

Comportamiento y propiedades de las fibras de polilactida (PLA) durante su procesado y uso

D. Cayuela ¹ y A. Manich ²

¹ Institut d'Investigació Tèxtil de Terrassa (Universitat Politècnica de Catalunya)

Colom, 15, 08222 Terrassa, cayuela@intexter.upc.edu

² Institut de Química Avançada de Catalunya (Consejo Superior de Investigaciones científicas), Jordi Girona, 18-26, 08034 Barcelona, albert.manich@iqac.csic.es

1. Definición, aplicaciones y producción

En los últimos años ha aumentado el empeño de adaptar los nuevos materiales al eco-diseño y/o al desarrollo sostenible. Por esta razón, materiales

como los polímeros biodegradables se pueden considerar alternativas “interesantes” o “ambientalmente seguras”. Además, debido a los problemas de suministros de materias primas, también ha aumentado el interés en productos basados en recursos renovables.

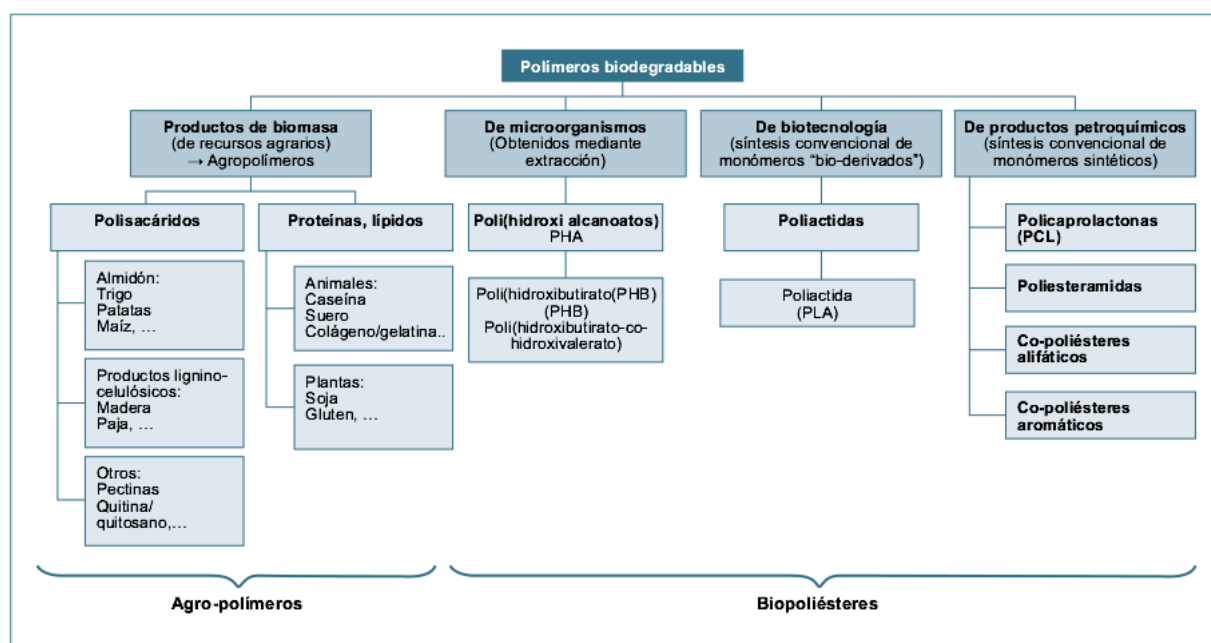


Figura 1. Clasificación de los polímeros biodegradables

Tabla 1. Plan factorial de Box y Hunter

Proceso/producto	Aplicación
Termoconformados rígidos	<ul style="list-style-type: none"> - Bandejas y tapas de corta duración - Contenedores opacos para leche - Embalaje para electrónica de consumo - Artículos desechables - Tazas/vasos para bebidas frías
Biaxialmente orientados	<ul style="list-style-type: none"> - Filmes de plástico para empaquetado de artículos de consumo - Envoltorios para caramelos y flores - Ventanas para sobres, paquetes y cartones
Botellas	<ul style="list-style-type: none"> - Leche de corta duración - Aceite
Ropa	<ul style="list-style-type: none"> - Deporte, tiempo libre y ropa interior - Moda
No-tejidos	<ul style="list-style-type: none"> - Agro- y geo-textiles - Productos de higiene (pañales e higiene femenina) - Trapos para limpieza - Mezclas con fibras naturales: cáñamo, sisal y lino
Casa, lugares públicos	<ul style="list-style-type: none"> - Ropa de cama, de mesa y paños. - Telas para cortinas y colchones - Tejidos para paredes y tapicería - Alfombras
Relleno	<ul style="list-style-type: none"> - Almohadas - Colchones - Edredones
Espuma	<ul style="list-style-type: none"> - Espumas estructurales para protección

Son diversos y variados los polímeros biodegradables que tenemos actualmente a nuestra disposición. En la **Fig. 1** se han clasificado los polímeros biodegradables en dos grupos y cuatro familias diversas (1).

Los grupos principales son (i) los agro-polímeros (polisacáridos, proteínas, etc.) y (ii) los biopolímeros (polímeros biodegradables), por ejemplo la polilactida (PLA), el polihidroxialcanoato (PHA) y los copolímeros aromáticos y alifáticos. Los polímeros biodegradables presentan una amplia gama de características y actualmente pueden competir con materiales termoplásticos no-biodegradables en diversos campos (empaquetado, materias textiles, biomédicos, etc.). Entre estos biopolímeros, la polilactida (PLA) es actualmente uno de los biopolímeros más prometedores.

El PLA es un polímero biodegradable cuyo monómero, ácido láctico, se obtiene principalmente del almidón de maíz, recurso renovable anualmente. El PLA pertenece a la familia de polímeros

alifáticos fabricados comúnmente a partir de α -hidroxiácidos que, por ejemplo, incluye también al ácido poliglicólico (PGA). Es uno de los pocos polímeros en los cuales la estructura estereoquímica puede ser fácilmente modificada polimerizando una mezcla controlada de isómeros *l* y *d* de manera que se obtiene polímero de elevado peso molecular elevado y polímeros amorfos o semicristalinos. Las características pueden ser modificadas variando la proporción de ambos isómeros y también la proporción de los copolímeros *homo*, *d* y *l*. Además, el PLA se puede modificar mediante formulación agregando plastificantes, otros biopolímeros, rellenos, etc. El PLA se puede procesar con diferentes técnicas, lo que permite tenerlo disponible comercialmente en una amplia gama de productos, además de permitir su producción a gran escala.

