

El residu de la fibra de vidre

Anàlisi de viabilitat
d'una planta de tractament

El residu de la fibra de vidre – Anàlisi de viabilitat d'una planta de tractament

Resum:

Aquest article té com a objectiu mostrar una sèrie de propostes de treball amb relació a la gestió i reciclatge del residu dels plàstics reforçats amb fibra de vidre i matriu termostable, el reciclatge dels quals, en aquest moment, té limitades alternatives i, a causa de l'ús tan estès d'aquest material en automoció, indústria, mobiliari urbà o nàutica, pot esdevenir un futur problema de gestió.

A partir d'un residu triturat, s'ha aplicat un mètode de reciclatge basat en el tractament químic per tal de trobar tant els pretractaments adequats com el dissolvent químic més eficaç i s'han valorat alternatives per a la caracterització del material resultant. A partir d'aquests resultats i d'una base d'enquestes en línia dirigides a gestors i productors d'arreu d'Espanya i, particularment, de Catalunya, s'ha dut a terme una simulació de funcionament d'una planta pilot, en què es valoren els aspectes productius, econòmics, d'inversió i altres variables de treball que se'n deriven per, finalment, debatre sobre l'alternativa de producció més viable.

Resumen:

El presente artículo tiene como objetivo mostrar una serie de propuestas de trabajo en relación al reciclaje del residuo de los plásticos reforzados con fibra de vidrio y matriz termostable, cuyo reciclaje en este momento, tiene limitadas alternativas y, debido al uso extenso de este material en automoción, industria, mobiliario urbano y náutica, puede convertirse en un futuro problema de gestión.

A partir de un residuo triturado, se aplicó un método de reciclaje basado en el tratamiento químico, para encontrar tanto los pretratamientos más adecuados como el disolvente más eficaz, y se valoraron alternativas para la caracterización del material resultante. A partir de estos resultados, y contando con una base de encuestas en línea dirigidas a gestores y productores españoles y catalanes, se realizó una simulación de funcionamiento de una planta piloto, en la que se valoran los aspectos productivos económicos, de inversión y otras variables de trabajo que se derivan de ellos para que, finalmente, se pueda debatir sobre la mejor alternativa de producción viable.

Abstract:

This paper presents a series of work proposals regarding the management and recycling of thermoset fiberglass-reinforced plastics, which currently have limited possibilities for recycling. This is of great concern, due to the extensive use of this material in automobiles, industry, urban furniture or maritime construction.

Using chopped waste, a recycling method based on chemical procedures was performed looking to find the best combination of pre-treatments as well as the most effective solvent. Also, alternatives for material characterization were studied. Considering this research and the information gathered about waste managers and producers across Spain (with a special focus on Catalonia), an operation simulation was performed which took into account production, economic and investment issues as well as some other necessary variables in order to find the most suitable alternative.

1. Introducció:

Es defineixen els materials compòsits com la unió de dos materials que combinats tenen unes prestacions que no es poden obtenir en els materials originals.^[1] El material aquí tractat és un compòsit que forma part dels plàstics reforçats amb fibra de vidre. Els podem trobar en diferents aplicacions, entre les més esteses hi ha la indústria aeronàutica (pales d'aerogeneradors i gòndoles de protecció de la maquinària), cascs d'embarcacions, carrosseries de vehicles, mobiliari urbà, dipòsits, receptacles de bany (dutxa, banyera o pica), bigues i cobertes.

La preocupació pel medi ambient, per la necessitat de limitar l'ús dels recursos i gestionar el volum de residus abocats, ha fet augmentar la pressió per reciclar els materials al final de la seva vida útil.^[2] Aquest material actualment presenta una dificultat de gestió causada per les propietats estructurals de la resina que fa de matriu (és a dir, que recobreix la fibra de vidre i dóna forma al producte), que en la seva reacció d'enduriment, dóna lloc a un entrecruament de l'estructura que fa impossible la fusió o tractament de recuperació. Acabada la seva vida útil i un cop disposat, ni és possible reutilitzar-lo (ja que manté la forma original), ni reciclar-lo (no existeixen alternatives amb un ús extens). Actualment, el seu destí és l'abocament.

La fibra de vidre en si mateixa s'hauria de considerar un residu inert (figura 1), però segons el catàleg europeu de residus es considera biodegradable, ja que té una matriu orgànica i s'ha de dur a abocadors de residus no perillosos. Com a alternativa, tot i no trobar-se en una etapa d'implementació extensa, s'han desenvolupat tecnologies com el reciclatge mecànic, que consisteixen a reduir la deixalla a partir de la trituració;^[3] el reciclatge tèrmic, per tal d'aprofitar el poder calorífic de la resina (aproximadament 30.000 kJ/kg)^[4] en altres llocs com ara forns de ciment;^[5] i el reciclatge químic, en què es duu a terme un procés d'atac a l'estructura de la matriu amb dissolvents, i objecte d'aquest estudi.



