren al molí per obtenir una gransa adequada per a la fabricació de les provetes, ja sigui a través d'injecció, o per premsat i mecanitzat. El molí es neteja després de triturar cada material per evitar contaminacions en posteriors formulacions. Abans de procedir a la injecció de provetes, s'assecarà la gransa durant un mínim de 2 hores a 80°C a l'interior de l'estufa.



Figura 44: Material a l'estufa

5.3.5 Transformació dels compostos per injecció

La gransa es carrega a la tremuja de la injectora. Llavors el fus i el cilindre de l'equip plastifica el material degut als esforços de cisalla i a la calefacció de les resistències. Una vegada plastificat i compactat en el tram final de la injectora, s'injecta a un motlle que donarà forma i refredarà la peça.

Les condicions amb les que s'ha injectat el material són:

1a zona: 160°C	2a zona: 170°C
3a zona: 180°C	4a zona: 200°C
5a zona: 220°C	Cabal: 45 cm³/s
Càrrega: 27,5 cm³	Temps refredament: 25 segons
Pressió 1: 800 bar	Pressió 2: 190 bar

Per injectar els percentatges més viscosos, s'ha incrementat la duració de la primera pressió d'injecció i la segona pressió, s'ha augmentat, progressivament, de 20 a 40 kg/cm².

Una vegada s'han aconseguit les provetes, són condicionades a la cambra climàtica segons la normativa ASTM D618 durant 48 hores a 23°C i al 50% d'humitat abans de procedir als assajos.

5.3.6 Fabricació de planxes a la premsa

S'han obtingut provetes a partir de planxes posteriorment mecanitzades. Les planxes s'han produït a través de premsat.

- En primer lloc, s'ha escalfat els plats fins a una temperatura de 195°C.
- Per tal de poder desemmotllar la planxa correctament, es col·loca paper de forn a cada cara del motlle.
- S'emplena el motlle del material necessari per acabar aconseguint un gruix de 3 mm aproximadament.
- Després es col·loca l'última peça del motlle i s'introdueix a dins de la premsa.
- A continuació, es posen els tres elements en contacte (els dos plats de la premsa i el motlle) fins que les temperatures s'estabilitzin novament (la introducció del motlle fred provocarà una inestabilitat). A partir d'aquest moment es començar a pressionar el motlle amb una força de 250 kN.
- Després de 15 minuts de compactació es posa en funcionament el circuit de refrigeració i es baixa la temperatura fins poder-ho manejar. Un cop fora de la premsa es desmunta el motlle per treure la planxa resultant.



Figura 45: Col·locació de la mostra en l'interior del motlle

5.3.7 Tall de provetes

Per poder mesurar les propietats mecàniques del panell que s'ha obtingut amb la premsa caldrà mecanitzar-lo, obtenint provetes amb la forma i dimensions que marquen les respectives normatives.

Aquest procés es durà a terme a l'empresa Polímer Tècnic (Riudellots de la Selva), on a través de la màquina de tall làser, s'obtenen aquestes provetes.

Es dissenya una plantilla de tall a través d'AutoCAD. L'equip processa el recorregut de tall i, automàticament, es realitza l'operació.

5.3.8 Polit i mesura de les provetes

El polit de les provetes s'ha de realitzar per tal d'allisar la superfície tallada de la proveta, ja que són punts dèbils on es poden originar fractures molt fàcilment. A través de la polidora, es ressegueix el perímetre de la proveta fins a deixar-la completament fina i regular.

La dependència de les dimensions a la força necessària per deformar i trencar una proveta, fa necessària la seva mesura. S'utilitza un peu de rei digital, d'on s'obtenen els valors de gruix i amplada de la peça. Aquests resultats, seran anotats en taules.



Figura 46: Mesura de les provetes

5.3.9 Càlcul de la densitat del compost

Inicialment es trien un número determinat de provetes assajades i trencades, suficient per emplenar més de la meitat del recipient.

Una vegada es disposa de les provetes trencades es passen pel molí (Figura 28) per obtenir la mostra esmicolada i així perdre menys espais entre ella.

A partir d'aquí es procedeix a pesar el picnòmetre, aquest pes serà denominat Tara i es simbolitzarà com a "T" en la fórmula 6.

Una vegada pesat, s'emplenarà de mostra més de la meitat del cos del picnòmetre i es pesarà, denominant-lo "PB".

Posteriorment s'emplena el recipient d'aigua, assegurant que no es deixa cap punt amb aire entre la massa triturada.

Amb el picnòmetre ple d'aigua fins al límit que estableix el coll del tap, es realitza la tercera (PBH).

Finalment es calcula la densitat del compost a través del volum del recipient (V) amb la següent fórmula:

$$\rho_{COMPOST} = \frac{PB - T}{V_{TOTAL} + PB - PBH} \quad (3)$$

on "PB" serà el pes del picnòmetre més la mostra, " V_{TOTAL} " serà el volum del picnòmetre i "PBH" serà el pes del picnòmetre amb la mostra i l'aigua que contingui.

5.3.10 Assaig de tracció

Aquest assaig consisteix en la mesura de la força necessària per deformar les provetes, a una velocitat de deformació constant.

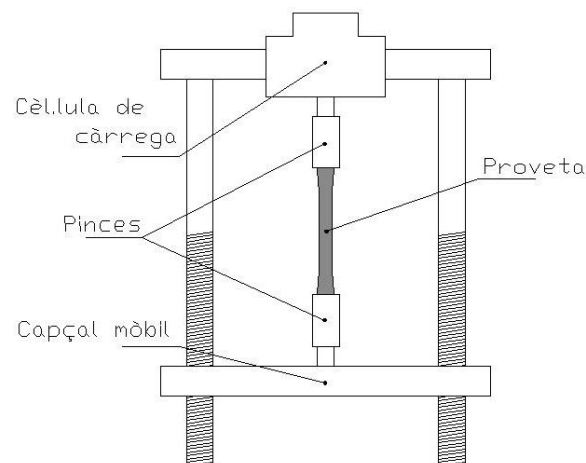


Figura 47: Esquema d'assaig a tracció

Degut a la dependència de la secció amb la força necessària per deformar-la, la resistència del material en el punt de ruptura s'expressarà com a esforç nominal (expressat en MPa).

Els assajos han estat fets seguint la normativa ISO 527-1:2000. La velocitat de deformació amb que s'ha treballat ha estat de 2 mm/min. S'ha subjectat la proveta amb les dues mordasses. La mordassa superior es desplaça a la velocitat parametrizada.

Per a major precisió en la mesura, s'utilitza un extensòmetre per a mesurar el desplaçament durant la determinació del Mòdul de Young. Per tal de protegir l'extensòmetre, es segueix la següent metodologia:

- Obtenció del Mòdul de Young:

Es fixen les provetes a les mordasses i es col·loca l'extensòmetre totalment centrat en els tres eixos. Posteriorment s'executa l'assaig. El Mòdul de Young es calcula entre els valors de 0,05 i 0,25% de deformació. Per tal d'assegurar la integritat de l'extensòmetre, s'aturarà l'assaig quan es supera aquest valor.

- Obtenció de la resistència màxima a tracció:

De cada material s'han assajat un mínim de cinc provetes i s'han obtingut resultats de les següents propietats:

Deformació del material: és la relació de l'increment de la longitud de les provetes i la longitud inicial, prèvia a la deformació, que coincideix amb la distància entre mordasses.

L'esforç màxim: és el valor màxim obtingut durant l'assaig, expressat en MPa.

La rigidesa del material: s'expressa com el Mòdul de Young i indica la dificultat d'un material per deformar-se, es mesura en unitats de força/superfície (GPa) i s'obté en la zona elàstica, per tant, es pot aplicar la Llei de Hook:

$$\sigma = E \cdot \epsilon \quad (4)$$

on "σ" és l'esforç expressat en MPa, "E" és el Mòdul de Young i "ε" és la deformació (increment de la longitud, dividit per la longitud inicial)

A partir d'aquí, la màquina calcula el Mòdul de Young segons els valors d'esforç obtinguts entre les deformacions de 0,05 i 0,25 %.

5.3.11 Assaig de flexió

Els assajos han estat fets seguint la normativa ISO 178.

La resistència a flexió s'expressa seguint la següent equació:

$$\sigma = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot w \cdot h^2} \quad (5)$$

on “ σ ” és la resistència màxima a flexió expressada en MPa, “F” és la força màxima que es necessita per trencar la proveta expressada en N, “L” és la distància entre els dos punts de recolzament de la proveta i “w” és l'amplada i “h” és l'espessor de la proveta, totes les distàncies són expressades en mm.

El mòdul elàstic es calcula a la regió elàstica, seguint la següent equació:

$$E_F = \frac{L^3 \cdot F}{4 \cdot w \cdot h^3 \cdot \delta} \quad (6)$$

on “E” és el Mòdul Elàstic expressat en tant per cent i “ δ ” és la fletxa de la proveta expressada en mm.

Durant la flexió, la meitat superior de la proveta treballa a compressió i l'altre meitat a tracció:

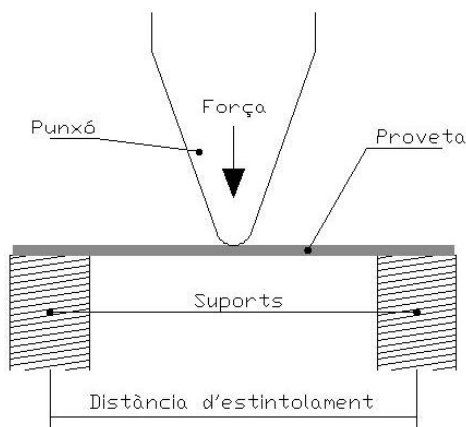


Figura 48: Esquema de flexió

S'utilitza el programa Registra III on s'introdueixen els paràmetres i les dimensions de la proveta a assajar. Abans de realitzar l'assaig de cada proveta, aquestes hauran d'haver estat correctament condicionades a la cambra climàtica. La velocitat de deformació durant l'assaig és constant i de 2 mm/min.

Durant l'assaig, el programa enregistra la força en funció de l'increment d'elongació. Una vegada hagi finalitzat, donarà els resultats d'esforç màxim, allargament en el punt d'esforç màxim i mòdul de flexió.

5.3.12 Simulació per anàlisi d'elements finits

A partir dels resultats obtinguts dels assajos mecànics realitzats, s'ha realitzat una simulació del disseny que es proposa. A través del programa informàtic SòlidWorks s'ha fet l'anàlisi d'elements finits amb les peces obtingudes per injecció, ja que són de les que s'han obtingut millors resultats.

S'ha acabat realitzant la simulació a partir de la dosificació formada per un trenta per cent de colza amb pasta mecànica i un setanta per cent de poliàcid làctic. S'ha escollit aquest cas perquè és el més desfavorable, és a dir, és amb el que s'han obtingut pitjors resultats. Per tant, les altres formulacions complirien els requisits amb escreix.

Per tenir una petita idea de la composició inicial de la placa s'han realitzat els següents estudis previs:

- Anàlisi de la normativa: a partir del Codi Tècnic de l'Edificació s'ha buscat les disposicions mínimes necessàries perquè un panell compleixi les expectatives en construcció.
- Càlcul de la densitat: com s'ha indicat al punt 5.3.15 al laboratori s'ha extret el resultat de la densitat del material.
- Justificació de les mides del panell: les mides de l'element són molt importants, ja que poden reduir o augmentar considerablement el rendiment en posta a obra.
- Estudi de mercat: a partir de la comercialització del cartró-guix, s'han pres les seves mesures de comercialització com a format ideal i altres sistemes. D'aquí també s'ha estudiat la fixació mecànica del panell a l'estructura portant.

Anàlisi de la normativa

A partir del Codi Tècnic de l'Edificació (CTE), al seu Document Bàsic de Seguretat Estructural i Accions en l'Edificació (DB SE-AE), defineix les càrregues que han de suportar les baranes i altres elements divisoris, en funció de la seva categoria d'ús:

Taula 2: Força horitzontal d'aplicació segons categoria d'ús

Categoria d'ús	Força horitzontal
C5	3,0
C3, C4, E, F	1,6
Resta dels casos	0,8

En el punt 3.2.3 del citat document indica que els elements divisoris, tals com envans, han de suportar una força horitzontal reduïda a la meitat a la definida a la Taula 2, segons l'ús a cada costat del mateix element.