En la **Tabla 1** se han recogido algunos productos de PLA disponibles comercialmente (2). El PLA es un polímero biodegradable y biocompatible en contacto con tejidos vivos. La biodegradabilidad lo hace útil, por ejemplo, en la preparación de

Tabla 2. Comparación entre el proceso de producción de fibras de polilactida y de poliéster

		Fibras de polilactida	Fibras de poliéster
Materia prima		Recurso renovable	Recurso no renovable
Producción de	Polímero	Temperatura de 200-220°C	Temperatura de 280-300°C
	Fibras	Hilatura por fusión a 220-230°C con posterior estirado y tratamiento térmico	Hilatura por fusión a 280-290°C con posterior estirado y tratamiento térmico
	Productos textiles	Procesos usuales	Procesos usuales
Reciclado del polímero y de las fibras		Posibilidad de reciclar totalmente	Posibilidad de reciclar totalmente
Biodegradación del polímero y de las fibras		Total	No se degrada

bioplásticos, en relleno para empaquetado, bolsas para abono vegetal, embalaje de alimentos y vajilla desechable.

La biocompatibilidad lo hace útil para usos biomédicos tales como implantes, suturas, medios de diálisis, encapsulación de medicamentos y dispositivos de dosificación de medicinas. También se están evaluando sus propiedades como material para biotejidos.

En forma de fibras y telas no tejidas, el PLA también tiene muchas aplicaciones potenciales, por ejemplo como tapicería, ropa desechable, toldos, productos de higiene femeninos y pañales.

En general, el PLA es una alternativa sostenible a los productos derivados del petróleo puesto que las lactidas, de las cuales se produce en última instancia, se pueden derivar de la fermentación de subproductos agrícolas tales como almidón de maíz u otras sustancias ricas en carbohidratos como el maíz, el arroz o el trigo. El PLA es más caro que muchos plásticos derivados del petróleo, pero a medida que su producción aumenta, su precio disminuye (3).

Tiene un precio razonable y algunas características notables que satisfacen diversos usos. Por ejemplo, la capacidad de producción del PLA de Cargill (EEUU) en 2006 era de 140 kT al año a 2-5 euros el kilogramo. Otras compañías, como Mitsui Chemical (Laceo-Japón), Treofan (Holanda), Galactic (Bélgica), Shimadzu Corporation (Japón), producen cantidades más pequeñas. Algunas de ellas se centra solamente en el mercado biomédico como Boehringer Ingelheim (Alemania), Purac (Holanda) o Physis (Francia), porque

las restricciones de este mercado son muy específicas. Sin embargo, el consumo de PLA en 2006 era solamente de unas 60.000 toneladas al año y, actualmente, solo el 30% del ácido láctico se utiliza para la producción del PLA. Así, este biopolímero presenta un alto potencial de desarrollo.

Por el interés potencial de este polímero para usos textiles, los autores de este trabajo y los respectivos equipos de investigación (ver **Anexo 1**), han desarrollado entre los años 2008, 2009 y 2010 el proyecto coordinado subvencionado por el Ministerio de Ciencia e Innovación "Microestructura, caracterización, propiedades y aplicaciones de las fibras de polilactida" (MAT2007-66569-C02). Los objetivos de este proyecto eran:

- i. Determinar la microestructura mediante técnicas físico-químicas y comparar con la cristalinidad (rayos X, calorimetría diferencial de barrido, densidad, infrarrojos), orientación (modulosa nico, birrefringencia) y con otras técnicas (termomecánico)
- ii. Determinar las propiedades de estos sustratos: estabilidad térmica, propiedades mecánicas (tracción, relajación, elasticidad), propiedades tintóreas, vida útil (envejecimiento), durabilidad y biodegradabilidad (compostaje).
- iii. Obtener tejidos de PLA y aplicar diferentes acabados
- iv. Preparar muestras de mezcla PLA/lana y determinar sus propiedades

En este trabajo se recogen cómo varían algunas de estas propiedades en el procesado textil. Las técnicas de caracterización utilizadas se describen en el **Anexo 2**.

Tabla 3. Condiciones de temperatura y relación de estirado en el texturado

Sustrato	Relación de estirado	Temperatura de texturado (°C)
A1	1,30	135
A2	1,30	150
A3	1,30	165
B1	1,35	135
B2	1,35	150
B3	1,35	165
C1	1,40	135
C2	1,40	150

Tabla 4. Encogimientos y elongación de los sustratos texturados

Ref.	Encogimiento en húmedo (%)	Encogimiento en seco (%)	Elongación (%)
A1	67,1	76,0	28,1
A2	58,9	72,2	27,6
A3	51,4	60,0	29,2
B1	70,7	77,3	25,8
B2	61,6	68,9	26,8
B3	49,0	49,9	27,1
C1	56,1	73,1	21,3
C2	47,4	66,5	22,8

2. Variación de las propiedades del PLA en el procesado textil

Según la bibliografía (4), el proceso de fabricación y los equipos utilizados para la fabricación de fibras y filamentos de polilactida son similares a los utilizados para el poliéster. En la **Tabla 2** se comparan ambos procesos, desde la materia prima hasta su degradación.

Así, la polilactida se obtiene por extrusión del polímero a unos 220°C y se suele recoger entre 2000 y 3000 m/min –debido a que proporciona valores mínimos de cristalinidad, birrefringencia y módulo de Young (5)–, obteniéndose un hilo POY.

Para que este POY tenga propiedades textiles, debe de pasar por una serie de tratamientos térmicos, hidrotérmicos y mecánicos, entre otros, que se las confiera. Un esquema de un proceso general se recoge en la **Fig. 2**.

2.1 Texturado

El texturado es uno de los primeros tratamientos aplicados a la polilactida durante su procesado. El texturado es un tratamiento térmico que se aplica a los filamentos para conferirles propiedades especiales como fuerza, voluminosidad y apariencia de fibras naturales.

Gracias a la colaboración de la empresa ANTEX, S.A. en este proyecto, se obtuvieron sustratos de PLA texturados en condiciones ‘suaves’ para poder estudiar mejor este tipo de sustratos y poder variar condiciones de procesado. Para ello, ANTEX, S.A. proporcionó al proyecto un multifilamento POY 167dtex/68 filamentos texturado posteriormente a diferentes temperaturas (135, 150 y 165°C) y diferentes relaciones de estirado (1,30, 1,35 y 1,40). En la **Tabla 3** se han recogido las referencias de las muestras en función de su temperatura de texturado y la relación de estirado.