Figura 1 - Exemples de residu tallat de fibra de vidre

2. Abast del treball:

Per una banda, cal buscar una alternativa per tancar el cicle de vida del producte, per exemple, convertir el producte en desús en un nou material de partida perquè es pugui fer servir en noves aplicacions d'acord amb un criteri d'economia circular. Per l'altra, cal trobar aplicacions per convertir-lo en una part d'un material amb una qualitat millorada. Aquest treball comprèn les tasques següents:

Treball de laboratori:

- Dur a terme un procés global de tractament a petita escala a partir de fibres triturades que inclou pretractaments i banys amb diversos dissolvents químics, per separar la fibra de la resina i crear un material tan net com sigui possible.
- Comparar l'efectivitat de cada tractament no solament sota la perspectiva de la pèrdua de pes abans i després de cada tractament sinó també sota altres paràmetres, com l'aspecte visual, la densitat, o la retenció d'aigua.
- Quantificar rendiments orientatius que puguin ser utilitzats en una simulació de procés industrial i econòmic.

Enquestes en línia:

- Contactar amb productors i gestors de residus arreu d'Espanya i, en particular, de Catalunya, amb el propòsit de quantificar un possible volum de gestió de fibra de vidre.

Projecte de planta pilot:

- Identificar les parts més importants.
- Dur a terme una simulació econòmica dels costos associats i preus de sortida de cada producte reciclat.
- Identificar necessitats econòmiques addicionals de la simulació i alternatives.

3. Treball de Laboratori:

Materials de partida:

Es van utilitzar dos residus: d'una banda, fibres triturades d'origen nàutic entregades per la Fundació Mar, amb resina epoxi, que provenien de la trituració del casc d'una embarcació de lleure (a partir d'ara, fibres nàutiques) (figura 2a); i de l'altra, dues variants de material triturat de deixalleria (a partir d'ara, fibres de deixalleria) (figures 2b i 2c) atorgades per Eco-Wolf, un fabricant de maquinària de trituració de fibra de vidre. Són fibres amb resina de polièster insaturat. Les fibres de vaixell provenien d'un triturat amb maquinària en què no hi va haver control de la mida de sortida ni dels materials triturats, i el material de control inicial era brut. Per tant, aquest material va ser seleccionat per al procés de tractament a petita escala.



Figura 2a - A l'esquerra, fibra de vidre nàutica

Figures 2b i 2c - Al centre i a la dreta, fibres de deixalleria (mides 3/16" i 3/4")

Resum del tractament químic:

Partint d'una mostra del sac de fibres nàutiques, d'una banda, es van dur a terme pretractaments comuns (núm. 1 i 2) i, de l'altra, es va combinar la presència o no dels pretractaments núm. 3 i 4.

1. **Pretractament 1:** neteja inicial del material, amb l'objectiu de netejar i eliminar la presència de partícules flotants. Assecament posterior.
2. **Pretractament 2:** tamisat de les fibres en els tamisos 200 ASTM¹ i 2 ASTM, per separar en diverses fraccions, que es van pesar. Aquest tractament també es va aplicar a les fibres de deixalleria.
3. **Pretractament 3:** disgregació de la superfície entre dues superfícies abrasives, per comprovar si l'efecte de l'abradió senzilla podia tenir un efecte de pèrdua de pes.
4. **Pretractament 4:** banys en etanol, per maximitzar l'eliminació de pintures o recobriments. Neteja amb aigua destil·lada i assecament posterior.

A partir d'aquí es van dur a terme els banys químics amb diversos dissolvents:

1. **Àcid nítric:** 24 hores, a 70 °C, en una dissolució amb concentració de 0,5 M.
2. **Peròxid d'hidrogen i acetona:** pretractament amb àcid acètic, 24 hores, concentració d'1 M, i bany durant 3 hores, a 70 °C en una dissolució al 50% d'acetona i peròxid d'hidrogen al 33%.

¹ ASTM (American Society for Testing Materials): organisme de referència per a la normativització de procediments i mesures.