És el cas en el que s'emplaça aquest projecte, la separació d'espais amb element de separació vertical amb la mateixa tipologia d'ús. Llavors, les exigències a les que es regirà l'estudi seran les exposades a la Taula 3.

Taula 3: Força horitzontal d'aplicació en elements divisoris

Categoria d'ús segons el CTE	Força horitzontal (KN/m) a 1'2m d'altura
Zona d'aglomeració (C5)	1'5
Zones d'accés al públic (C3 i C4)	0'8
Zones de tràfic i d'aparcament (E)	0'8
Resta de casos (A, B, C1, C2 i D)	0'4

Càlcul de la densitat

Explicat al punt 5.3.15 .

Justificació de les mides del panell i estudi de mercat

Els panells podrien ser de mides i formes molt variables. En definitiva el que dóna l'estabilitat i la subjecció, són els perfils metàl·lics que actuen com a estructura del sistema.

A partir dels dissenys que es troben al mercat, s'ha intentat igualar les mides convencionals. Com a consideració inicial, es parteix de la base que aquest nou material, podrà substituir les aplicacions del cartró-guix o també, per exemple, els panells de resines fenòliques (HPL).



Figura 49: Panells de resines fenòliques
(“Lavabos polideportivo,” 2015)

Per a la minimització de costos de muntatge, s'ha intentat la caracterització d'un panell de dimensions considerables. A partir de la consulta de mesures de comercialització del cartró-guix, s'ha partit d'unes dimensions de 2100x1200x10 mm.

Els sistemes d'unió panell-estructura són molt rudimentaris, bàsicament consisteix en la fixació a través d'un cargol metàl·lic, tirafons, o rosques que acaben unint l'element metàl·lic de fixació.



Figura 50: Fixació cartró-guix amb tirafons
("Agarre PLADUR," 2016)



Figura 51: Fixacions roscades amb resines fenòliques
("Ferratges," 2016)

5.3.13 Assaig d'impacte

L'assaig d'impacte que s'ha realitzat, és el conegut com a Charpy, regulat per la normativa ISO 179. Aquesta prova permet conèixer l'energia que absorbeix un material sotmès a una força executada a una velocitat elevada.

L'equip calcula el valor de resiliència a partir de les dimensions de la proveta, prèviament introduïts i el mostra en pantalla.

El càlcul consisteix en la diferència d'energies potencials entre el punt inicial del martell i l'assolit després d'impactar amb la proveta.

En els assajos de Charpy, la proveta es troba reposant sobre dos suports de manera que el martell colpeja la proveta al seu centre longitudinal. El valor de l'energia absorbida s'expressa en forma nominal: kJ/m^2 i el martell utilitzat pesa uns 2,75 J.

La normativa exigeix l'assaig de 5 provetes sense entallar i 5 entallades. La entalla és un petit tall que se'ls hi fa per l'ample, de tal forma que des del punt on trenqui tingui una amplada màxima de 10,16 mm.

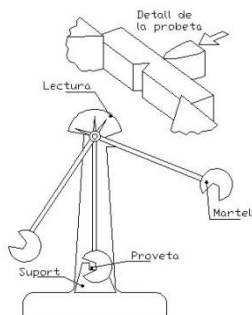


Figura 52: Esquema assaig d'impacte

5.3.14 Termogravimetria analítica

S'ha realitzat una termogravimetria analítica per conèixer el comportament degradatiu dels materials estudiats.

Per la seva execució s'ha triturat provetes, així s'utilitza, en tots els assajos tèrmics, material o provetes que hagin passat pels mateixos processos, inclòs el de transformació.

El procediment estàndard consisteix en introduir uns 15 mg de material en una càpsula d'alúmina, es tanca i s'introdueix al forn, a continuació s'introdueixen les característiques de l'assaig. En aquest cas s'ha treballat en atmosfera d'oxigen.

5.3.15 Burning Test

El Burning Test és un assaig que consisteix en posar en contacte la flama produïda a través d'un encenedor Bunsen amb una proveta de material compost i estudiar el comportament que aquest té a la flama. L'assaig el descriu la normativa ISO 9772.

Amb l'encenedor indicat es pren una flama a través d'un angle de 30°C a la proveta que estarà col·locada verticalment. Es realitzen aplicacions de 10 segons, si passat aquest temps la flama no ha pres, es torna a aplicar de la mateixa forma i durant el mateix temps.

Segons normativa s'especifica un tipus de classificació en funció del comportament de la flama:

- V-0: en 10 segons s'ha extingit la flama i no s'ha produït degoteig de material
- V-1: en 30 segons s'ha extingit la flama i s'ha produït degoteig de material sense que estigui inflammat
- V-2: en 30 segons s'ha extingit la flama i s'ha produït degoteig de partícules inflamades

A través d'una pinça metàl·lica, subjectada a un suport, es sosté la proveta en posició vertical. S'aplica la flama de forma directa durant un període de 10 segons i s'encén i s'observa el comportament de la flama amb el material.

S'analitzen els següents paràmetres per a la seva classificació:

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



Figura 53: Pines pel Burning Test

6 Resultats i discussió

6.1 Resultats a tracció

S'ha utilitzat la màquina universal d'assajos (Figura 39), per tal de mesurar les seves propietats mecàniques a tracció, com la resistència màxima (σ_t), la deformació al punt de força màxima (ϵ_t) i el mòdul de Young (E_t) de les provetes de PLA reforçades amb pasta mecànica i colza triturada obtingudes a partir d'injecció i premsat.

Per tal d'obtenir un valor estadístic, s'han assajat deu provetes de cada material i procés de fabricació.

A la Taula 4 es poden veure les mitjanes de cada material i procés d'obtenció de provetes. Entre parèntesi es mostra la seva corresponent desviació estàndard.

Taula 4: Resultats dels assajos a tracció

Material:	σ_t (MPa)	ϵ_t (%)	E_t (MPa)	σ_t (MPa)	ϵ_t (%)	E_t (MPa)
Colza	Colza triturada			Pasta Mecànica		
Materials per premsat						
30%	6,259 (0,5)	0,18 (0,017)	-	6,35 (0,167)	0,183 (0,01)	-
40%	9,171 (1,04)	0,27 (0,026)	-	9,27 (0,212)	0,209 (0,01)	-
50%	2,743 (0,5)	0,765 (0,02)	-	4,80 (0'188)	0,129 (0,01)	-
60%	4,027 (0,38)	0,144 (0,01)	-	4,47 (0,119)	0,11 (0,005)	-
Materials per injecció						
30%	30,705(2,85)	0,811(0,054)	5393(417,1)	36,592(2,79)	1,402(0,089)	6569'5 (3'03)
40%	-	-	-	47,478(2,29)	1'315(0,081)	7209'67(115)
50%	-	-	-	38,575(0'05)	1'535(0,009)	8296'5 (165)
Material: PLA		σ_t : 51,22 MPa		ϵ_t : 2,68 mm		E_t : 3391,50 MPa

En primer lloc cal destacar que pel mètode d'injecció ha estat impossible obtenir provetes de PLA reforçat amb un 40 i un 50 per cent de colza triturada. L'alta fragilitat dels materials derivava amb el trencament de les provetes durant el seu el desemmotllament.

L'alta fragilitat dels materials processats per premsat ha impedit la mesura del mòdul de Young. Tal com marca la normativa UNE EN ISO 5276, la mesura del mòdul de Young es fa entre els valors de deformació corresponents compresos entre el 0,05-0,25%. Els compostos processats per premsat no han arribat a aquests valors de deformació.

Pel que fa a les provetes de PLA per premsat, no ha estat possible obtenir-les mitjançant tall làser, ja que l'equip fonia el material, però no efectuava cap tall sobre la planxa de PLA.

A la Figura 54 es pot observar com els materials processats mitjançant premsat són molt menys resistents que els processats per injecció, degut a les peculiaritats del procés de formació dels panells dels que se n'extreuen les provetes, ja bé siguin problemes donats per una menor compactació del material o per una superfície més irregular.

Pel que fa als materials processats per injecció, es pot veure com l'addició de reforços, amb una alta presència de lignina, com els que s'han fet servir en aquest projecte, repercuteix en una disminució de la resistència mecànica. Aquesta, està íntimament relacionada amb la qualitat de la interfase, a més de les propietats de cada component que forma el compost (Givica, 2016). Una mala interfase dificulta la transmissió d'esforços de la matriu al reforç, disminuint així la resistència mecànica del material (Franco-Marquès et al., 2011).

En estudis previs, s'ha observat que els compostos de PLA reforçats amb fibres lignocel·lulòsiques són molt sensibles al contingut de lignina. De tal manera que aquesta dificulta la interacció del PLA amb el reforç (Givica, 2016).

En altres estudis realitzats, es pot assegurar que l'addició de fibres blanquejades, fibres de les que se'ls hi ha extret la lignina, aporten interaccions satisfactòries, fet que es contrasta amb una evolució lineal de propietats a l'augmentar el contingut de fibra fins a percentatges del 30% (Oliveras, 2015).

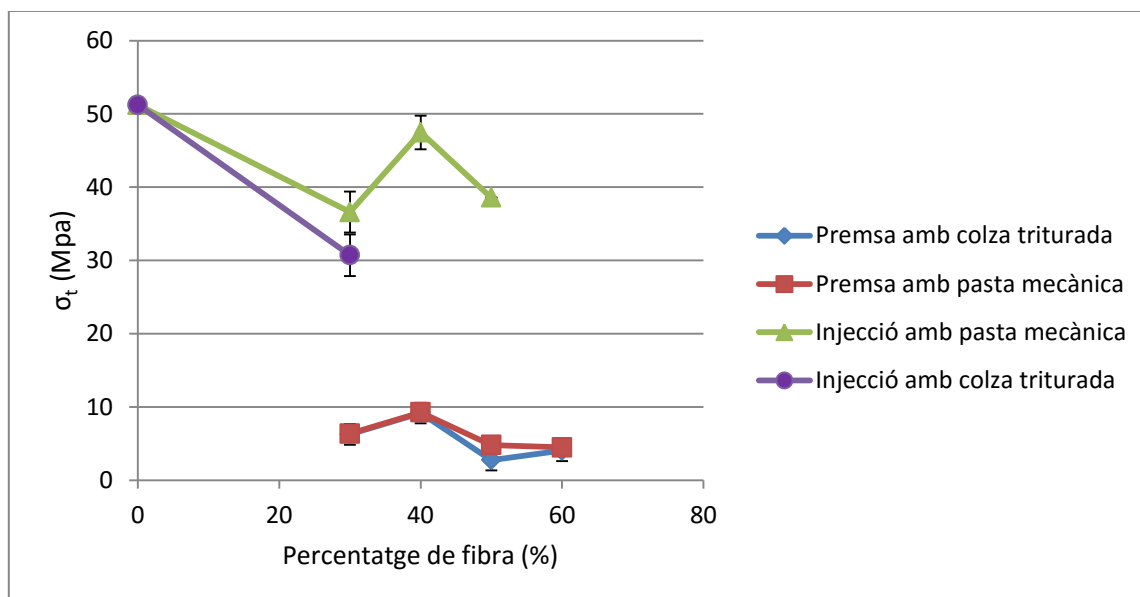


Figura 54: Representació gràfica de la resistència a tracció

Per tant, l'addició d'un reforç que no ha estat sotmès a processos de blanquejat, presentarà interaccions de baixa qualitat amb la matriu de PLA. És per aquest motiu, que la resistència mecànica dels compostos és inferior a la del polímer sense reforçar.

Tot i que l'ús de colza no repercuteixi en un augment de la resistència mecànica del producte final, cal tenir en compte que permetrà la utilització d'un residu, a més de reduir el cost del producte, degut a l'alt cost econòmic del PLA. El fet que no s'estudiï cap procés de blanqueig per tal de millorar aquestes propietats, es relaciona amb l'augment de l'impacte mediambiental a l'afegir processos químics i l'ús de reactius (Oliver-Ortega et al., 2016).

No obstant, s'ha pogut comprovar com el descens no és tant significatiu si s'aplica un desfibrat a la colza, obtenint el que s'anomena una pasta mecànica en la indústria paperera. Això s'explica pel millor accés que té el PLA a les fibres de cel·lulosa de colza. A més, reforços amb una millor relació d'aspecte longitud-diàmetre, acaba oferint majors propietats mecàniques. És sabut que els processos de desfibrat, repercuteixen significativament en aquesta propietat (Jiménez et al., 2016).