Se han realizado determinaciones del encogimiento en seco –equivalente a un termofijado– y

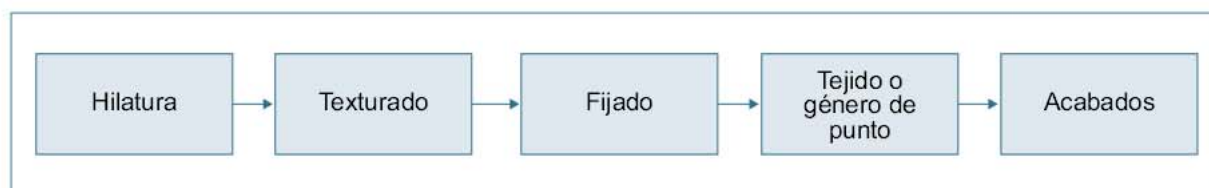


Figura 2. Esquema del proceso general de obtención de sustratos textiles de PLA

Tabla 5. Encogimientos y elongación de los sustratos texturados en condiciones drásticas

Relación de estirado	Temperatura de texturado (°C)	Encogimiento en húmedo (%)	Encogimiento en seco (%)
1,45	165	52,3	29,8
1,50	175	22,9	18,0
1,55	175	19,8	18,5
1,60	175	18,6	18,4

del encogimiento en húmedo –equivalente a una tinte–. También se han determinado las propiedades de tracción. Algunos de los resultados se recogen en la **Tabla 4**.

Se observa que los valores de encogimiento son demasiado elevados, tanto en seco como en húmedo. En ningún caso los encogimientos son menores al 45% y disminuyen tanto al aumentar la relación de estirado como la temperatura de texturado.

En cuanto a las propiedades mecánicas, hay muy pocas diferencias entre ellos en los valores del módulo (promedio: 341 cN/tex; s: ±14cN/tex) y de la tenacidad (20,2 cN/tex; s: ±1,1 cN/tex). Solo se observan pequeñas diferencias en la elonga-

ción (ver tabla) de manera que, al igual que ocurre con los encogimientos, la elongación es menor al aumentar tanto la relación de estirado como la temperatura de texturado.

Para resolver este problema, se prepararon sustratos con relaciones de estirado mayores y texturados a temperaturas más elevadas.

Las condiciones de texturado de los sustratos fabricados y los resultados de los encogimientos en húmedo y en seco se han recogido en la **Tabla 5**. Se observa que a una temperatura ya muy elevada de 175°C, el encogimiento residual es de alrededor del 19% en húmedo y del 18% en seco y que no varía con la relación de estirado aplicada. Parece ser que se ha llegado a un máximo de encogimiento residual mediante la aplicación de condiciones más drásticas de texturado.

2.2 Fijado

Debido a este encogimiento residual que queda, se realizaron pruebas con los sustratos texturados en las condiciones más suaves, aplicando un tratamiento de fijado posterior, tal y como se indica en las especificaciones del producto de la empresa fabricante del polímero (6).

El fijado debe aplicarse para estabilizar los sustratos y evitar encogimientos posteriores. Se realizaron pruebas en una planta piloto diseñada para ello (**Fig. 3**) en la que se controlaba tanto la relación de estirado aplicada como la temperatura de fijado.

Se observó que, a una cierta velocidad de tratamiento, los sustratos pasaban de encogerse con valores muy altos a hacerlo muy poco (**Fig. 4**). De esta manera se obtienen sustratos con las propiedades necesarias para continuar su procesamiento textil. Aplicadas las condiciones óptimas a todos los sustratos texturados se consiguieron encogimientos tanto en húmedo como en seco

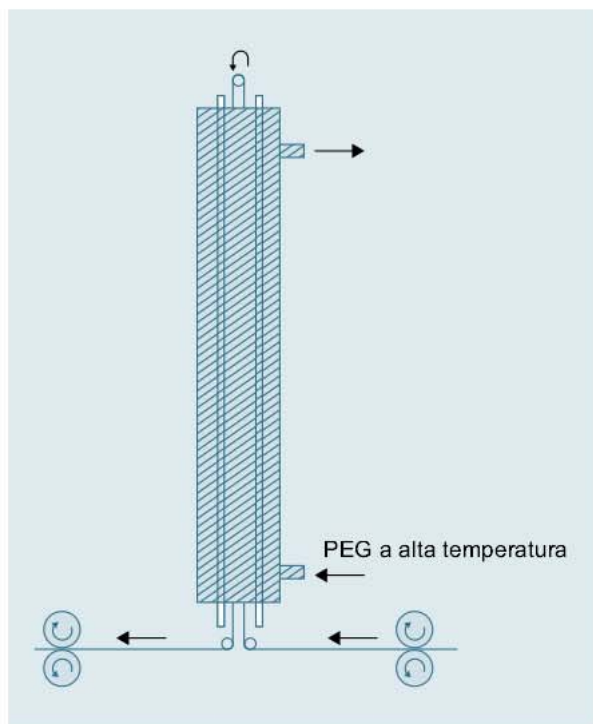


Figura 3. Equipo prototipo para prefijado de multifilamento de PLA

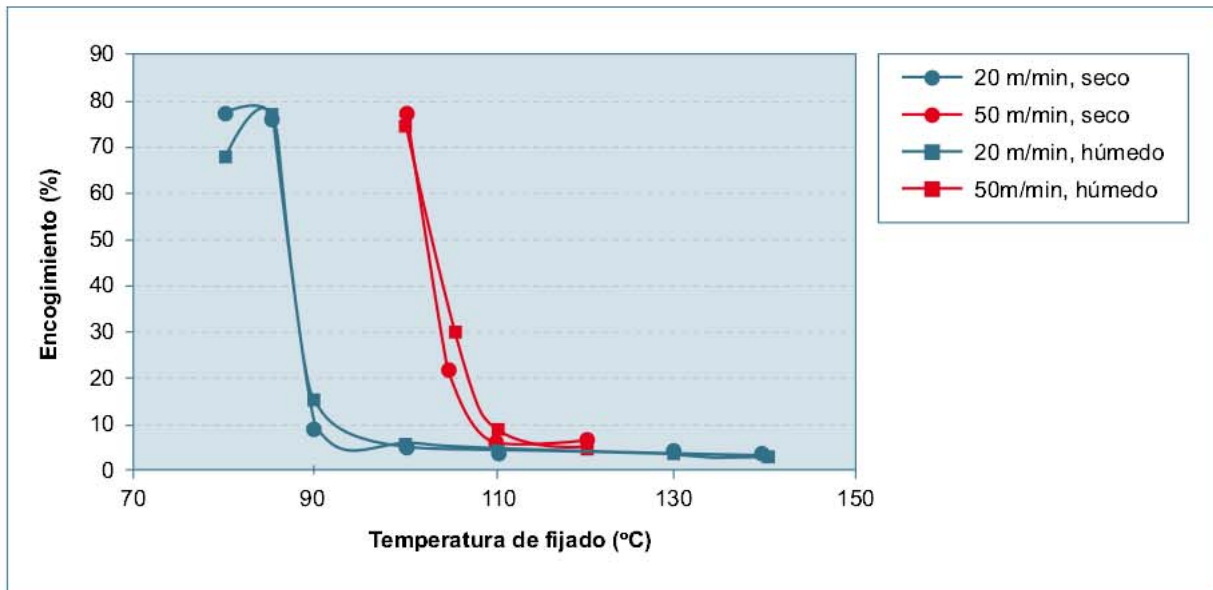


Figura 4. Evolución del encogimiento en seco y en húmedo con la temperatura de fijado y la velocidad