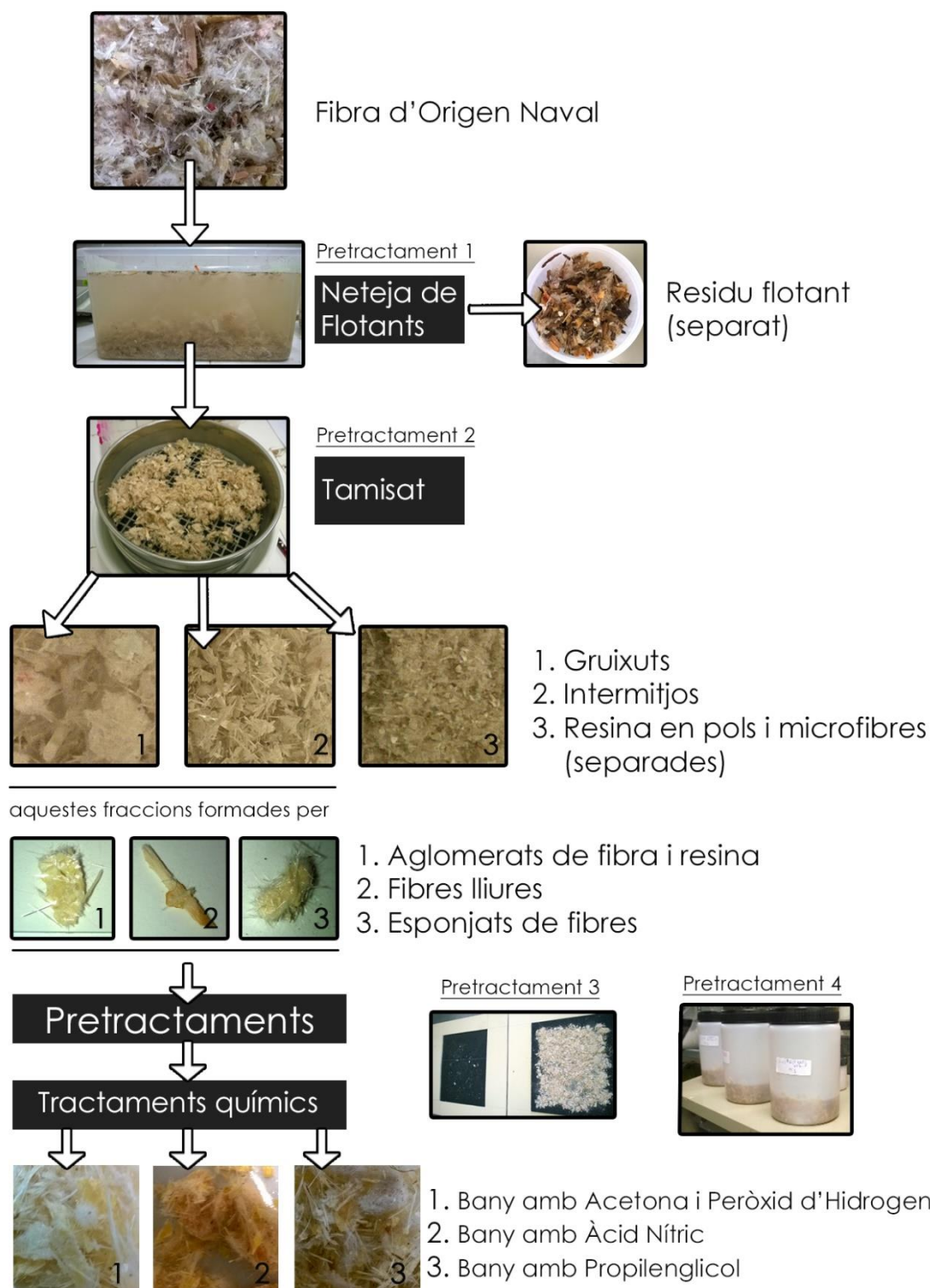


Figura 3 - Resum del tractament de laboratori

Carles Pons Garulo – Novembre 2015

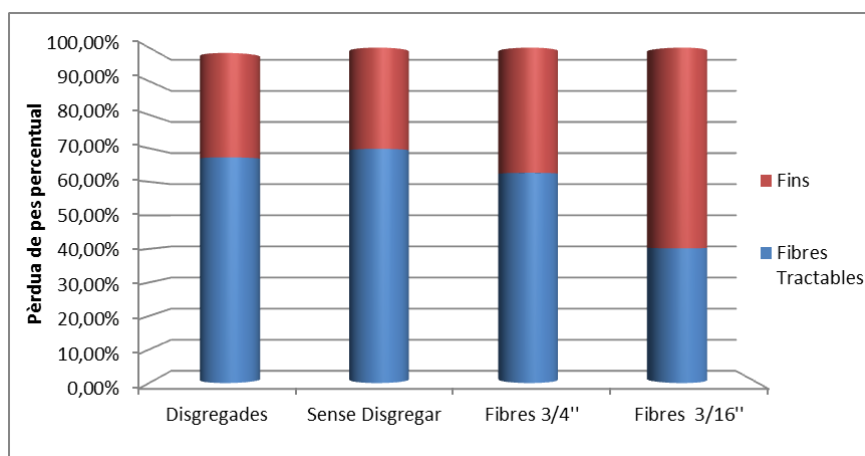
4. Mesura dels resultats:

Pretractaments 1 i 2: neteja per decantació i tamisat:

Els resultats de la immersió van donar lloc a una pèrdua de pes aproximada del 9% en comparació del pes de residu inicial, en forma de residus de fusta, brutícia i pintures. El 91% restant, després d'assecar-se, es va gabellar, separar en fraccions i pesar, per veure quin percentatge de massa podia entrar en un procés químic, atès que les fraccions de pols de resina i microfibres no s'havien de tractar i ja es consideraven un subproducte que podia ser aplicat a altres operacions.

Influència del pretractament 3 en el tamisat (pretractament 2):

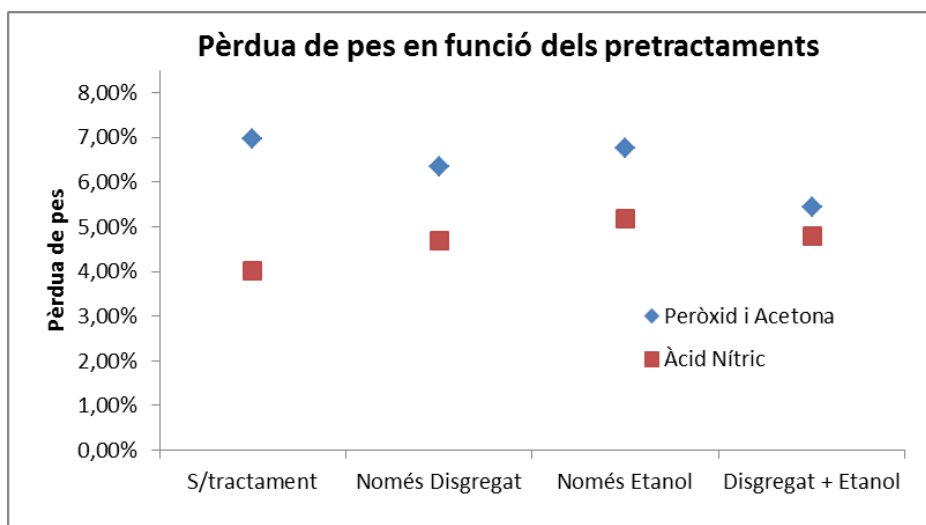
Les dues primeres columnes representen les fibres nàutiques, i les altres dues, les fibres de deixalleria amb dues mides diferents de sortida en el triturat. Al gràfic 1, cal tenir en compte la quasi nul·la influència del pretractament 3 (disgregació) en el tamisat, i la influència de la mida de sortida de les fibres en la presència de resina en pols i microfibres, com mostren les fibres de deixalleria de 3/4" i 3/16".