Per aclarir aquest últim punt es remarca que el desfibrat consisteix en la individualització de les aglomeracions de fibres que formen la colza triturada. Geomètricament s'obtenen formes més favorables per a la mescla de materials, ja que es passa a una fibra amb un diàmetre més reduït que fa augmentar la superfície de contacte amb la matriu.

No s'observa una tendència clara a l'augmentar el contingut de reforç. Això es deu novament a la mala interacció entre el PLA i les fibres, degut al contingut de lignina del reforç.

A continuació es presenta la Figura 55 en la que es mostren els resultats del Mòdul de Young obtinguts per injecció. No va ser possible la mesura de la rigidesa dels compostos processats per premsat degut a la seva fragilitat.

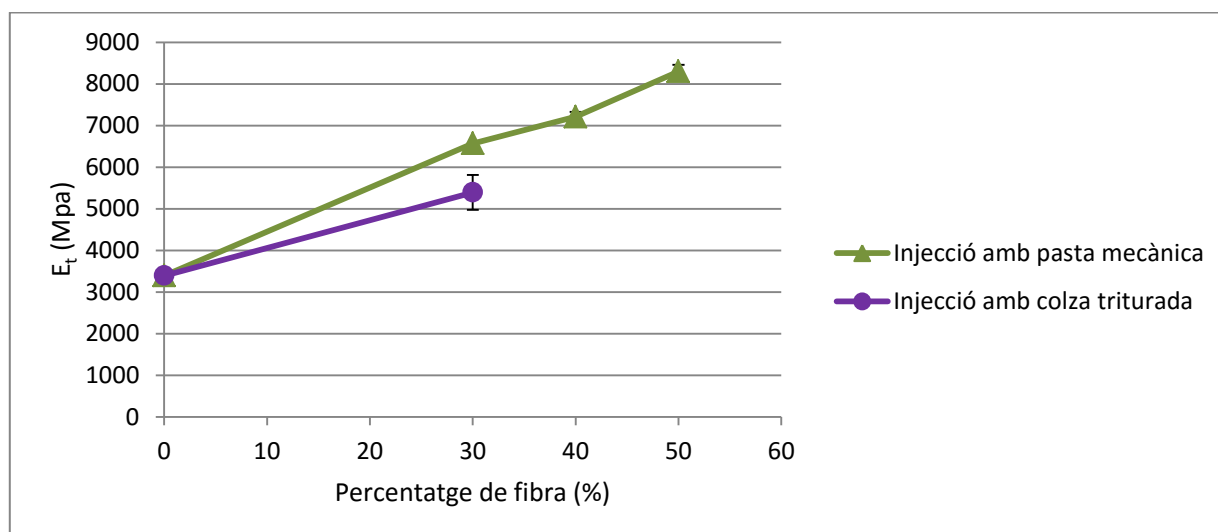


Figura 55: Representació gràfica del Mòdul de Young

Igual que en el cas de la resistència màxima, els compostos amb pasta mecànica tenen un Mòdul de Young lleugerament superior al reforç sense desfibrar. Això pot ser degut a la major superfície de contacte entre el reforç i la matriu.

Cal comentar que l'evolució del Mòdul de Young respecte al contingut en fibra del compost segueix una tendència lineal. Per tant, l'augment d'aquesta propietat es relaciona únicament amb l'addició d'un reforç més rígid que la pròpia matriu. Això significa que la rigidesa no és dependent de les característiques de la interfase (Franco-Marquès et al., 2011).

La Figura 56 representa els resultats de la deformació obtinguts a tracció:

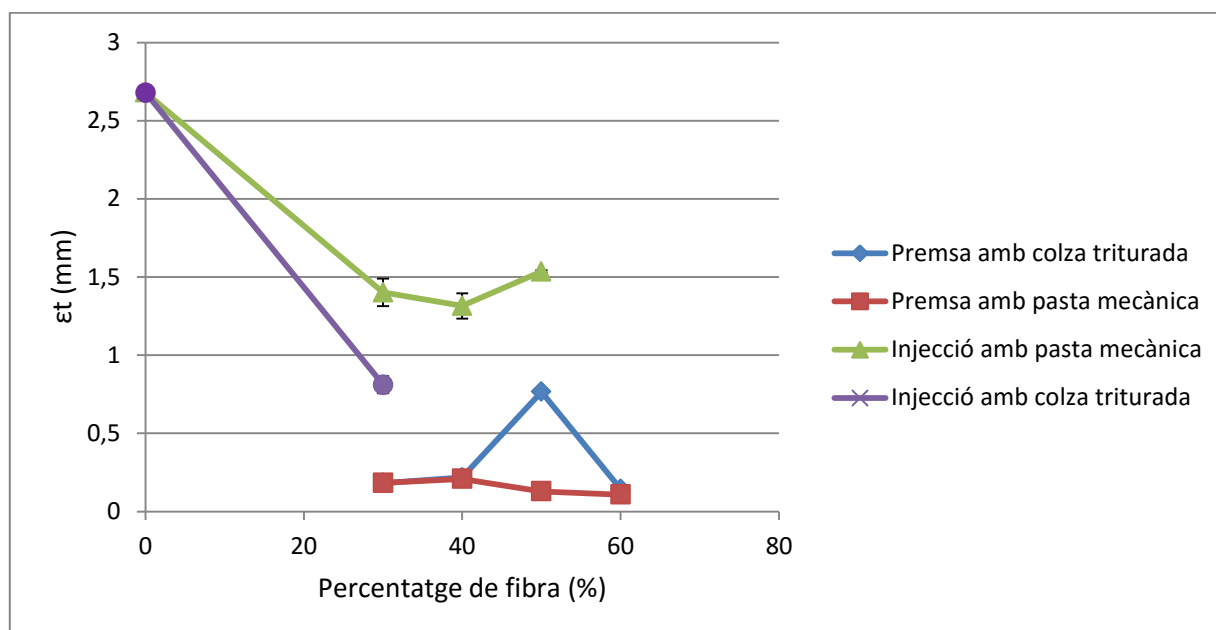


Figura 56: Representació gràfica de la deformació màxima a tracció

L'addició de reforços lignocel·lulòsics a una matriu provoca la disminució de la deformabilitat del material.

Aquest fenomen és degut a:

- que s'està afegint un element amb menor capacitat de deformació, fet que repercutirà en una disminució de les capacitats de deformació del material sense reforçar.
- que la continuïtat de la matriu de PLA es veu afectada notòriament. Generalment zones on es poden acumular tensions fàcilment, fent més fràgil el material.

Quan s'afegeix un reforç desfibrat, com és la pasta mecànica, l'augment d'interaccions reforç-matriu, degut a la major superfície de contacte del reforç, permeten una major deformabilitat. Aquest mateix fenomen també s'observa en matrius de PP, on es pot veure que al millorar la

qualitat de la interfase augmenta la deformabilitat del compost a més d'augmentar les propietats de resistència màxima. Així mateix, la menor deformabilitat en materials compostos reforçats amb colza triturada, és directament relacionable amb les menors interaccions de poliàcid làctic amb el reforç de fibra, observades en els resultats dels assajos a tracció (Franco-Marquès et al., 2011).

6.2 Resultats a flexió

Les propietats a flexió avaluades en aquest treball han estat la resistència màxima a flexió (σ_f), la deformació en el punt de resistència màxima (ϵ_f) i el mòdul de flexió (E_f). Els valors que es mostren a continuació es corresponen amb la mitjana de set provetes, dels materials estudiats, obtingudes per premsat de plats calents o bé per injecció. També s'inclou els valors de resistència, rigidesa i deformació del cartó-guix, assajat en les mateixes condicions que els materials anteriors.

A la Taula 5 s'adjunten els valors mitjans de cada apartat, així com la seva desviació estàndard entre parèntesis:

Taula 5: Taula de resultats de l'assaig a flexió

Material : Colza	σ_f (MPa)	E_f (MPa)	ϵ_f (%)	σ_f (MPa)	E_f (MPa)	ϵ_f (%)
	Colza triturada			Pasta Mecànica		
Materials per premsat						
30%	11,136(0,931)	2457,3(103)	0,354(0,036)	15,083(1,27)	3432,7(462)	0,889(0,084)
40%	10,84 (1,267)	3135,4(310,2)	0,450(0,048)	24,47 (1,81)	3157,4(82)	0,972(0,063)
50%	13,293 (0,96)	3307 (294,17)	0,681 (0,04)	11,77(1,806)	3590,8(228)	0,491(0,045)
60%	13,68 (0,813)	3686,3(115,3)	0,652(0,053)	14,965(0,44)	3015,5(88)	1,018(0,013)
Materials per injecció						
30%	54,393 (1,12)	3978,33(176,42)	1,952 (0,02)	67,41 (6,06)	4501,8(156,2)	2,427(0,22)
40%	-	-	-	80,56 (2,78)	5415,7(225,2)	2,261(0,09)
50%	-	-	-	71,67 (2,65)	6207,8(193,7)	1,758(0,07)
Cartró-guix	σ_f (MPa): 2,5326 (0,1023)		E_f (MPa): 523,38 (43,6102)		ϵ_f (mm): 2,2131 (0,1418)	

A partir de la Figura 57 es poden comprovar gràficament els resultats de resistència màxima a flexió de les diferents composicions de materials.

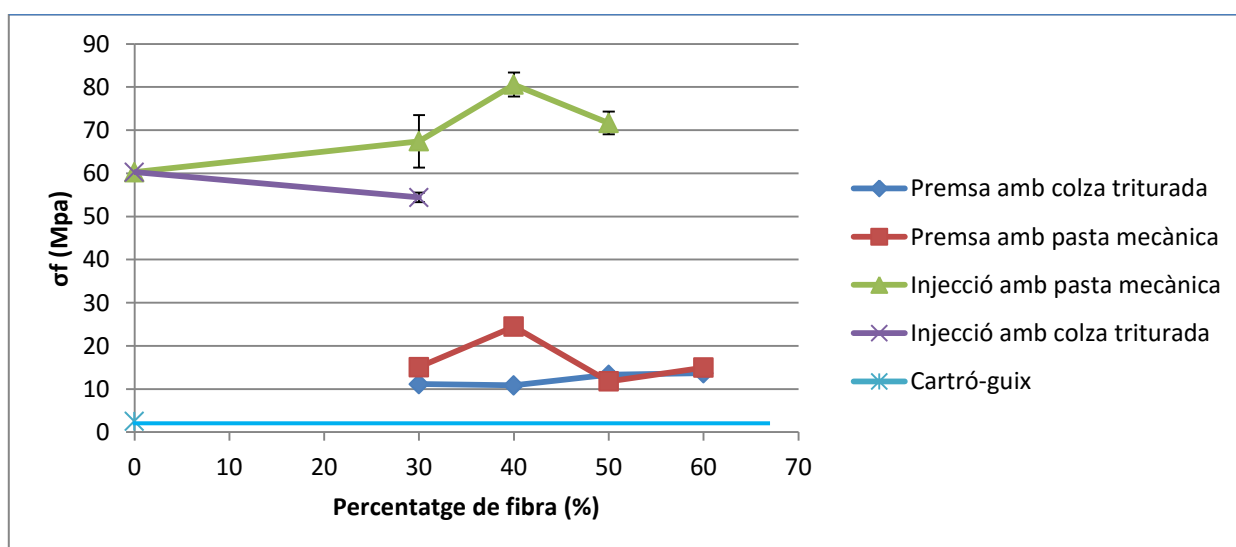


Figura 57: Representació gràfica de la resistència a flexió

Al comparar els resultats dels compostos reforçats amb un 30% obtinguts amb injecció, es comprova una lleugera millora de la resistència a flexió quan es procedeix a un desfibrat mecànic del reforç. L'addició de reforços lignocel·lulòsics no repercuteix en un augment de la resistència a flexió dels materials. Això es deu a una mala interacció entre fibres i matriu polimèrica, ja que en estudis realitzats prèviament es troben augments molt superiors quan els compostos estan ben compatibilitzats (Givica, 2016).

L'augment d'aquesta resistència no és lineal, fet que evidencia una vegada més els problemes d'interacció matriu-reforç. Com ja s'ha comentat anteriorment, es deu a la lignina superficial que té la fibra i que no deixa interaccionar correctament els dos materials.