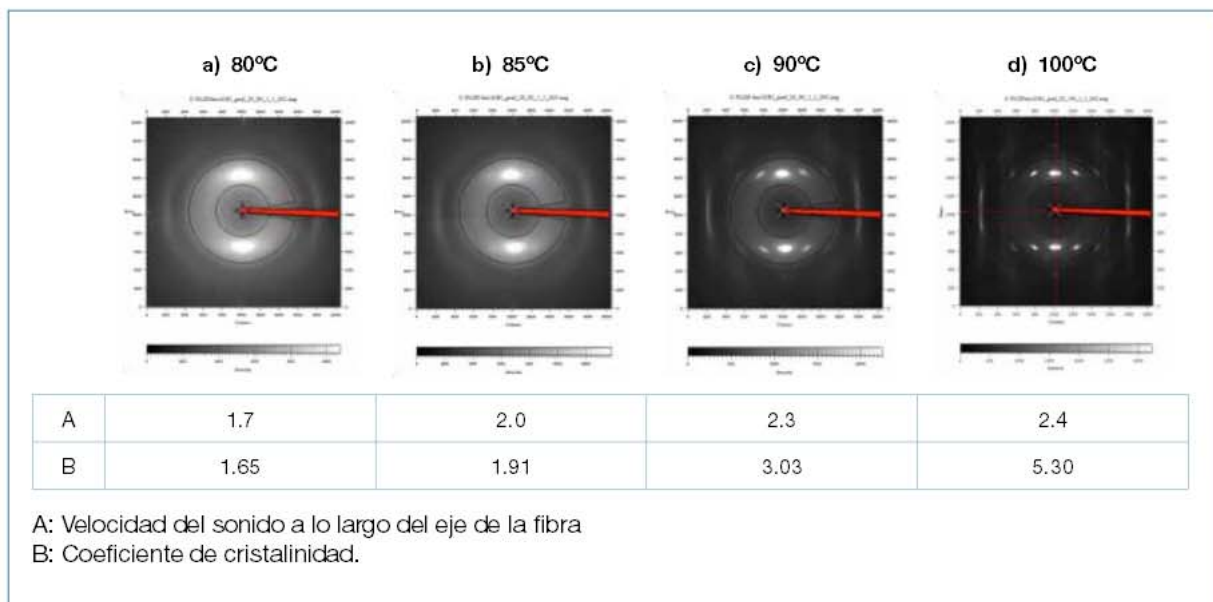


Figura 5. Difractogramas de RX en función de la temperatura de fijado

de alrededor del 10%. En cuanto a las propiedades mecánicas, se nota una ligera mejora del módulo mientras que los otros parámetros no varían de forma significativa.

En general, las variaciones de las propiedades de las fibras de polilactida son una respuesta a las variaciones que tiene lugar en la microestructura de las fibras debido a los tratamientos aplicados. En este trabajo se ha estudiado cómo varían la cristalinidad y la orientación con el tratamiento de fijado para permitir que las propiedades de los sustratos fijados cambien de forma tan radical.

En la Fig. 5 se han recogido, para los sustratos fijados a 20°C/min a diferentes temperaturas, los valores de la velocidad del sonido a lo largo de la fibra (relacionada con la orientación) y del índice de cristalinidad (relación entre la zona cristalina y la amorfa) obtenida a partir de los difractogramas de rayos X.

Se observa que a medida que aumenta la temperatura del tratamiento aumentan tanto la orientación como la cristalinidad, es decir, con el tratamiento térmico se crea una estructura mucho más estable.

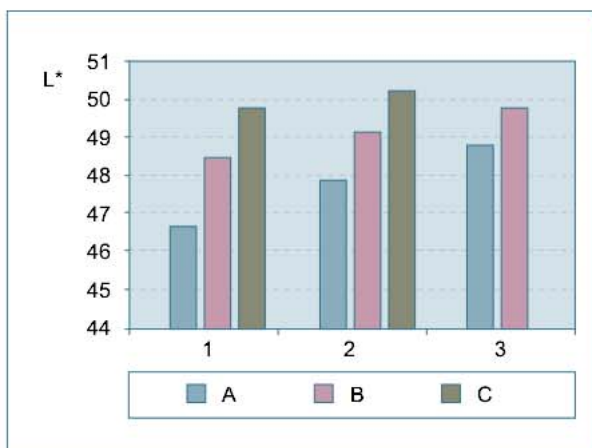


Figura 6. Evolución de la luminosidad de los tejidos en función de las condiciones de texturado

2.3 Tintura

El proceso de tintura de la polilactida se realiza con colorantes dispersos. En este caso se utilizó con el colorante Disperse Blue S-2GRL 200%. A fin de estudiar si los diferentes sustratos presentaban diferente comportamiento tintorero, el proceso de tintura se llevó a cabo de manera competitiva, es decir, todas las muestras se tiñeron simultáneamente en el mismo baño de tintura. La luminosidad (L^*) de las muestras teñidas se ha recogido en la **Fig. 6**.

Se observa que, a pesar del tratamiento térmico de fijado aplicado, la tintura competitiva de los diferentes sustratos continúa revelando algunas diferencias de estructura fina que provienen del proceso de texturado. Los sustratos obtenidos son muy luminosos y de una calidad visual excelente. También lo es su calidad al tacto. Sin embargo, es necesario indicar que en el proceso de tintura se pierden propiedades mecánicas de los sustratos. Ello es debido a las reacciones de hidrólisis que tiene lugar en este tratamiento. Según la bibliografía consultada, estas degradaciones se evitan en condiciones muy controladas de pH. Este es un punto del proyecto que se está ampliando.