Gràfic 1 - Resultats dels tamisats

Pèrdua de pes en funció dels pretractaments:

Cadascuna de les mostres es va sotmetre a una pesada abans i després del tractament químic. Tenint en compte els resultats (gràfic 2), el pretractament amb disgregat no aporta cap millora en la pèrdua de pes, però el bany d'etanol sí que resulta efectiu, malgrat que no aporta una millora prou significativa per considerar-la imprescindible.

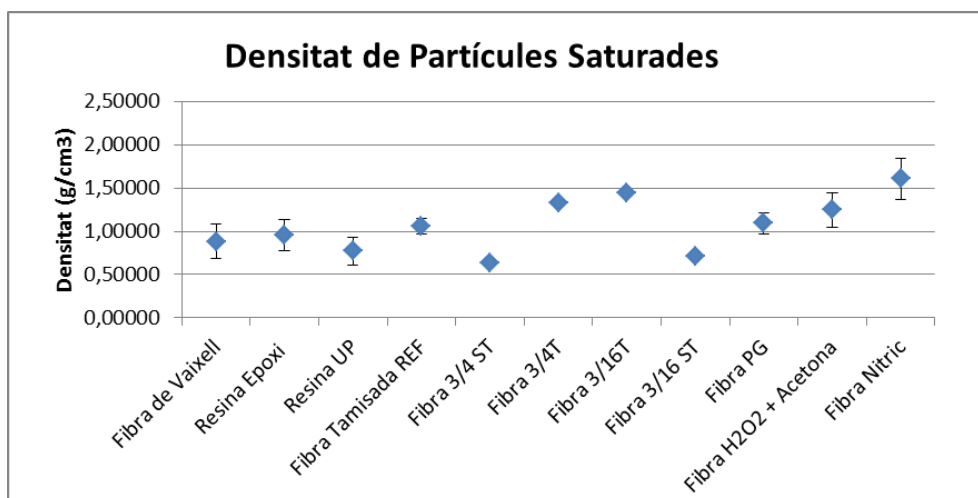


Gràfic 2 - Pèrdua de pes en funció dels pretractaments

Caracterització en funció de la densitat:

Per entendre què ha passat, cal saber si aquesta pèrdua ha estat provocada per l'atac químic a la fibra o per l'atac químic a la resina. Si es consideren les mesures de referència en termes de densitat durant certs estats del tractament, podria ser possible determinar, comparant resultats en condicions anàlogues, quina fracció va ser atacada, utilitzant una adaptació de la norma UNE-EN 1097-6^[6] per estudiar densitats en saturat anàlogues.

Com que les densitats de referència de la fibra de vidre són d'aproximadament 2,6 g/cm³^[7] i 1,2 g/cm³^[8] per a la resina, d'acord amb la figura s'explica que l'augment de densitat es pugui relacionar amb una pèrdua de pes de la resina.



Gràfic 3 - Densitat de partícules saturades

Carles Pons Garulo – Novembre 2015

Anàlisi visual:

Una última manera de valorar l'efectivitat del tractament es troba en l'observació visual. S'aprecia l'efectivitat en l'augment de la presència de fibres lliures (és a dir, sense resina) identificables en comparació de la referència de fibra de vaixell inicial (figura 4). Utilitzant microscòpia i amb més augments, això sí, es pot observar com en les fibres lliures la superfície de resina es neteja amb el tractament químic (figura 5), però en canvi els tractaments resulten ineficaços en els aglomerats de resina i fibres, atès que no dissolven la resina impregnada com s'esperava. És per això que en aquests casos es recomanen tractaments més agressius.