Pel que fa al material reforçat amb colza triturada processat per injecció, el resultat obtingut està 20 MPa per sota del PLA sense reforçar. Aquest fet s'explica novament per la superfície de contacte amb les fibres i la menor relació d'aspecte d'aquestes en comparació amb les desfibrades.

Pel que fa als resultats obtinguts a través del premsat, s'observen punts amb valors molt baixos. Els compostos reforçats amb un 30 i un 40% de pasta mecànica, presenten resultats més elevats que en els casos amb la colza triturada. Aquesta relació és directament aplicable amb els casos que s'ha vist prèviament amb injecció. No obstant, en els compostos reforçats amb un 50 i un 60%, és la colza triturada la que presenta valors superiors al reforç desfibrat. Això és directament imputable a les dificultats per obtenir una proveta de qualitat mitjançant premsat a temperatura.

La comparativa amb el cartró-guix és clarament favorable al compost. Tots els resultats són molt superiors als que s'han obtingut al laboratori. Per exemple, el compost reforçat amb un 30% de colza triturada, presenta una resistència unes 15 vegades superior al cartró-guix. El compost amb un 30% de PM de colza presenta una resistència mecànica 20 vegades superior al cartró-guix, aproximadament. Els resultats mecànics del cartró-guix s'han contrastat amb la publicació d'articles referents a l'anàlisi d'aquest material (Villanueva & Lasheras, 1994).

Seguidament s'observa la Figura 58 d'on s'arriben a dades significatives i superiors al mòdul inicial del PLA.

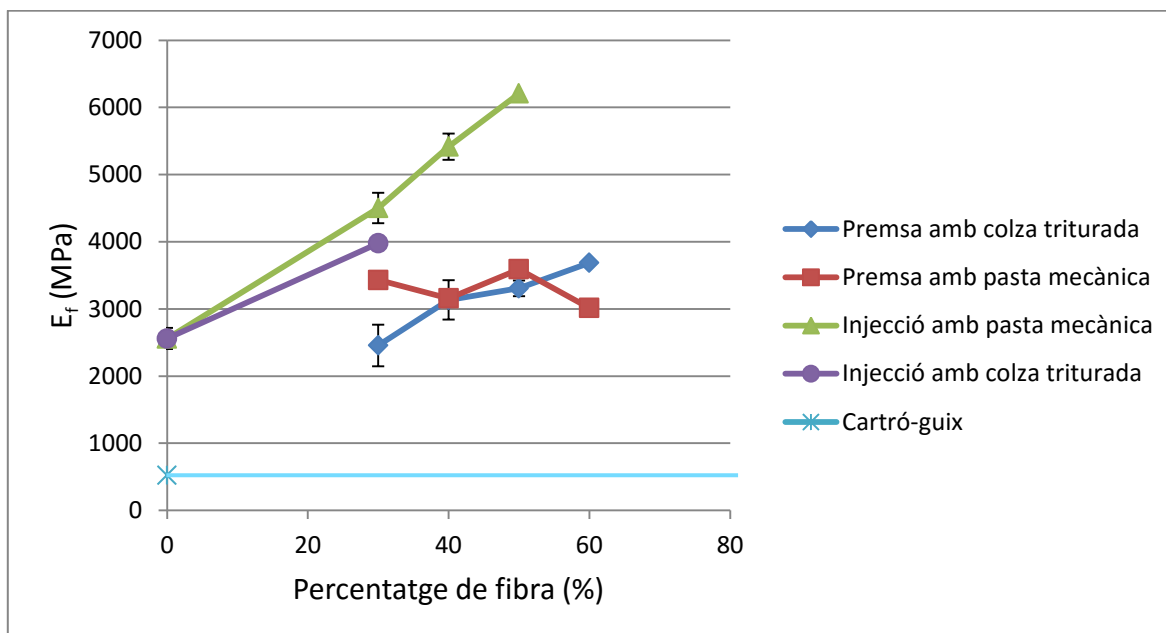


Figura 58: Representació gràfica del mòdul de flexió

Es pot comprovar una evolució lineal en els compostos fabricats a base d'injecció amb pasta mecànica degut a que les característiques de la interfase no afecten a l'aportació de la rigidesa per part del reforç. Els valors de pasta mecànica i colza triturada reforçats al 30% són molt pròxims, però els compostos que incorporen pasta mecànica tenen una rigidesa lleugerament superior, degut a la major superfície de contacte del reforç, tal i com passava a tracció.

Al comparar la rigidesa dels compostos amb la del cartró-guix, es pot veure com el mòdul de flexió dels compostos, com en el cas de la resistència, també és molt superior a aquest. Obtenint-se uns augments del 660% pel que fa al PLA reforçat amb un 30% de colza triturada, i un 760%, pel que fa al que incorpora un 30% de PM.

A través de la Figura 59 es pot veure la gran afectació que té sobre la fragilitat del PLA al afegir-li la fibra.

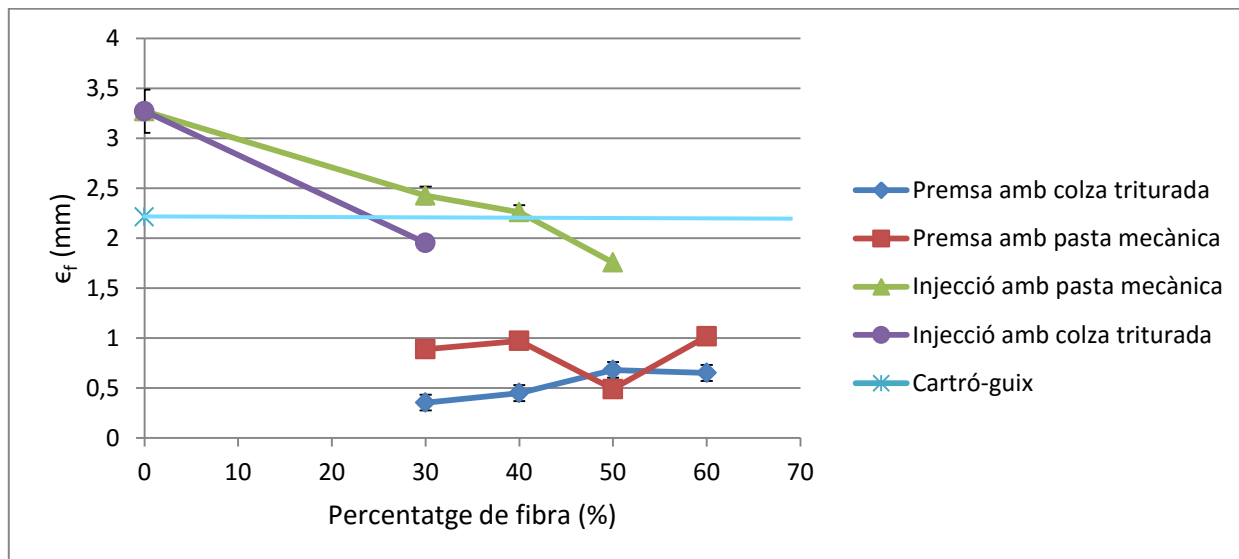


Figura 59: Representació gràfica de la deformació màxima a flexió

Com a la resta de casos, els millors resultats són obtinguts a injecció i pasta mecànica. Les no adequades condicions en la obtenció de provetes mitjançant la premsa deriven a que no s'hagin pogut obtenir relacions lineals i extrapolables entre els seus resultats, tal i com s'ha explicat extensament a tracció.

Com es pot veure a la gràfica, a mesura que s'afegeix fibra al compost, la deformació va disminuint de forma clara. Això es deu novament a les acumulacions de tensions al voltant de la fibra i a l'addició d'un element més fràgil que el polímer que discontinua la matriu termoplàstica.

6.3 Resultats de l'anàlisi per simulació d'elements finits

Aquest anàlisi ha estat realitzat a partir de la impossibilitat de realitzar la comprovació que estipula el Document Bàsic de Seguretat Estructural i Accions en l'Edificació. Es parteix de les dimensions precises d'un panell amb les que s'hagi ideat, per a la realització de la seva funció constructiva.

Per tant, s'ha dibuixat un panell que proporcionés unes dimensions considerables, 2100x1200 mm, subjectat amb cargols perforadors metàl·lics de 1,75 mm de diàmetre amb una separació màxima de 20 cm entre ells. S'ha suposat una càrrega màxima de 4000 N/m² i s'ha mesurat la densitat del material que ha resultat en 1,278 g/cm³.

A la Figura 60 es pot veure la representació del panell:

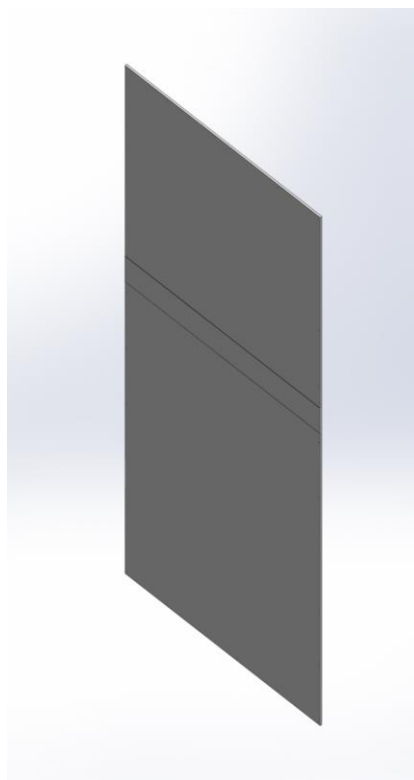


Figura 60: Representació del panell

A partir d'aquí es procedeix a la comprovació de la solidesa del panell i dels elements de fixació a través de la simulació que permet l'aplicació del programa informàtic SolidWorks.

A través d'aquesta simulació, també s'obtenen les característiques modulars o físiques de l'objecte:

Massa: 32,3619 kg
Volum: 0,02532 m³
Densitat: 1278 kg/m³
Pes: 317,147 N

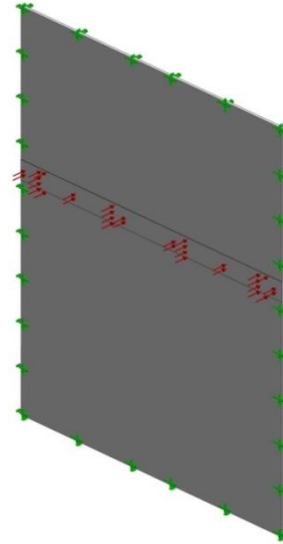


Figura 61: Força aplicada i punts de fixació

Una vegada s'han obtingut les característiques físiques del panell es realitza una primera simulació aplicant els esforços que marca la normativa que haurà de suportar i pels quals haurà d'estar preparat. Per tant s'aplica una força de 4000 N/m² a una alçada de 1,2 metres des del nivell del terra.

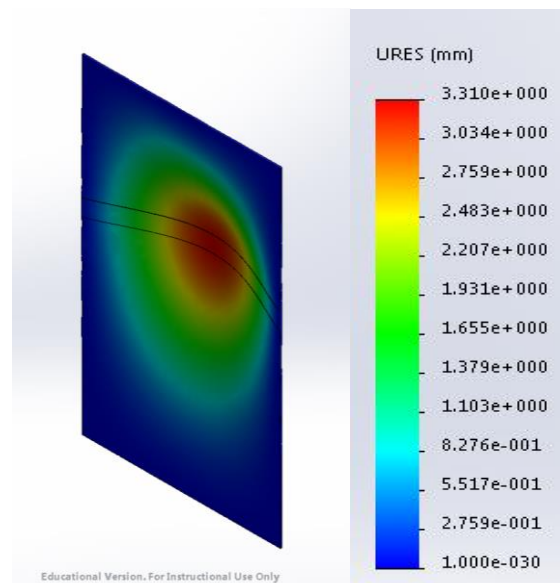


Figura 62: Representació modelada de la deformació del panell

A partir de l'aplicació d'aquesta força distribuïda en l'àrea que queda delimitada per les franges fosques, s'ha obtingut el resultat de deformació que es mostra a la Figura 62. L'escala de colors representa els punts de menor a major deformació segons la tonalitat blavosa a la vermellosa, respectivament.