3. Estudios de envejecimiento y compostaje

Se han realizado estudios de envejecimiento en cámara climática y de compostaje, enterrando las muestras en tierra, comparando el comportamiento de sustratos de polilactida teñida y de poliéster y algodón teñidos. No se ha comparado la polilactida teñida ya que, al ser la tintura de esta fibra un proceso que necesita mayor dedicación para su optimización, se comparaban sustratos con una degradación previa muy importante. Como parámetro de control, se ha determinado la pérdida de resistencia durante los respectivos procesos de degradación. Las condiciones de los tratamientos se recogen en el **Anexo 2**.

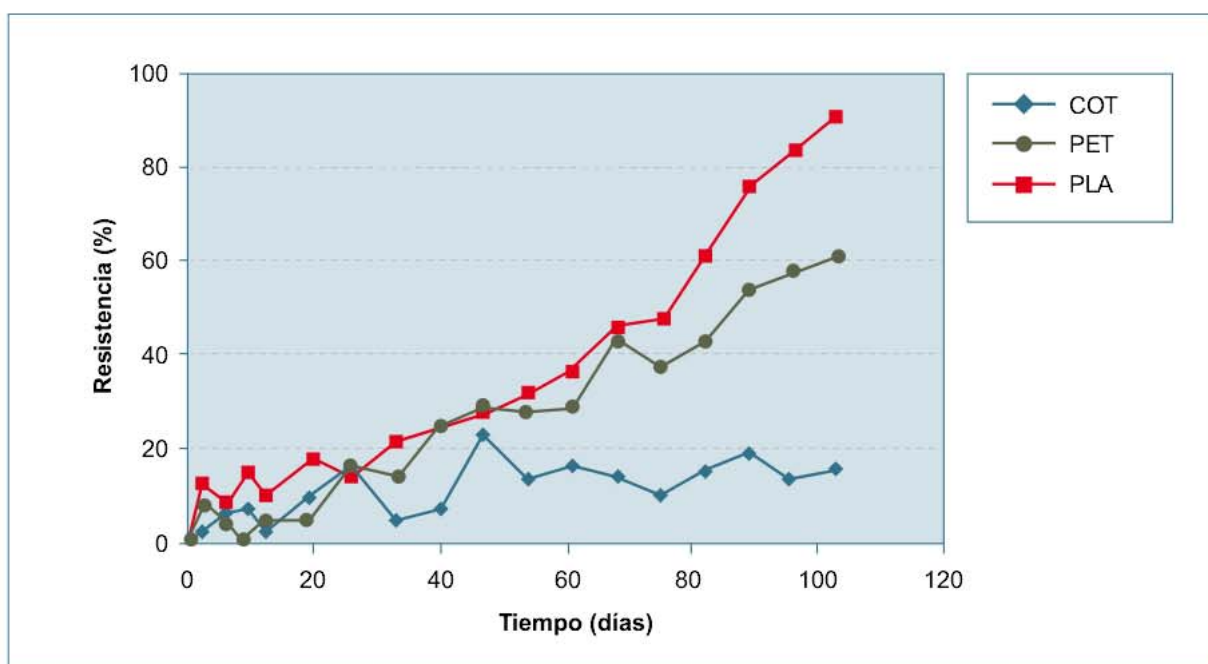


Figura 7. Pérdida de resistencia de hilos de algodón, poliéster y polilactida en su exposición en una cámara climática

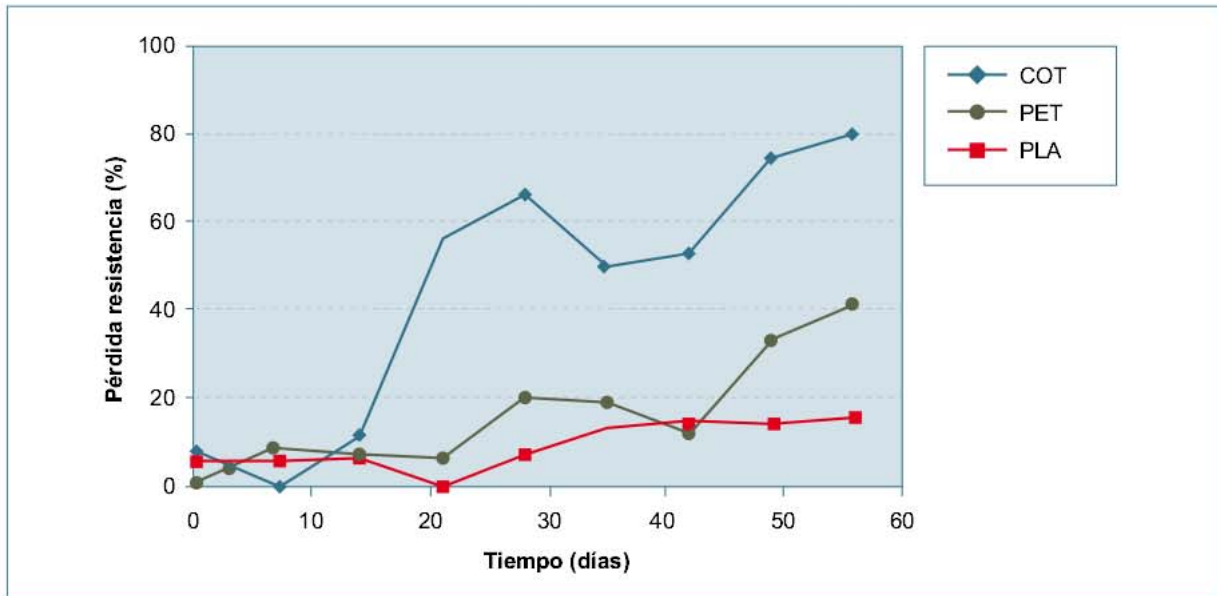


Figura 8. Pérdida de resistencia de hilos de algodón poliéster y polilactida en su compostaje