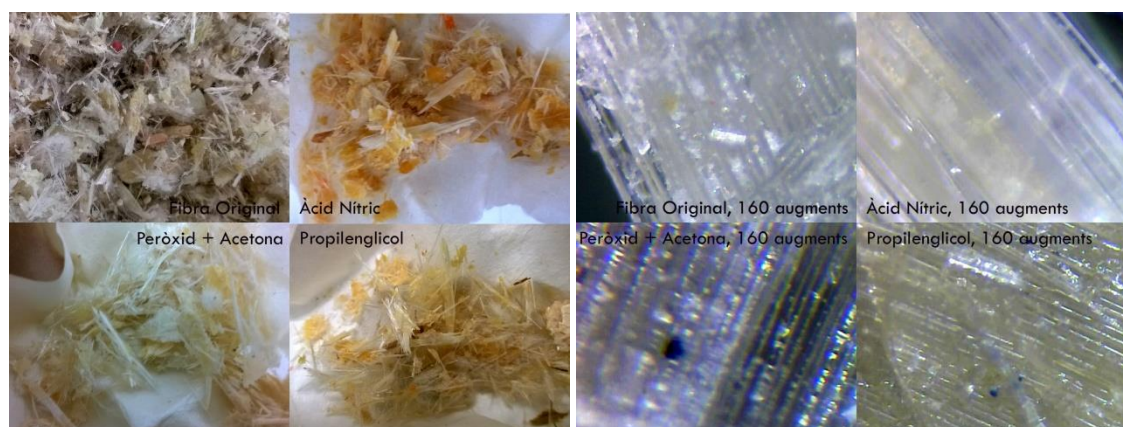


Figura 4 - Aspecte visual de les fibres després del tractament i Figura 5 - Fibra lliure després de 160 augments

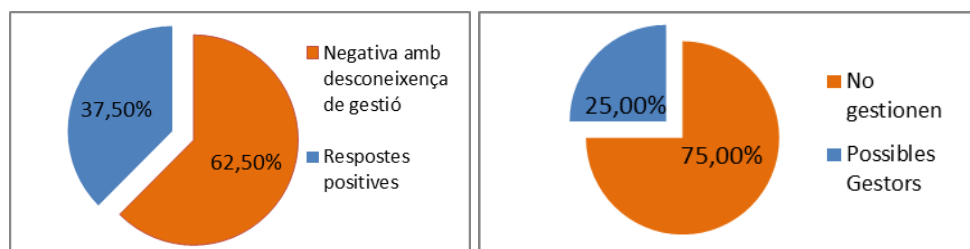
5. Enquestes en línia:

Abans de simular les condicions de treball d'una planta de tractament de residus especialitzada, es va contactar a través de correu electrònic amb gestors i productors de residus, per conèixer de primera mà l'estat de la gestió, el destí d'aquest residu i quantificar el nombre de tones gestionades anualment. Es van dur a terme tres tongades de contactes: la primera, a gestors del residu CER101103 (fibra de vidre) arreu de la Península; la segona, a possibles gestors de residus alternatius a Catalunya que poguessin integrar fibra de vidre^[9] i, la tercera, a productors d'aquest material.

Pel que fa als resultats proporcionats pels gestors de CER101103 (gràfic 4), els que s'identifiquen com a receptors del residu diuen que existeix una problemàtica associada a una difícil identificació del residu, perquè estan barrejats amb altres plàstics, ja que no hi ha separació en origen. D'altra banda, confirmen que el residu es porta a un abocador controlat, i tots ells assenyalen una capacitat d'entre 1 i 200 tones de material gestionat anualment.

Pel que fa als gestors de la resta de codis relacionats amb la fibra de vidre (gràfic 5), s'identifiquen receptors molt esporàdics que porten el residu a deixalleries per a l'abocament final. D'altra banda, s'identifiquen receptors especialitzats en altres materials reforçats amb fibra de vidre, com el residu provinent de la indústria electrònica, que conté plàstics reforçats amb fibres.

Carles Pons Garulo – Novembre 2015



Gràfic 4 - Resultats de les enquestes a gestors del 101103

Gràfic 5 - Resultats de les enquestes a gestors de residus catalans

Pel que fa als productors que posen al mercat el producte, els 13 de 95 dels quals s'aconsegueix resposta indiquen una massa mínima estimada posada al mercat d'unes 2.400 tones anuals, molt superior al que diuen que reben i tracten els gestors. Es pren aquesta dada de partida per estudiar la massa o volum possible de treball que podria tractar anualment una planta.

6. Simulació de funcionament d'una planta de reciclatge

Es proposa el funcionament d'una planta on diversos residus de plàstic reforçat amb fibra de vidre entrin, rebin un tractament físic, o opcionalment un tractament químic, i es generin tres tipus de subproducte per comercialitzar o afegir a nous materials: polsim de resina i microfibras, fibra sense tractar químicament en un ventall de diverses mides de sortida, i fibra tractada químicament. Aquests materials s'utilitzarien com a reforç de nous materials compostos.

Si es tenen en compte tots els costos, i a partir d'algunes dades d'eficiència de treball i de rendiment obtingudes al laboratori, és possible dur a terme una simulació sobre el funcionament d'una planta d'aquesta mena.

Identificació de zones funcionals de la planta:

- Recepció i identificació de materials (exterior)

Zona de recepció de camions i pesada, zona d'emmagatzematge a l'exterior amb manipuladora de materials i estació de rentat.

- Identificació, espejament i trituració

Zona d'identificació i espejament, i zona amb la maquinària de trituració.

- Àrea d'acumulació

Zona amb tremuges i cinta transportadora, per a l'emmagatzematge i abastament dels materials triturats.

- Zona de tractaments químics, neteja i assecament

Una sèrie de tancs agitadors per fer els banys químics, uns tancs decantadors per netejar les fibres i una estufa d'assecatge.

Carles Pons Garulo – Novembre 2015

Amb aquests paràmetres, es va dissenyar una planta que donés feina a 30 persones en total, entre personal i costos associats.