Amb les condicions d'aplicació que s'ha realitzat aquesta primera simulació, s'ha arribat a aconseguir una deformació de 3,31 mm. Aquesta s'ha assolit a la zona vermellosa que es veu a l'eix central de la peça i està a una altura de 1,2 metres, que correspon al punt d'aplicació de la càrrega segons la normativa.

Un altre aspecte de la simulació a comentar, és la baixa deformació que esdevé en els punts de fixació. És un aspecte molt important a la hora de realitzar el treball necessari en cas de rebre impacte o càrregues durant la seva utilització.

A la Figura 63 s'ofereix una visió del panell en el moment d'aplicació d'aquesta càrrega màxima. Dóna una idea de la dimensió i la forma que poden assolir les curvatures del panell i reafirma el comportament positiu de la peça, a partir de les seves característiques mecàniques i dels punts de fixació, en aquests casos.

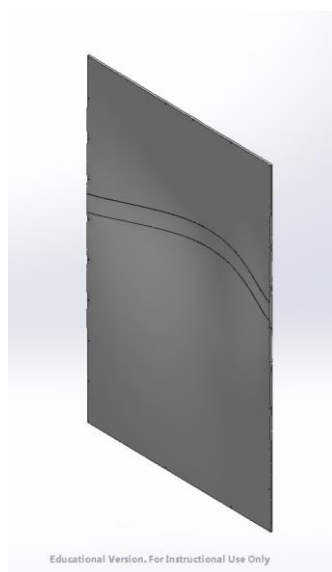


Figura 63: Representació realista de la deformació

El programa informàtic ofereix la localització dels punts febles de l'element dibuixat segons la força d'aplicació. Planteja un anàlisi de seguretat, en que indica el valor d'un coeficient, que significarà el nivell de seguretat de la peça. A la Figura 64 es representa aquest resultat.

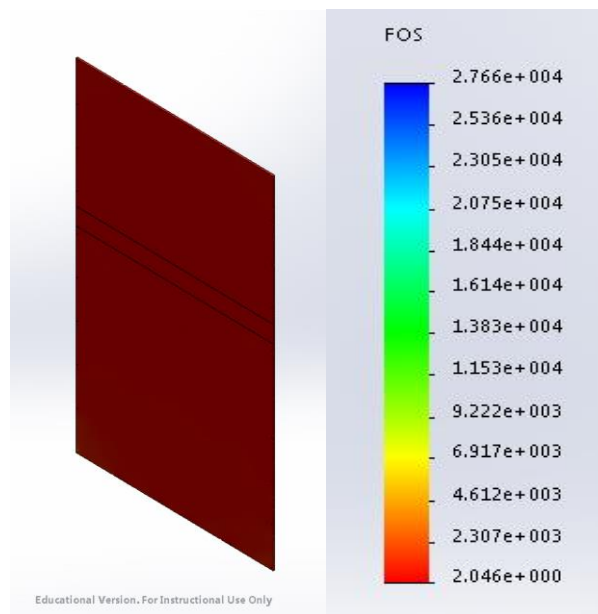


Figura 64: Representació del coeficient de seguretat

La tonalitat vermellosa del panell indica que en cap punt es pot arribar a témer per la integritat de l'element, ja que cap punt presenta un valor inferior a 2.

A més a més, proporciona un valor de seguretat de 2,05. Aquest valor indica que aquest element és capaç de suportar els esforços aplicats amb una millorança corresponent a aquest valor de seguretat.

Tècnicament, no s'aconsella treballar per valors inferiors a aquest interval de seguretat quan es simula mitjançant elements finits, per les possibles desviacions que es puguin trobar respecte els valors reals. Llavors, és convenient no sobrepassar mai el límit que suposaria el doble de les seves prestacions.

Pensant en les aplicacions que pot tenir aquest element al mercat, s'ha realitzat una simulació a partir d'una situació real i molt comuna a que es veuria sotmès aquest panell. En aquest cas s'ha simulat l'enclavament d'un quadre. Tal i com mostra la Figura 65 es simula el clavament d'un tac, com a element de suport d'un quadre com a element decoratiu.

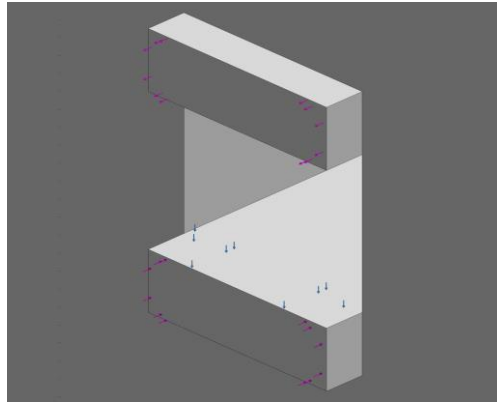


Figura 65: Simulació de fixació en paret

Una de les equivocacions habituals en aquest tipus de simulació és el punt d'aplicació de la força en l'element vertical. Primerament es va aplicar just al centre del gruix del panell, en forma vertical. Això repercutia en resultats molt elevats, fins al punt de poder suportar càrregues inversemblants.

Llavors es va crear aquesta estructura volant (Figura 65) que acaba simbolitzant el punt d'enclavament d'un ganxo per a la sustentació d'un quadre o qualsevol element similar. En aquest cas s'ha tingut en compte una força de 60 N, que suposen uns 6 kg de massa, aproximadament.

A la Figura 66 es representa els valors de deformació produïts per l'enclavament al panell d'un element com el que s'ha mencionat en condicions normals d'ús.

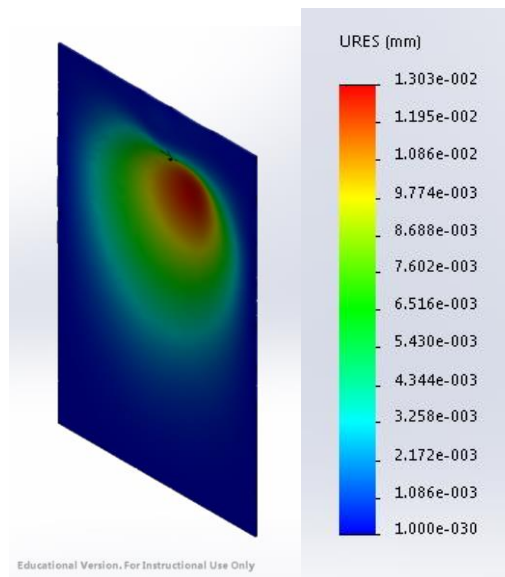


Figura 66: Representació de la simulació de l'enclavament d'un quadre

En el valor màxim de deformació, representat en vermell, s'assoleixen 0,013 mm, valor totalment inapreciable per l'ull humà i irrellevant pel que fa a la consistència del panell. A la Figura 67, es representa la deformació observada a l'element. Es pot veure que la deformació no és apreciable.

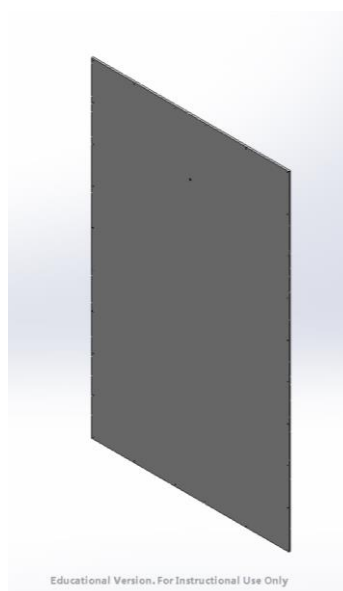


Figura 67: Simulació realista del panell amb el quadre penjat

En aquest cas, amb un quadre de 6 kg penjat d'un element de separació vertical, s'obté un coeficient de seguretat 4,86 vegades superior al pes de l'element. Posteriorment, s'ha augmentat

el pes d'aquest quadre fins a disminuir el coeficient de seguretat a valors pròxims a 2. Ha estat necessari aplicar una força corresponent a una massa de 29 kg per disminuir el coeficient de seguretat a valors tant baixos.

La totalitat de resultats que s'han extret d'aquesta simulació fan pensar en un producte amb bones prestacions mecàniques, del qual se n'han extret conclusions molt positives i que pot arribar-se a plantejar com a un element de substitució de productes actuals de mercat.

6.4 Resultats a impacte

S'han analitzat les propietats mecàniques a impacte a través de la metodologia detallada pel mètode Charpy, amb provetes amb i sense entalla. S'han analitzat deu provetes per cada material, de les quals cinc tenien entalla.

La següent taula (Taula 6) conté els valors de resiliència obtinguts a impacte amb els resultats amb entalla i sense. Aquesta s'entén com l'energia necessària per fracturar la proveta, dividida per la secció de la proveta.

Taula 6: Taula de resultats assaig Charpy

Material:	Charpy (kJ/m²)	Charpy Entalla(kJ/m²)	Charpy (kJ/m²)	Charpy Entalla(kJ/m²)
Colza	Colza triturada		Pasta Mecànica	
Materials per premsat				
30%	1,116 (0,064)	1,224 (0,107)	1,492 (0,013)	1,452 (0,034)
40%	2,180 (0,058)	1,325 (0,135)	2,333 (0,153)	1,473 (0,165)
50%	0,992 (0,046)	1,139 (0,213)	1,056 (0,034)	1,353 (0,167)
60%	1,408 (0,032)	0,943 (0,073)	0,800 (0,003)	0,952 (0,018)
Materials per injecció				
30%	9,425 (0,262)	1,824 (0,089)	11,603 (0,541)	-
40%	-	-	9,628 (0,332)	2,744 (0,189)
50%	-	-	6,305 (0,507)	2,6805 (0,565)
PLA	Charpy (kJ/m²): 25,792		Charpy amb Entalla(kJ/m²): 2,820	

L'energia absorbida per les provetes entallades es correspon a l'energia necessària per propagar la fractura a la peça. En canvi, les provetes no entallades absorbeixen energia per crear una fractura a més de propagar-la.

A la Figura 68 es torna a veure com els resultats dels materials injectats són molt superiors als obtinguts per premsat i que de l'ús de pasta mecànica com a reforç en deriven resultats més alts que a l'utilitzar colza triturada.

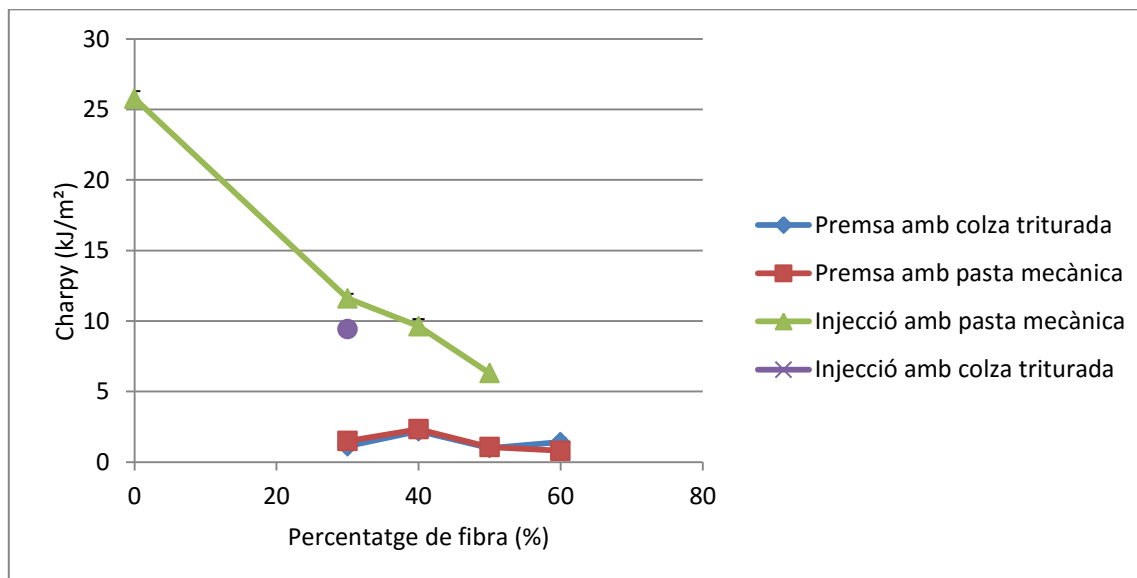


Figura 68: Representació gràfica dels resultats del mètode Charpy

Un altre aspecte a destacar és el descens del valor de la resiliència a l'afegir fibra a la matriu. La resiliència del PLA és de 25 kJ/m². L'addició de fins un 50% de pasta mecànica de colza li provoca una disminució de la seva resiliència a valors de 6 kJ/m². Conseqüentment, es pot afirmar que l'augment de fibra a l'interior del compost penalitza clarament la resiliència, facilitant la fractura del material.