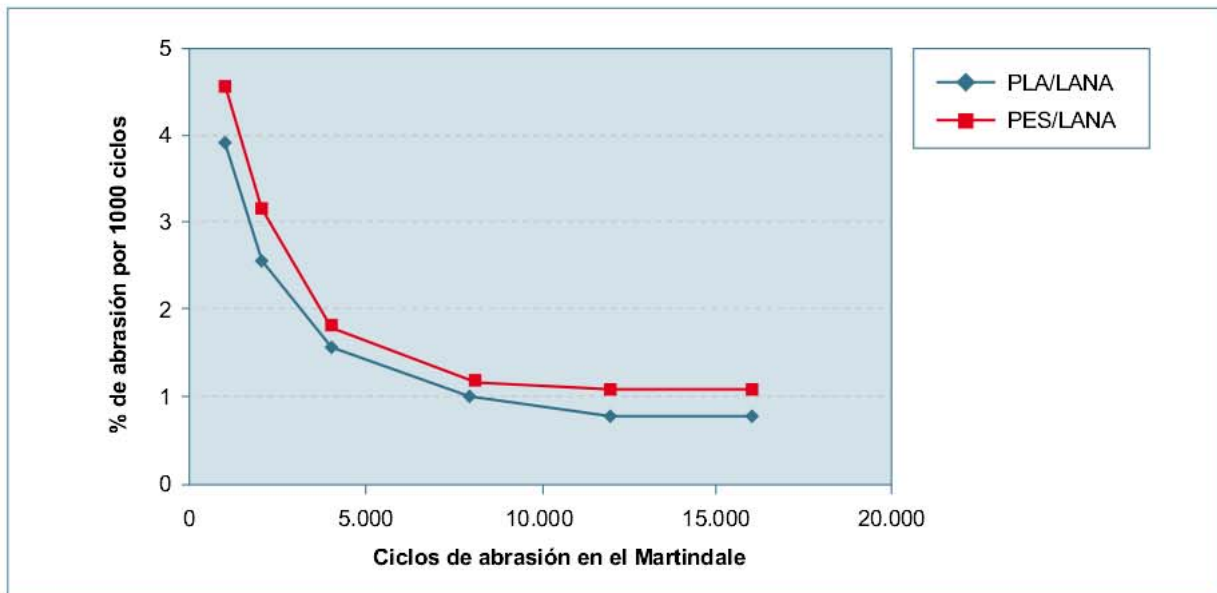


Figura 9. Porcentaje de abrasión por 1000 ciclos en función de los ciclos de abrasión

3.1. Envejecimiento en cámara climática

La evolución de la pérdida de resistencia con el tiempo de tratamiento en la cámara climática en las condiciones de ensayo se incluye en la Fig. 7. Se observa que las dos fibras sintéticas son más sensibles a los tratamientos hidrotérmicos en presencia de luz UV que el algodón.

3.2. Compostaje

La evolución de la pérdida de resistencia con el tiempo de compostaje en las condiciones de en-

sayo se incluye en la Fig. 8. En este caso, la pérdida de resistencia del algodón es superior a la de la polilactida y esta superior a la del poliéster.

4. Mezclas PLA/lana

Los tejidos de mezcla PLA/Lana, se fabricaron con fibra cortada de PLA Ingeo SLW1370 (75 mm, 3 dtex) suministrada en cinta de peinado para mezclar con cinta de lana y proceder a la hilatura, tisaje, tejido y acabado. La fibra fue suministrada por "Peinage du Mortier" perteneciente a

Tabla 6. Resultados de abrasión y resistencia al estallido de tejidos PES/Lana y PLA/Lana

Composición	Acabado	Ciclos abrasión	Masa inicial (g)	Pérdida masa (g)	Resistencia estallido (N)	Deformación estallido (mm)
PES/LANA	A	0	0,1919	0,0000	55,67	4,87
		1000	0,1923	0,0044	55,76	4,83
		2000	0,1910	0,0068	51,65	4,71
		4000	0,1925	0,0066	60,51	5,08
		8000	0,1914	0,0091	47,92	4,65
		12000	0,1911	0,0150	40,81	4,35
		16000	0,1915	0,0228	34,00	4,26
	B	0	0,1923	0,0000	48,94	5,00
		1000	0,1936	0,0062	49,63	4,93
		2000	0,1942	0,0079	51,29	5,06
		4000	0,1951	0,0103	49,09	5,04
		8000	0,1941	0,0118	49,73	5,10
		12000	0,1924	0,0146	46,54	5,05
		16000	0,1924	0,0173	47,40	5,18
PLA/LANA	A	0	0,2332	0,0000	79,49	5,60
		1000	0,2337	0,0046	80,08	5,66
		2000	0,2331	0,0066	70,01	5,45
		4000	0,2340	0,0069	80,04	5,81
		8000	0,2306	0,0083	73,89	5,31
		12000	0,2346	0,0109	70,01	5,45
		16000	0,2343	0,0146	65,94	5,31
	B	0	0,2327	0,0000	60,70	5,03
		1000	0,2340	0,0065	64,08	5,23
		2000	0,2331	0,0078	70,27	5,41
		4000	0,2339	0,0109	60,26	5,29
		8000	0,2345	0,0146	62,79	5,46
		12000	0,2325	0,0160	57,05	5,23
		16000	0,2326	0,0196	57,30	5,32

la multinacional “Textile Fibres International”. Se han fabricado hilos Siro 2/60 Nm a 640/660m⁻¹ de torsión en la hilatura industrial Antero Brancal e Filhos, bajo el control de los investigadores del proyecto pertenecientes a la UBI (Universidade da Beira Interior) con las siguientes composiciones:

- Hilos de mezcla PLA/Lana (55/45)
- Hilos de Poli éster/PLA (55/45).

La fibra poli éster de contraste fue Trevira 340 de 2.4 dtex. Con estos hilos se han fabricado 4 pie-

zas de tejido, 2 de PLA/Lana y 2 de PES/Lana, con distintos ligamentos y masa laminar (sarga de 3 con 200 g/m² y tafetán con 170 g/m²). Los tejidos con idéntica estructura, únicamente se diferencian en composición. Se ha optimizado en los laboratorios de la UBI el proceso de tintura y acabado (7) que se ha efectuado en planta industrial. Los resultados obtenidos en cuanto a igualdad de tintura en tono gris fueron satisfactorios, si bien la pérdida de propiedades mecánicas se atribuye a la propia estructura del hilo Sirospun, ya que en lugar de tratarse de un hilo