Rendiments productius:

En una estimació de rendiments de planta, es determina que per aconseguir fibra i resina sense cap tractament químic el temps d'operació ha de ser entre 4 i 5 hores, aproximadament, i com a mínim 33 hores per aconseguir fibra tractada.

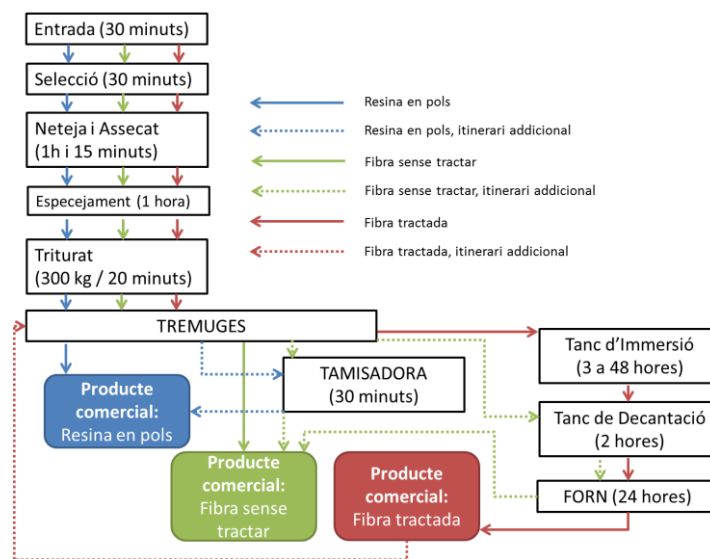


Figura 6 - Diagrama de procés

El punt més crític de la planta es troba en la maquinària de trituració atès que és la zona on es duu a terme la transformació d'un producte endurit i inalterable en un producte triturat i comercialitzable. El rendiment d'aquesta màquina determinarà el rendiment de la planta. Si tenim en compte la informació del fabricant, que estima 800 kg/h, una producció d'acord amb les referències obtingudes al laboratori, que contenen un 60% de fibra de vidre (que podrà ser tractada o no) i un 40% de resina i microfibrils (ja preparades per a l'emmagatzematge), així com les densitats aproximades de les tres fraccions, es poden determinar les productivitats de la planta (taula 1):

Carles Pons Garulo – Novembre 2015

		Deixalla (m ³)/dia	Resina i microfibra tamisada (40%)	Fibra tractable (60%)
Per dia	m ³	4,672	2,1333	2,5382
	Tones	6,400	2,56	3,84
Per setmana	m ³	23,358	10,667	12,691
	Tones	32,000	12,8	19,2

Si es té en compte que 5
tancs d'agitació
presentes a la planta
podrien oferir cicles de
tractament de 300 kg entre dues i quatre vegades a la setmana, es considera que aproximadament un 38,5%
de la producció de fibra tractable rebrà tractament químic.

Taula 1 - Rendiments productius

Costos productius:

S'han ponderat els costos de producció de cada producte amb relació al cost material que suposa el seu tractament a la planta. Si s'afegeix el benefici al cost de la producció, els preus de venda són els següents (taula 2):

	Resina en pols		Fibra sense tractar		Fibra tractada	
	Cost mensual	Cost anual	Cost mensual	Cost anual	Cost mensual	Cost anual
Adquisició de maquinària (amortització)	1.283,68 €	15.404,18 €	1.545,89 €	18.550,62 €	1.963,97 €	23.567,65 €
Lloguer	1.063,43 €	12.761,13 €	1.118,76 €	13.425,11 €	717,81 €	8.613,76 €
Sous	17.555,72 €	210.668,65 €	20.601,21 €	247.214,55 €	17.384,73 €	208.616,79 €
Despeses inherents a l'ús	19.727,76 €	236.733,13 €	20.754,22 €	249.050,65 €	50.843,96 €	610.127,55 €
Total		475.567,09 €		528.240,93 €		850.925,76 €
Benefici projectat	50%	237.783,54 €	50%	264.120,47 €	20%	170.185,15 €
DESPESES + BENEFICI		713.350,63 €		792.361,40 €		1.021.110,91 €
Producció prevista (kg anuals)		832.000		875.290		561.600
Previsió de preu de producció		0,57 €		0,60 €		1,52 €
Previsió de preu venda (€/kg)		0,86 €		0,91 €		1,82 €

Taula 2 - Costos productius

Estimació de despeses i rendiments amb dues alternatives:

Es comparen dues alternatives productives. La primera considera el tractament químic estudiat i la segona suprimeix qualsevol tractament químic. Aquesta segona alternativa implica una reducció de costos, en particular d'aquells que són variables, ja que l'adquisició de producte químic i la disposició final desapareix completament.

	Alternativa 1	Alternativa 2
Inversió inicial	1.036.197,27 €	919.544,54 €
Costos fixos (despesa anual)	797.793,58 €	729.258,81 €
Costos variables associats a la producció d'una tona	305,84 €	109,27 €
Producció anual (tones)	2496	
Costos variables associats a la producció anual	763.376,64 €	272.737,92 €
Total inversió inicial el primer any d'operació	2.597.367,49 €	1.921.541,27 €

Taula 3 - Ingressos i despeses de les dues alternatives

L'anàlisi d'ingressos considera el rendiment econòmic com la producció econòmica de cada fracció generada per tona i un factor corrector del 20% en les vendes. Aquest rendiment es multiplica per un rendiment de 52 setmanes, 32 tones de producció per setmana i 1,5 trituradores (2.496 tones anuals).