Pel que fa els valors de provetes obtingudes per premsat, inicialment es podria deduir una lleugera millora a l'augmentar el contingut de fibra, però és atribuïble a la baixa qualitat de les provetes obtingudes per aquest processament.

A la Figura 69 es poden observar els resultats de l'assaig a impacte Charpy amb provetes entallades. Els resultats mostren de nou un millor comportament dels materials fabricats amb pasta mecànica i les apreciables diferències dels materials premsats, respecte els materials injectats.

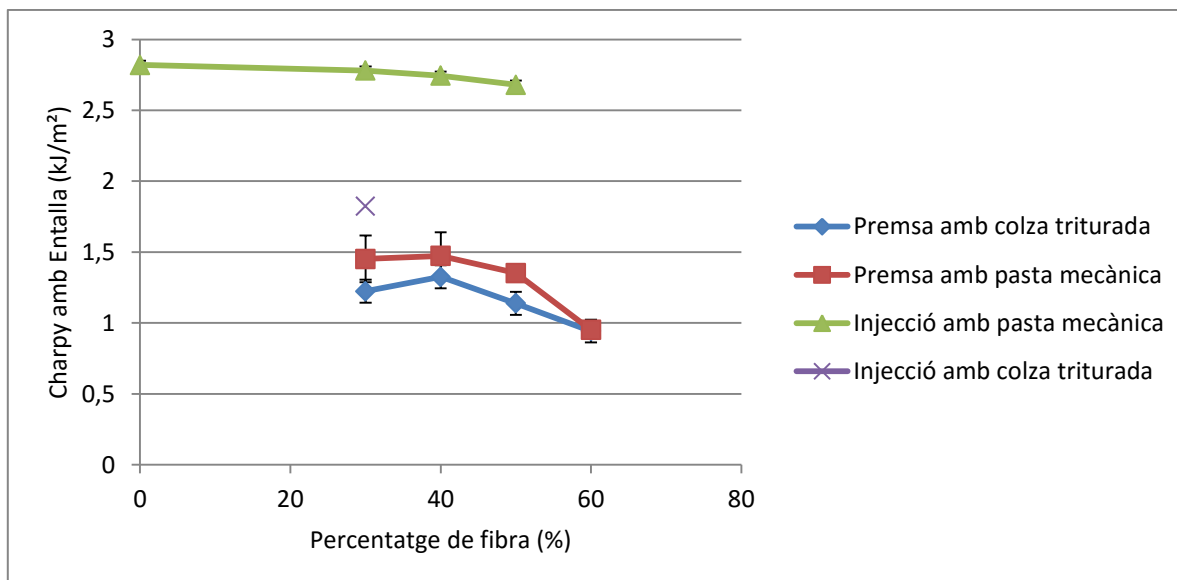


Figura 69: Representació gràfica dels resultats del mètode Charpy amb Entalla

Tot i que s'hauria de realitzar un estudi més profund, emprant sistemes microscòpics per veure la morfologia i la textura de la superfície de fractura de les provetes trencades, es creu que els millors resultats en pasta mecànica venen donats per la major rugositat del material. A l'estar desfibrada, la major superfície del reforç, repercuteix en una major rugositat del material obligant, al tall que es realitza, a fer un recorregut més llarg i sinuós que amb colza triturada (Sailaja, Girija, Madras, & Balasubramanian, 2008).

Generalment, l'addició d'un reforç lignocel·lulòsic, provoca un augment de la resistència a la propagació de la fractura, degut a l'augment de la superfície de fractura comentada anteriorment. No obstant, això únicament succeeix en el cas de que els materials compostos presentin una bona interfase (Franco-Marquès et al., 2011).

Els resultats obtinguts per premsat, novament són poc valorables degut a les particularitats en l'obtenció de les provetes.

La resiliència de provetes entallades es correspon amb l'energia necessària per propagar una fractura, ja que l'entalla fa que la energia necessària per originar el trencament sigui molt baixa. En canvi, en provetes sense entalla, el resultat es correspon tant amb l'inici de la fractura com amb la

propagació d'aquesta. Per tant, es pot dir que la diferència entre aquests dos valors, es correspon amb l'energia necessària per produir una fractura en la proveta.

A la Taula 7 es representen el resultats obtinguts de la resta entre els resultats de Charpy amb Entalla menys els de Charpy sense entalla. Com s'ha comentat anteriorment, aquesta operació permet saber el treball necessari per a la generació de la fractura.

Taula 7: Resultats del treball necessari per generar la fractura en les provetes

Fabricació	Premsat amb colza triturada				Premsat amb pasta mecànica			
% Fibra	30	40	50	60	30	40	50	60
CE-C (kJ/m²)	-0,108	0,855	-0,148	0,465	0,040	0,859	-0,296	-0,152
Fabricació	Injecció amb colza triturada				Premsat amb pasta mecànica			
% Fibra	30				30	40	50	
CE-C (kJ/m²)	7,600				8,823	6,884	3,624	

Aquesta representació mostra, de forma molt clara, com afecta el mètode de fabricació de les provetes. Les provetes obtingudes per premsat presenten valors negatius. Aquesta inverteixió justifica la deficient qualitat de les provetes, segurament amb discontinuïtats en el seu interior, que a simple vista s'apreciaven i que han reduït dràsticament l'energia necessària per generar una fractura. Això explica el menor comportament mecànic d'aquestes provetes a tracció i flexió i constata que el procés d'obtenció de provetes, mitjançant premsat i tall làser, no és adient per aquests materials.

Es pot veure com l'addició de quantitats creixents de fibra, repercuteixen en una disminució d'energia necessària per originar una fractura.

6.5 Termogravimetria analítica

S'ha realitzat un estudi d'anàlisi de la termogravimetria (TGA) dels materials compostos, així com de les fibres amb que s'han reforçat, per veure la pèrdua de pes en funció de la temperatura. A la Figura 70 es representen els resultats d'aquesta pèrdua. Un dels propòsits d'aquest assaig és preveure el seu comportament al foc, on s'assoleixen temperatures molt elevades. Per tant, aquest assaig s'ha fet en atmosfera d'aire perquè és més comparable a les condicions ambientals que envolten l'entorn.

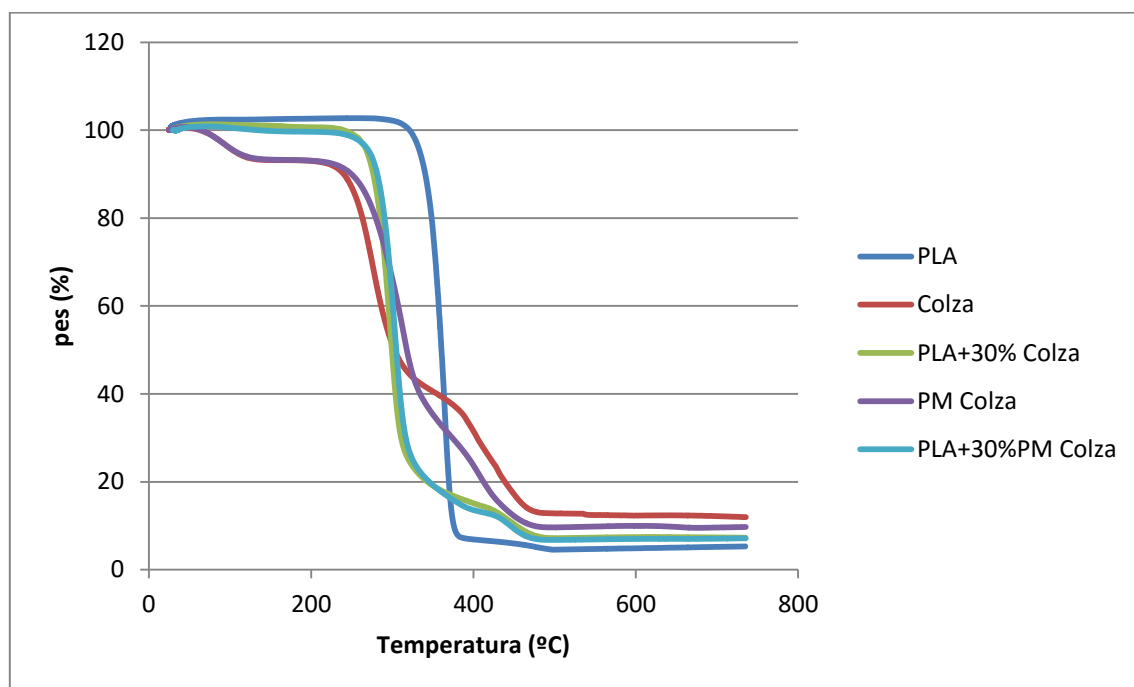


Figura 70: Representació gràfica dels resultats del TGA

Si s'analitzen les mostres de fibres soles (colza triturada i pasta mecànica, representades de color vermell i lila, respectivament), s'observa un primer salt termogravimètric que es produeix entre els 50 i els 120°C, degut a la humitat que conté la fibra.

Posteriorment, s'observen dos caigudes de pes a 210 i als 300°C acoblades entre elles. El primer es pensa que pugui ser degut a la degradació de la lignina, i el segon a la degradació de les hemicel·luloses i cel·luloses.

Un altre aspecte a observar és el pes del residu sec. Aquest pes és el que s'obté de la massa que queda després d'haver assolit els 750°C. Com es pot comprovar, ambdós reforços presenten majors quantitats de residu sec que la matriu. Això es relaciona amb el contingut de material inorgànic en la fibra. En cas d'incendi, la major presència de càrrega inorgànica, suposarà una major generació de cendres, que dificultaran el degoteig de material cremant. A més, que hi hagi

menys material susceptible a cremar, disminueix la quantitat d'energia que s'emet durant la combustió, propagant-la. També s'observa que a la colza triturada hi ha més quantitat de fase inorgànica que la PM. Per tant, tot i que no seria l'esperable, probablement durant el desfibrat, hi ha hagut certa eliminació d'extractius, alterant lleugerament així la composició de la fibra.

La degradació del PLA es pot observar en la gràfica blava. Es pot veure que el PLA augmenta de pes un 3%, entre els 30 i 260°C. Això es deu a que a l'atmosfera hi ha elements oxidants, tals com l'oxigen. Per tant, passarà a formar part de les molècules de PLA al oxidar-lo. Si aquestes oxidacions no provoquen la generació de molècules volàtils, la mesura del pes de mostra augmentarà, tal i com es veu en la Figura 70.

Si es compara la temperatura de degradació del PLA sol amb la dels compostos, es denota una disminució d'aquesta quan s'afegeix un 30% de fibra en el compost. En estudis anteriors, s'ha comprovat que la presència de fibres lignocel·lulòsiques, promou la degradació del polímer (Givica, 2016).

L'explicació es pot donar a que alguns compostos originats durant la degradació de la cel·lulosa degraden les cadenes de PLA (Petinakis et al., 2010).

Sorprèn que la temperatura de degradació amb atmosfera d'oxigen sigui tant similar a l'atmosfera de nitrogen (Givica, 2016).

6.6 Burning Test

Per tal de tindre una idea aproximada sobre el comportament d'aquests materials al foc, s'ha procedit a un assaig de comportament a la flama "burning test". En edificació, el comportament enfront el foc és una característica important. A partir del color de la flama i del fum, del temps en que la flama triga en calar al material, la visualització del seu apagament, el degoteig de la peça i el temps que tarda en cremar-se tota la proveta, s'ha realitzat la Taula 8 que mostra els resultats.