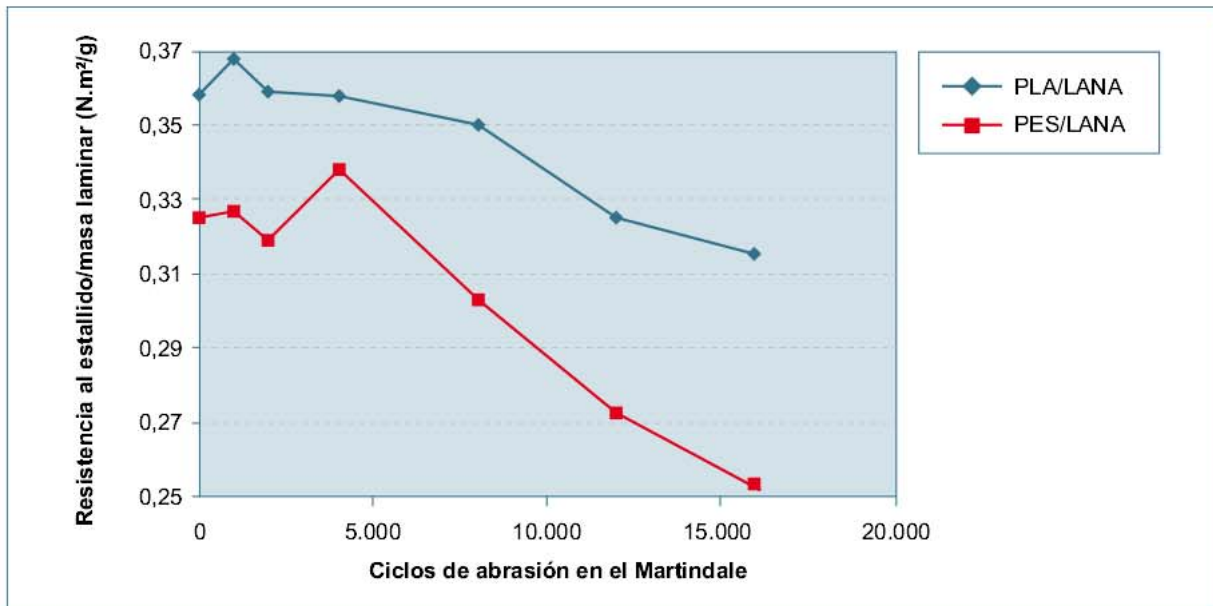


Figura 10. Relación entre la resistencia al estallido y la masa laminar en función de los ciclos de abrasión

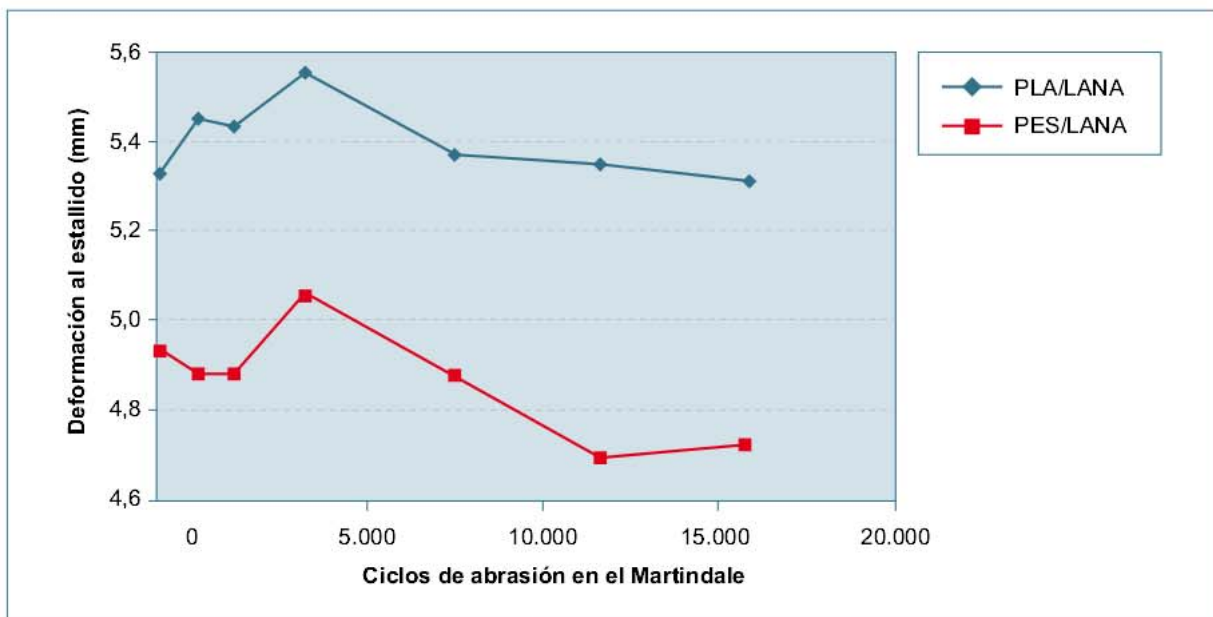


Fig. 11. Deformación al estallido en función del número de ciclos

de dos cabos convencional, se obtiene por retorción de una doble mecha que intenta reproducir la estructura de un hilo de dos cabos con menor consistencia. Si bien la pérdida de propiedades mecánicas después de tinte puede llegar a ser considerable, presentan algún aspecto que debe mejorarse en relación con la solidez, en especial a la limpieza en seco. La solidez de las tinturas al lavado y al frote puede calificarse como de nivel 3-4 y 4 respectivamente. En relación con la determinación de la vida útil de los tejidos destinados a confección uno de los procedimientos

más utilizados es el de la determinación de la resistencia a la abrasión de los tejidos y calcular la pérdida de masa del tejido después de un determinado número de ciclos de ensayo, así como la resistencia al estallido después del ensayo de abrasión.

Además de la pérdida de masa que puede afectar al aspecto externo del tejido, conviene determinar el número de ciclos de abrasión que el tejido puede soportar sin afectar a sus propiedades mecánicas. Esta estimación puede efectuarse some-

Anexo 1. Investigadores y técnicos de los diferentes subproyectos

Microestructura, caracterización y propiedades de las fibras de polilactida (MAT2007-66569-C02-01). Institut d'Investigació Tèxtil de Terrassa (Universitat Politècnica de Catalunya)

Investigadores: Dra. Diana Cayuela, Prof. A. Riva, Prof. A. Naik, Prof. I. Algaba y L.A. Montero (doc-toranda).

Técnicos: R. Prieto, M.C: Escamilla, P. Ferrer y D. Filgueira.

Estudiantes: C. Morales, J. Díaz, M. Riba, E. Vidal y M. Bretones

Caracterización, propiedades y aplicaciones de las fibras de polilactida (MAT2007-66569-C02-02). Institut de Química Avançada de Catalunya (CSIC) y Universidade da Beira Interior (Covilhã, Portugal)

Investigadores: Dr. Albert M Manich, Prof. Rui Miguel, Prof. F. Franco, Prof. J. Lucas

Técnicos: J. Carilla, A. López, C. Ferrero, R. Mateu, B. Baena, D. López.

Anexo 2. Técnicas de caracterización

Encogimientos

Los encogimientos se han determinado siguiendo la norma UNE-EN 13844. Para la determinación del encogimiento en seco, se tratan madejas de hilo a 120°C durante 10 minutos y se mide la longitud inicial (L_0) y la final (L). Para la determinación del encogimiento en húmedo, se tratan madejas de hilo en un Linitest a 95°C durante 15 minutos. Se mide la longitud inicial (L_0) y la final (L) de las madejas.