- Alternativa 1:

Ingressos	Preu per kg	Rendiment econòmic per tona	Vendes estimades (corregit 20%)	Producció anual
Resina	0,86 €	342,96 €	274,37 €	684.816,61 €
Fibra sense tractar	0,91 €	310,49 €	248,39 €	619.990,17 €
Fibra tractada	1,82 €	467,30 €	373,84 €	933.112,11 €

Taula 4 - Anàlisi de rendiment econòmic de l'alternativa 1

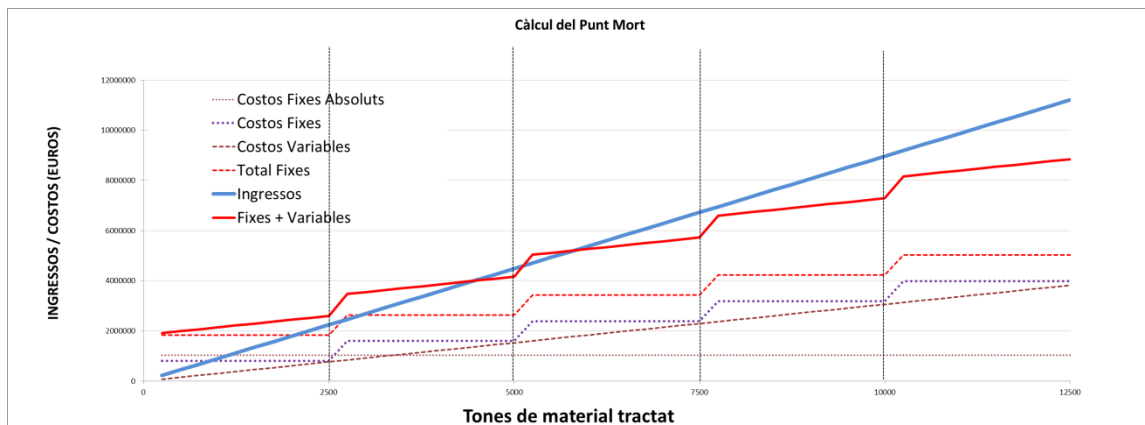
- Alternativa 2:

Ingressos	Preu per kg	Rendiment econòmic per tona	Vendes estimades	Producció anual
Resina	0,86 €	342,96 €	274,37 €	684.816,61 €
Fibra sense tractar	0,91 €	543,15 €	434,52 €	1.084.568,93 €

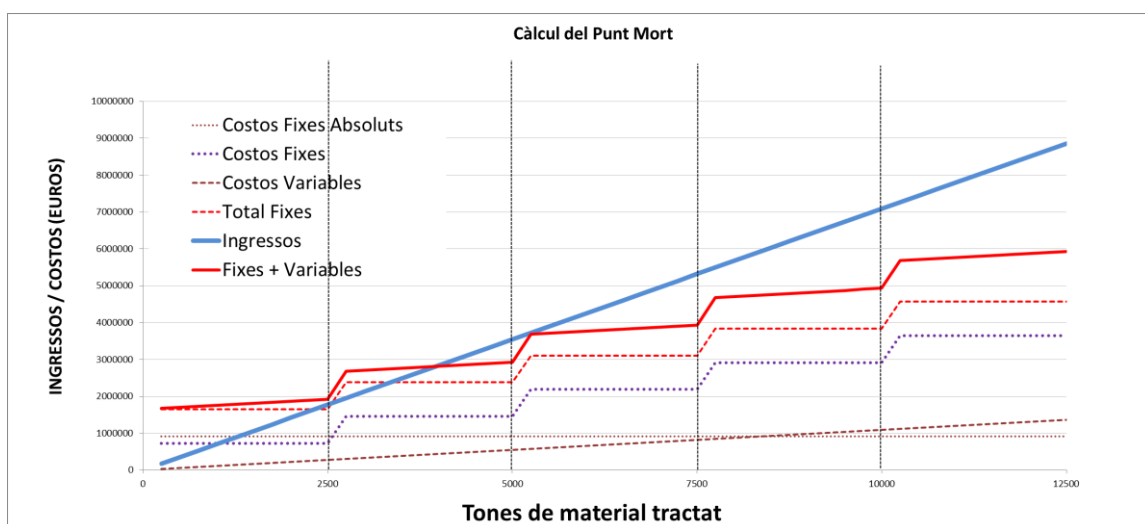
Taula 5 - Anàlisi de rendiment econòmic de l'alternativa 2

Carles Pons Garulo – Novembre 2015

Sota aquests paràmetres va ser possible fer una anàlisi de la inversió^[10] i del punt mort. En aquest article es destaca en particular el punt mort de totes dues opcions (punt on la inversió iguala els costos).



Gràfic 6 - Anàlisi del punt mort de l'alternativa 1



Gràfic 7 - Anàlisi del punt mort de l'alternativa 2

Si es té en compte la fórmula del punt mort, el moment on la inversió inicial i el preu de venda s'igualen és entre el tercer i el quart any, atès que la planta esperaria produir unes 2.500 tones anuals de residu.