Taula 8: Representació dels resultats del Burning test

Material	Temps	Flama pren	Color flama	Fum	Goteja	Flama s'apaga
PLA	5 seg	SÍ	Blava	Blanc	SÍ	NO
	5 seg	SÍ	Blava	Blanc	SÍ	NO
30%	5 seg	SÍ	Taronja	Blanc	NO	NO
	5 seg	SÍ	Taronja	Blanc	NO	NO
40%	10 seg	SÍ	Taronja	Blanc	NO	NO
	10 seg	SÍ	Taronja	Blanc	NO	NO
50%	10 seg	SÍ	Taronja	Blanc	NO	NO
	10 seg	SÍ	Taronja	Blanc	NO	NO

Una vegada s'ha aconseguit que la flama prengué en la proveta de PLA després de cinc segons d'aplicació, aquesta era blava i emetia un fum blanc. El PLA no autoextingeix la flama i al fondre, gotejava PLA fos cremant. Aquest últim fet, és especialment rellevant, ja que la flama es pot propagar fàcilment d'aquesta forma.

L'addició de fibra ha aportat aspectes positius, ja que ha actuat com a retardant en la inflamació del compost. Han estat necessaris 10 segons perquè la flama calés en compostos reforçats amb un 40 i un 50% de colza.

Un altre punt positiu de la incorporació de fibra al compost, ha estat l'impediment del degoteig del material, per la incorporació d'un material amb major quantitat de fase inorgànica i sense capacitat de fluir. Aquest punt és molt rellevant a la hora de disminuir la tendència a propagar la flama en cas d'incendi.

Davant el cartró-guix és un material innegociable, pel fet que suposa el comportament d'aquest davant del foc. Utilitzat en sistemes com a retardant de l'acció del foc a l'estructura de l'edifici, un sol panell pot arribar a proporcionar una EI-90, grau que fa molt difícil d'aconseguir amb el material compost estudiat ("Soluciones en Protección Pasiva," 2015). Això és degut al gran contingut de matèria inorgànica del cartró-guix.

El Codi Tècnic de l'Edificació, en el seu Document Bàsic de Seguretat en cas d'Incendi, permet fer una comparativa més ajustada a la realitat i veure la magnitud que agafa la superació del cartró-guix envers el compost estudiat en el projecte.

A partir de la fórmula 7, es permet aproximar un temps de carbonatació del material que actua com a revestiment d'algun element:

$$t_{ch} = 2,8 \cdot h_p - 14 \quad (7)$$

on “ t_{ch} ” és el temps de combustió expressat en minuts i “ h_p ” el gruix de la placa de guix, a exposició del foc, en mm.

Això demostra que per a una placa com la que s'ha utilitzat per realitzar els assajos, s'estaria parlant d'un temps d'entre 14 i 21 minuts.

6.7 Estudi de la conductivitat tèrmica

A la Figura 71 es representen els resultats de la conductivitat tèrmica obtinguts segons el tipus de material i la seva composició.

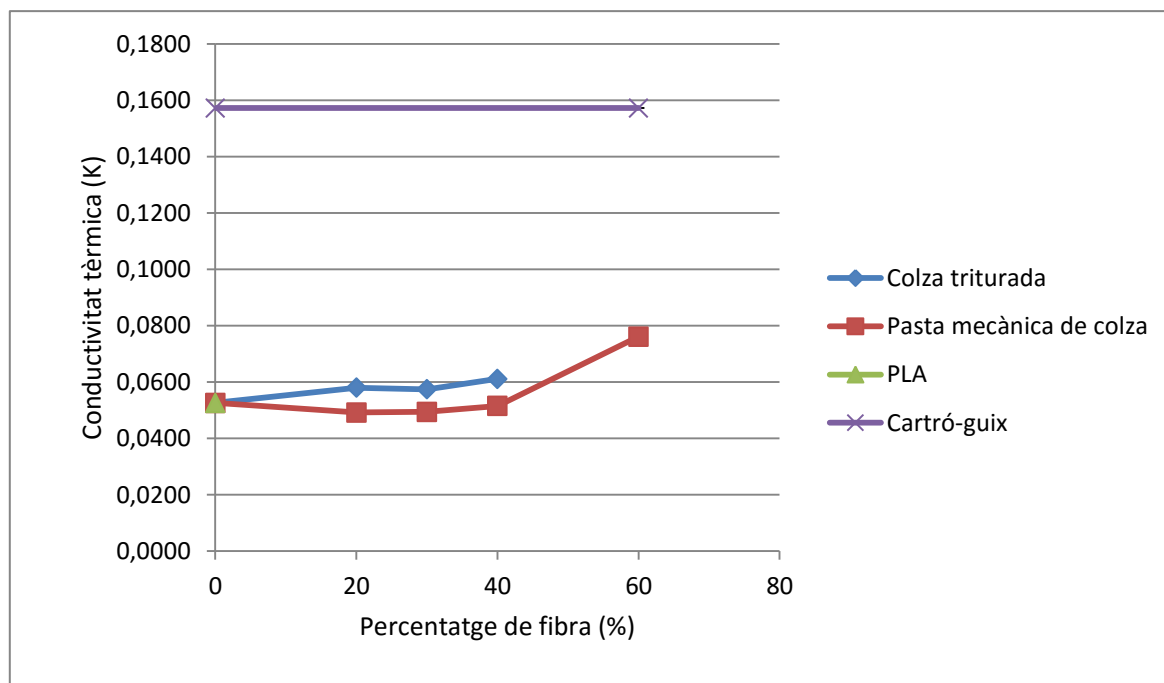


Figura 71: Representació del resultats de conductivitat tèrmica

Inicialment, es veu un clar avantatge del comportament del PLA respecte al cartró-guix, s'aconsegueix una millora de fins a 3 vegades superior. Això podria suposar la reducció de l'ús de materials aïllants i correlativament la reducció del gruix de les parets.

Aquests compostos han estat produïts a través de premsat perquè les dimensions requerides de les provetes eren superiors a les que es poden obtenir mitjançant injecció, amb la maquinària que es disposa. Aquesta podria ser la causa de no obtenir una evolució lineal dels resultats a l'augmentar el contingut de fibra.

S'ha comprovat que l'augment de la conductivitat tèrmica va molt lligat a la presència de lumen a la fibra. El lumen és l'espai buit que queda a l'interior de les fibres. Aquests espais buits, disminueixen el valor de la conductivitat tèrmica, per això l'addició de fibres lignocel·lulòsiques, que seran compactades a pressions elevades, tenen una conductivitat més elevada que la matriu. Les altes pressions, disminueixen el diàmetre del lumen dràsticament (Granda et al., 2016).

7 Comparativa de resultats

Després de tota la recol·lecció dels resultats de les proves realitzades a les diferents composicions de materials, es realitza una comparativa amb els resultats de la matriu de PLA per veure com evoluciona l'addició de fibra en el compost.

També es fa la comparativa amb el producte que es vol arribar a substituir al mercat de la construcció. A part de les aplicacions que s'han observat prèviament, s'ha focalitzat la seva comparació amb els panells de cartró-guix, ja que és uns dels sistemes més utilitzats a dia d'avui.

Dels compostos presentats en el treball, s'ha escollit el que s'ha fabricat a base d'injecció amb pasta mecànica, ja que és del que se n'obtenen millors resultats.

Taula 9: Comparativa de materials

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

Tal i com es pot comprovar a la Taula 9 els resultats mecànics i tèrmics, són totalment beneficiosos pel que fa al comportament del compost envers el producte que es vol arribar a substituir en el mercat.

Com mostren els resultats, és evident que la matriu de PLA juga un paper molt important, pel que fa a prestacions, ja que s'observa que moltes de les propietats que s'estudien, empitjoren a l'afegir fibra de colza.

La gran mancança del compost és el comportament contra el foc. Com es pot veure a la columna corresponent, el Burning Test, no és apte per a ser utilitzat com a element constructiu.

Referent al tema del comportament a la flama, existeixen additius que la seva composició ajuda a actuar com a retardant contra aquesta. En estudis s'han arribat a observar resultats molt positius en aquest aspecte (Zhang et al., 2016).

8 Conclusions

En aquest treball s'han fabricat compostos de fusta plàstica a través d'una matriu de PLA i fibra de colza, reforçant la matriu amb continguts del 30 al 60% de fibra.

En un primer moment s'ha intentat obtenir provetes mitjançant injecció. Ha estat impossible la obtenció de provetes amb un percentatge superior al 30% per materials reforçats amb colza triturada. En canvi, quan s'ha utilitzat colza desfibrada com a reforç, ha estat possible injectar provetes de materials reforçats fins a un 50% de fibra.

Davant d'aquest inconvenient, s'ha procedit a transformar el compost a través de premsat. D'aquí s'han obtingut provetes que han pogut ser assajades.

S'han analitzat les propietats mecàniques, de comportament a la flama i l'aïllament tèrmic de les provetes fabricades a través dels dos mètodes (injecció i premsat).

Amb les propietats a tracció es demostra que:

- L'addició de reforços lignocel·lulòsics no provoca un augment de la resistència mecànica del material degut a la mala interfase entre el reforç i la matriu plàstica promoguda per la presència de lignina.
- De les provetes obtingudes a injecció se n'obtenen millors prestacions que les de premsat perquè la composició de la superfície de la proveta és més regular.
- Amb pasta mecànica s'obtenen millors resultats que amb colza triturada, per la major superfície de contacte entre el reforç i el PLA.
- El sistema de premsat i posterior polit de les provetes, no és favorable a la producció d'aquestes provetes, ja que no arriben a la mesura mínima de la rigidesa per ser avaluats.
- La rigidesa no és depenent de les característiques de la interfase perquè es comprova un augment lineal a l'augmentar el contingut de pasta mecànica de colza.
- L'addició de reforços lignocel·lulòsics a una matriu provoca la disminució de la deformabilitat del material. Això és degut a que s'està afegint un element amb menor capacitat de deformació i que la continuïtat de la matriu de PLA es veu afectada notòriament.

Amb les propietats a flexió es demostra que:

- Les prestacions que ofereix el nou compost, són altament superiors a les que ofereix el cartró-guix estudiat en el treball.
- L'evolució no lineal que s'obté és degut a que la lignina superficial de la fibra interfereix en la transmissió d'esforços del PLA a les fibres de cel·lulosa.
- La rigidesa dels compostos fabricats per injecció és superior a la que ofereix el PLA sense reforçar i el cartró-guix.

Amb la simulació per anàlisi d'elements finits es demostra que:

- Compleix les exigències mínimes que marca el Codi Tècnic de l'Edificació.
- Es pot col·locar un punt de penjador que aguantaria una càrrega d'entre els 20 i 30 kg. Per tant les prestacions mecàniques d'aquest material el farien apte per aquest tipus d'aplicacions.

Amb els resultats a impacte es demostra que:

- El descens del valor de la resiliència, al afegir fibra a la matriu, causa l'augment de la fractura del material.
- Els resultats dels materials injectats són molt superiors als obtinguts per premsat en provetes sense entalla. Això és degut a que el procés d'injecció permet obtenir un material amb una superfície més íntegra que el premsat-tall làser-rectificat.
- De l'ús de pasta mecànica, com a reforç, en deriven resultats més alts que a l'utilitzar colza triturada. Aquest fet es relaciona amb la major superfície de contacte entre el PLA i el reforç. Generant, probablement, una fractura més rugosa que el PLA reforçat amb colza triturada.
- L'addició de quantitats creixents de fibra repercuteix en una disminució de l'energia necessària per originar una fractura. Això s'explica per la disminució del component amb major tenacitat (el PLA).
- El procés d'obtenció de provetes mitjançant premsat i tall làser no és adient per aquests materials. La energia necessària per generar la proveta era molt pròxima a zero. Per tant, la superfície de les provetes és de baixa qualitat, repercutint en les propietats mecàniques del material.

Amb l'estudi termogravimètric es demostra que:

- El PLA augmenta el seu pes un 3% abans de la degradació degut a la incorporació d'àtoms d'oxigen a l'oxidar-se, ja que aquest assaig, s'ha realitzat en atmosfera d'aire.
- La degradació de les fibres succeeix en dues etapes corresponents a la degradació de la lignina primerament, i a la de les hemicel·luloses a posteriori.
- Les fibres lignocel·lulòsiques deixen una major quantitat de residu sec a 750°C que el PLA. Això és degut a la presència de matèria inorgànica. La presència d'aquesta, provoca una disminució de la quantitat d'energia alliberada durant un incendi.
- La degradació del PLA es veu afectada negativament al ser mesclat amb fibres lignocel·lulòsiques ja que aquestes promouen la degradació de les molècules de PLA. Passant aquesta dels 300°C als 238°C.