El encogimiento se determina:

$$\text{Encogimiento (\%)} = \frac{(L_0 - L)}{L_0}$$

Curva carga/alargamiento

Los parámetros mecánicos se han determinado en un dinamómetro automático Uster Tensokid, modelo PE 4056 siguiendo la Norma UNE-EN ISO 2062:2010.

Tintura

La receta de tintura es la siguiente:

Azul disperso S-2GRL 200% 0,1% s.p.f

pH..... 6

Relación de baño 1/100

El proceso de tintura se describe en la Fig. 10.

Envejecimiento en cámara climática

Los tratamientos de envejecimiento se han realizado en una cámara climática Binder GmbH, modelo: 240-KBF-ICH (E5). Las condiciones del tratamiento han sido: temperatura nominal: 52°C, humedad relativa: 85%, luz UVA: 1,4 W/m².

Compostaje

Se preparan las muestras enterrándolas verticalmente en un soporte cerámico que contiene un sustrato de las siguientes propiedades:

– Composición: turba rubia, negra y compost vegetal

– Materia orgánica, 85%

– pH (H₂O): 6,5

– Cloro: 160 mg/l

– Humedad máxima: 40%

– Conductividad eléctrica: 0,13 Ohm/cm

Se introduce el conjunto en una incubadora a 37°C y se extraen muestras cada 7 días. Se determina la resistencia y el peso molecular o grado de polimerización de los sustratos.

Ensayos de abrasión

Para efectuar los ensayos de abrasión se utilizó el abrasímetro Martindale y se determinó la pérdida de masa de las muestras después de someterlas a un determinado número de ciclos de abrasión frente a tejido estándar de acuerdo con la norma BS 5690-1979. Para ello se troquelan cuatro probetas circulares de 3,9 cm de diámetro (11,9459 cm²) del tejido que se acoplan a los cabezales de abrasión, los cuales presentan el 60% de la superficie del tejido a friccionar contra el tejido estándar. Terminados los ciclos de abrasión se determina la masa de las muestras y, por diferencia, la pérdida de masa, que puede expresarse en % de pérdida de masa por 1000 ciclos de abrasión.

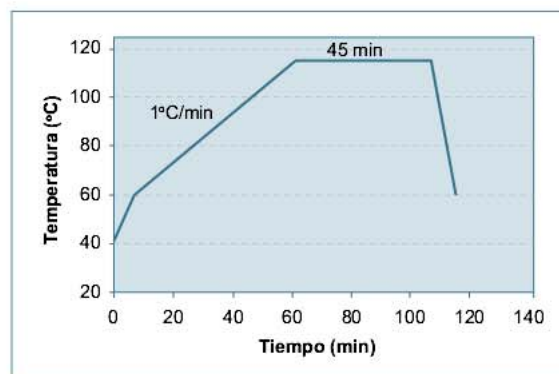


Fig. 10. Proceso de tintura

tiendo las probetas abrasionadas a un ensayo de resistencia al estallido (6) y así, además de obtener la pérdida de masa, se calcula la resistencia y la deformación al estallido con arreglo al número de ciclos de abrasión. En la **Tabla 6** se dan los valores de masa inicial, pérdida de masa y resistencia y deformación al estallido de las muestras de PLA/Lana y PES/Lana siguiendo dos procedimientos de acabado distintos A y B habitualmente utilizados en la empresa Fitecom.

El análisis de la evolución de la pérdida de masa en % de materia abrasionada por 100 g de tejido por 1000 ciclos en función del número de ciclos de abrasión (**Fig. 9**) pone de manifiesto que la pérdida por abrasión es superior en los tejidos de PES/Lana que en los de PLA/Lana y que a partir de los 12000 ciclos de abrasión esta se estabiliza, siendo inferior para la mezcla PLA/Lana que para la mezcla PES/Lana.

La resistencia al estallido en función de la masa laminar de los tejidos (**Fig. 10**), pone de manifiesto el mejor comportamiento de las mezclas PLA/Lana en relación con las de PES/Lana. Se observa el efecto de los primeros ciclos de abrasión en el enfieltado de la superficie de los tejidos más intenso en el caso de la mezcla PES/Lana, que mantiene las propiedades mecánicas del tejido hasta los 4000 ciclos de abrasión y como, a partir de este valor, la pérdida de resistencia con los ciclos de abrasión es más acusada en el tejido PES/Lana que en el tejido PLA/Lana.

La deformación al estallido (**Fig. 11**) confirma también el mejor comportamiento de las muestras de PLA/Lana en relación con las de PES/Lana, influencia que, en parte debe matizarse por la mayor masa laminar de los tejidos de PLA/Lana. No obstante, se observa también la evolución sostenida de este parámetro hasta los 4000 ciclos de abrasión y como, a partir de este nivel, el deterioro de esta característica en el tejido de PES/Lana es superior a la del tejido de PLA/Lana.

De este estudio puede concluirse que a pesar de la pérdida de propiedades mecánicas que experimenta el PLA después de la tintura, en mezcla con fibras de lana presenta un comportamiento comparable al de las mezclas PES/lana de uso habitual en la industria textil convencional.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer al Ministerio de Ciencia e Innovación las subvenciones a los proyectos MAT2007-66569-C02-01 y MAT2007-66569-C02-02 bajo las que se han desarrollado estos trabajos.

También quieren agradecer a las siguientes empresas la aportación de muestras, preparación de sustratos y cesión de instalaciones para pruebas y ensayos: ANTEX, S.A., Peinage du Mortier (Textile Fibres International) y Antero Brancal e Filhos.

Referencias

- (1) L. Avrous, Polyactic Acid: Synthesis, Properties and Applications
- (2) Erwin T.H. Vinka, Karl R. Ra Lbagob, David A. Glassnerb, Patrick R. Gruberb, Applications of life cycle assessment to NatureWorks™ polylactide (PLA) production, *Polymer Degradation and Stability* 80 (2003), 403–419.
- (3) <http://www.bio-plus.cn/en/html/hangyeshishi/PLAyingyong/2010/1102/43.html>.
- (4) Perepelkin, K. E., *Fibre Chemistry*, 2002, vol. 34, Nº 2, p. 85.
- (5) Mezghani, K., Spruiell, J. E., *Polymer Science*, vol. 36, 1996, p. 1005.
- (6) Manich, A.M., Mart, M., Saur, R.M., de Castellar, M.D., Carvalho, J., *Text Res J*, vol. 76, Nº 1, 86-93
- (7) Franco, F., Lucas, J., Miguel, R., Manich, A., Cayuela, D., Carvalho, J., in "The environmental sustainability era: A dyeing study of the Wool/PLA Blend". 29th Dyes in History and Archaeology Meeting, Lisboa, 2010