	Alternativa 1: amb tractament químic	Alternativa 2: sense tractament químic
Preu (€)	896,60	708,89
Cost variable (€)	305,84	109,27
Benefici (€)	590,76	599,62
Punt mort (tones)	5.805,33	5.182,19

Taula 6 - Determinació del punt mort

7. Selecció d'alternativa

Un cop valorades les dues propostes, se seleccionaria l'alternativa sense processos químics. Les raons principals per les quals es pren aquesta decisió són les següents:

- Preu elevat: considerant que les fibres de sortida haurien de tenir un preu similar a la fibra verge, o un preu reduït, el sobrecost de produir fibres tractades posa en compromís el sentit de fabricar fibres reciclades.
- Temps de cicle: aconseguir fibres tractades químicament té un cost mínim 6 vegades superior al que costa aconseguir fibres sense tractar.
- Gestió ambiental complicada: cada cicle de tractament, o uns quants cicles de tractament, requeririen una empresa de gestió de residus i això generaria despesa i un impacte sobre el medi ambient per haver d'utilitzar un dissolvent i després neutralitzar-lo.
- Dimensions molt petites de la planta: en cas de tenir una planta que pogués gestionar el seu propi residu químic i reciclar-lo, i tingués una capacitat productiva més elevada per poder tractar el residu a baix cost, valdria la pena valorar la primera alternativa, però no és el cas.
- Cost energètic molt elevat: la literatura indica que els costos de producció energètics en el tractament químic són molt elevats,^[48] atès que els cicles de producció impliquen volums petits de feina. S'ha d'evitar que el cost de reciclar la fibra sigui més elevat que generar-ne una de nova.
- Tecnologia prototípica: ni els resultats de laboratori ni els de la literatura han demostrat una efectivitat homogènia i continuada, i caldria fer més recerca en termes d'eficiència i de neteja.
- Riscos de treball incrementats: el fet de fer servir una maquinària d'immersió química augmenta els riscos d'explosió, vessament químic i núvol tòxic, que no hi serien en cas de no implementar aquesta tecnologia.

8. Conclusions

La potencial existència del residu de fibra de vidre és quelcom que s'evidencia en l'ús d'aquest material en diverses aplicacions que, actualment o en un futur, es convertiran en una problemàtica de gestió i d'abocament. Tot i que en aquest article es troben rendiments d'entre el 4% i el 8% amb relació a la pèrdua de pes, queda palès que pot existir una tecnologia de tractament químic amb la qual netejar la fibra de la resina. Això, implementat sobre una planta de tractament, genera unes despeses addicionals de quasi un 150% amb relació al cost original de la fibra de vidre, a més de generar un impacte ambiental per l'adquisició i gestió del dissolvent un cop utilitzat per part de tercers. Perquè fos viable, la gestió dels dissolvents s'hauria de dur a terme a la mateixa planta, i amb la massa total que s'ha considerat de gestió anual, 2.496 tones anuals, adaptat al que podria generar la planta amb la massa identificada en les enquestes això no tindria sentit. Per aquest motiu es recomana una alternativa productiva basada en la trituració de material i comercialització d'aquests subproductes sense tractament posterior, tot i que mai s'ha de perdre de vista la recerca per trobar algun mètode per millorar la qualitat del residu de sortida.

9. Bibliografia:

- [1] ASKELAND, Donald R. *Ciencia e ingeniería de los materiales*. México D.F.: Grupo Editorial Iberoamérica, 1985. 365-381 p.
- [2] BOS G. «EU Waste Legislation and the Composites Industry». A: *Seminar on recycling of composite materials*. IFP SICOMP: Mölndal, Suècia, 14 i 15 de maig de 2002.
- [3] PICKERING, S.J. *Recycling Technologies for Thermoset Composite Materials—Current Status. Composites: Part A 37*. Elsevier, 2006. 1206-1215 p.
- [4] BENSON, M., PICKERING, S.J. «The Recycling of Thermosetting Plastics. Plastics and Rubber Institute». A: *Second International Conference Plastics Recycling*. Londres, març de 1991.
- [5] EUROPEAN CEMENT ASSOCIATION (CEMBUREAU). *Sustainable Cement Production: Co-processing of Alternative Fuels and Raw Materials in the European Cement Industry*. Brussel·les, Bèlgica, 2009.
- [6] UNE-EN 1097-6. *Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 6: Determinación de la densidad de partículas y la absorción de agua*. Juliol 2001.
- [7] AITEX. *Manual de fibras de uso técnico*. AITEX, octubre 2005. 1 p.
- [8] NUTSCH, W. *Tecnología de la madera y del mueble*. Barcelona: Reverté, 2000. 85 p.
- [9] THE EUROPEAN UP/VE RESIN ASSOCIATION. *Guía de manipulación de las resinas de poliéster insaturado (UPR) y vinil éster. Tomo 12, Clasificación y manipulación de residuos PRF en la actual legislación de la CE, 2011*. 1-2 p.
- [10] COLOM GORGUES, A. *Evaluación de la rentabilidad de proyectos de inversión. Aplicación a los sectores agrario y agroalimentario*. Lleida: Edicions de la Universitat de Lleida, 2009. 87-107 p.
- [11] MATIVENGA, P.T.; SHUAIB, N.A. «Energy Intensity and Quality of Recyclate in Composite Recycling, 2015». A: *ASME Manufacturing Science and Engineering Conference, Juny 8-12, 2015 a Charlotte, Carolina del Nord*.