Amb el Burning Test es demostra que:

- Els compostos formats a partir de PLA i fibra natural tenen un comportament en front el foc negatiu per a ser utilitzat en construcció, especialment al ser comparats amb el cartró-guix.
- L'addició de fibra natural ha estat positiu, ja que ha retardat el temps de la inflamació del compost i ha impedit el degoteig de material inflammat. Això es deu a que les fibres no poden fluir i, a més, presenten certa quantitat de material inorgànic. No obstant, seria necessari de l'ús d'additius retardants a la flama per augmentar la seva resistència.

Amb l'anàlisi de la conductivitat tèrmica es demostra que:

- Els valors del PLA en general són més baixos que els dels materials compostos. Això és degut a l'addició d'un element amb una major conductivitat tèrmica. Les fibres, quan són compactades mitjançant processos que apliquen pressió, pateixen una disminució o eliminació del seu lumen. Aquest fet provoca un augment de la seva conductivitat tèrmica, passant a ser superior a la de la matriu plàstica que estan reforçant.
- En comparació amb el cartró-guix, el compost biodegradable de PLA i colza ofereix millors prestacions com a aïllament tèrmic.

9 Futures línies d'investigació

En aquest projecte s'han estudiat les propietats mecàniques i s'ha simulat la seva posta en obra, s'ha determinat el comportament a la flama i l'aïllament tèrmic dels compostos. A partir dels resultats obtinguts d'aquestes línies d'investigació, es pot considerar un material amb aplicacions vàlides i resultants en el món de la construcció.

No obstant, un dels objectius del projecte era la determinació de les propietats acústiques. Degut a problemes de temporització, no ha estat possible realitzar aquests assajos a temps, ja que el laboratori encarregat d'analitzar aquesta propietat, s'ha retardat. Cal, per tant, analitzar els resultats d'aquests assajos per tal de determinar el seu ús en aquestes aplicacions.

En treballs similars, es té constància del bon comportament a l'absorció de les ones sonores que aporta l'addició de fibres naturals a matrius plàstiques com la del polipropilè (Reixach et al., 2015).

Per altra banda, per tal d'obtenir un panell que permeti ser utilitzat com a separació vertical, cal estudiar les quatre línies de recerca que es disposen a continuació, per determinar si aquest producte totalment biodegradable és utilitzable en construcció.

Comportament acústic del material

Donada la importància d'aquesta propietat en elements constructius de distribucions interiors és necessari el seu estudi i també determinar les característiques acústiques té.

Millorar el comportament al foc

Necessàriament cal millorar aquesta prestació per tal d'aconseguir el compliment de la Normativa vigent.

Disseny del sistema constructiu per a la posta a obra

Cal dissenyar la tipologia i modulació de les plaques, sistema estructural de suport i fixacions o bé si es tractarà d'una placa autoportant, les juntes d'unió entre plaques, etc.

Estudiar l'adherència dels possibles revestiments d'acabat

D'acord amb el procés de fabricació i obtenció d'un acabat uniforme i decoratiu, serà necessari aplicar-hi diferents productes com serien pintures o papers d'acabat. S'ha estudiat la compatibilitat d'aquests materials amb les plaques obtingudes d'aquest compost.

10 Normativa d'aplicació

UNE-EN ISO 527-1:2012 Plásticos. Determinación de las propiedades en tracción. Parte 1: principios generales

UNE-EN ISO 527-2:2012 Plásticos. Determinación de las propiedades en tracción. Parte 2: Condiciones de ensayo de plásticos para moldeo y extrusión

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

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 impacto Charpy. Parte 2: ensayo de impacto instrumentado

UNE-EN ISO 11358-1:2015 Plásticos. Termogravimetría (TG) de polímeros. Parte 1: principios generales

UNE-EN ISO 11358-2:2015 Plásticos. Termogravimetría (TG) de polímeros. Parte 2: determinación de la energía de activación

UNE-EN ISO 9772:2012 Plásticos. Determinación de las características de combustión horizontal de pequeñas muestras sometidas a una pequeña llama

UNE-EN ISO 9773: 1998 Plásticos. Determinación del comportamiento al fuego de probetas verticales delgadas y flexibles en contacto con una llama pequeña como fuente de ignición

UNE-EN 102043:2013 *Montaje de los sistemas constructivos con placa de yeso laminado (PYL). Tabiques, trasdosados y techos. Definiciones, aplicaciones y recomendaciones*

UNE-EN 15254-2:2010 *Extensión de la aplicación de los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia al fuego. Paredes no portantes. Parte 2: Tabiques de fábrica y de paneles de yeso*

UNE-EN 13501-2:2009+A1:2010 *Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación. Parte 2: Clasificación a partir de datos obtenidos de los ensayos de resistencia al fuego excluidas las instalaciones de ventilación*

Código Técnico de la Edificación – Documento Básico de Seguridad Estructural y Acciones en la Edificación

Código Técnico de la Edificación – Documento Básico de Seguridad en caso de incendio

11 Bibliografia

- (FOCITEC), A. para el F. de la C. y de la T. (2012). Revista de plásticos modernos. Retrieved from <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso11-12/Gema/envases-y-embalajes/pagina207.html>
- Agarre PLADUR. (2016). Retrieved from <http://www.archiexpo.es/prod/rotho-blaas/product-60438-1576082.html>
- Agro Salvi. (2014). Retrieved from <http://www.agrosalvi.com/aspectes-tecnics-del-conreu-de-la-colza-7/>
- Atefuer. (2011). Retrieved from <http://www.atefuer.es/tabique-pladur-en-canarias/>
- Baró, M., Orriols, G., Pi, F., Pintó, R., & Suriñach, S. (1997). *Tècniques experimentals en física*. Barcelona: Barcelona, Servei de publicació de la Universitat Autònoma de.
- Battegazzore, D., Bocchini, S., & Frache, A. (2011). Crystallization kinetics of poly(lactic acid)-talc composites. *Express Polymer Letters*, 5(10), 849–858. <http://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2011.84>
- Cerámicas Sampedro. (2012). Retrieved from http://www.ceramicasampedro.com/productos/copy2_of_ladrillos.htm
- Cristalerías. (2011). Retrieved from <https://www.lacristaleriadebarcelona.es/cristaleria/mamparas-de-oficina>
- DC Paneles Hormigón. (2005). Retrieved from <https://arquimaterials.wordpress.com/category/metalicos/>
- Donaldson, K., & Tran, C. L. (2004). An introduction to the short-term toxicology of respirable industrial fibres. *Mutation Research-Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 553(1-2), 5–9. <http://doi.org/10.1016/j.mrfmmm.2004.06.011>
- Ferratges. (2016). Retrieved from <http://www.staff-equipa2.com/cabinas.php>
- Franco-Marquès, E., Méndez, J. A., Pèlach, M. A., Vilaseca, F., Bayer, J., & Mutjé, P. (2011). Influence of coupling agents in the preparation of polypropylene composites reinforced with recycled fibers. *Chemical Engineering Journal*, 166(3), 1170–1178. <http://doi.org/10.1016/j.cej.2010.12.031>
- García, M. J. M. (2014). SITUACION MUNDIAL DEL SECTOR DE LA COLZA 2013/14. Retrieved from <http://www.agrodigital.com/Documentos/colza201314.pdf>

- Givica, S. (2016). *Estudi de les interfases dels materials compostos formats per PLA amb reforços de fibres o filaments naturals*. University of Girona.
- 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://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.03.017>
- Greenberg, M. I., Waksman, J., & Curtis, J. (2007). Silicosis: A review. *Dm Disease-a-Month*, 53(8), 394–416. <http://doi.org/10.1016/j.disamonth.2007.09.020>
- Guerra Pérez, F., & Vallejo Martín, H. (2009). Ácido poliláctico. Retrieved from [http://www.eis.uva.es/~macromol/curso08-09/pla/Pag web/acido polilactico.html](http://www.eis.uva.es/~macromol/curso08-09/pla/Pag%20web/acido%20polilactico.html)
- 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://doi.org/10.1016/j.compscitech.2005.10.015>
- 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://doi.org/10.1016/j.compscitech.2007.06.022>
- Hull, D. (2003). *Materiales Compuestos* (Editorial).
- Hull, D., & Clyne, T. W. (1987). *An introduction to Composite Materials*.
- Jiménez, A. M., Espinach, F. X., Granda, L. A., Delgado-Aguilar, M., Quintana, G., Fullana-i-Palmer, P., & Mutjé, P. (2016). Tensile Strength Assessment of Injection-Molded High Yield Sugarcane Bagasse-Reinforced Polypropylene. *Bioresources.com*, 11(3), 6346–6361.
- Lavabos polideportivo. (2015). Retrieved from <http://www.revistagranhotel.com/calidad-mobelmol-tambien-en-las-escuelas/>
- Mariano. (2015). Materiales compuestos. Retrieved from <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.es/2011/07/materiales-compuestos.html>
- Michaeli, W., & Wegener, M. (1989). *Tecnología de los composites/plásticos reforzados*.
- Oliveras, D. (2015). *Fabricació i caracterització de materials compostos totalment biodegradables: El cas del PLA i les fibres de pi blanquejades*.

Oliver-Ortega, H., Granda, L. A., Espinach, F. X., Mendez, J. A., Julian, F., & Mutjé, P. (2016).

Tensile properties and micromechanical analysis of stone groundwood from softwood reinforced bio-based polyamide11 composites. *Composites Science and Technology*, 132, 123–130. <http://doi.org/10.1016/j.compscitech.2016.07.004>

Panells resines fenòliques. (2009). Retrieved from

http://www.mampar.es/cat/Cabinas_FenolicasMem.html

Pared bloques hormigón. (2009). Retrieved from <http://www.miconstruguia.com/como-construir-una-pared-de-bloques-de-concreto/>

Paredes piedra. (2003). Retrieved from <http://www.estecha.com/revestimiento-piedra-artificial.htm>

Petinakis, E., Liu, X., Yu, L., Way, C., Sangwan, P., Dean, K., ... Edward, G. (2010).

Biodegradation and thermal decomposition of poly(lactic acid)-based materials reinforced by hydrophilic fillers. *Polymer Degradation and Stability*, 95(9), 1704–1707. <http://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2010.05.027>

Reixach, R., Del Rey, R., Alba, J., Arbat, G., Espinach, F. X., & Mutjé, P. (2015). Acoustic

properties of agroforestry waste orange pruning fibers reinforced polypropylene composites as an alternative to laminated gypsum boards. *Construction and Building Materials*, 77, 124–129. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.12.041>

Sailaja, R. R. N., Girija, B. G., Madras, G., & Balasubramanian, N. (2008). Effect of

compatibilization on mechanical and thermal properties of polypropylene--soy flour composites. *Journal of Materials Science*, 43(1), 64–74. <http://doi.org/10.1007/s10853-007-2094-8>

Sin, L. T., Rahmat, A. R., & Rahman, W. a. W. a. (2012). *Polylactic Acid: PLA Biopolymer*

Technology and Applications. <http://doi.org/10.1016/B978-1-4377-4459-0.00002-0>

Sistema. (2006). Retrieved from <http://www.acm-couverture.fr/amenagement-de-combles-77.html>

Solución constructiva yeso. (2005). Retrieved from

<http://servicioinformativodelaconstruccion.com/una-solucion-constructiva-para-paredes-interiores-solidas/>

Soluciones en Protección Pasiva. (2015).

Tabique con pavés. (2007). Retrieved from <http://refohabit.com/ampliar-reformar-cocina-con-pared-paves-pladur/0344-durante-reforma-pasillo-paves/>

Villanueva, L. De, & Lasheras, F. (1994). MECÁNICO EN FLEXIÓN DEL CARTÓN-YESO *
PLASTERBOARD IN BENDING), (c).

Wang, B. J., Lee, J. Y., & Wang, R. C. (1993). Fiberglass dermatitis: report of two cases. *Journal of the Formosan Medical Association = Taiwan Yi Zhi*, 92(8), 755–758. Retrieved from <Go to ISI>://MEDLINE:7904853

Zhang, S., Tang, W., Gu, X., Jiang, P., Sun, J., Sophie, D., ... Casetta, M. (2016). Flame retardancy and thermal and mechanical performance of intercalated, layered double hydroxide composites of polyamide 11, aluminum phosphinate, and sulfamic acid. *Journal of Applied Polymer Science*, 133(20), n/a–n/a. <http://doi.org/10.1002/app.43370>