

# EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE POLIESTERAMIDAS DERIVADAS DE LOS ÁCIDOS TARTÁRICO Y SUCCÍNICO

Angel T. Pérez-Rodríguez<sup>1</sup>, José M. Fernández-Santín<sup>2</sup>, Abdellilah Alla<sup>1</sup>, 

Sebastián Muñoz-Guerra<sup>2</sup>

[aperez@facing.uho.edu.cu](mailto:aperez@facing.uho.edu.cu)

<sup>1</sup>Grupo de Investigación de Materiales y Ambiente, Universidad de Holguín, Cuba <sup>2</sup>Departamento Ingeniería, Química, Universidad Politécnica de Cataluña, ETSIB, Barcelona, España

## ● Resumen

El trabajo se concibió con la finalidad de evaluar las propiedades mecánicas de poliesteramidas con 3 y 10 % de éster, obtenidas a partir de los ácidos tartárico y succínico. Las mismas constituyen polímeros que presentan potencial aplicación en el sector biomédico por su posible utilización en intervenciones quirúrgicas para hilos de sutura. La investigación se ha desarrollado en las áreas de caracterización y propiedades, centrando nuestro objetivo en el estudio del comportamiento mecánico de estos polímeros realizado a partir de muestras secas y húmedas. Se destaca que las poliesteramidas aparecen más dúctiles y más flexibles a medidas que se incrementa el contenido en grupos éster; tanto en seco como húmedas; el módulo elástico y la tensión máxima disminuyen, mientras que la elongación a rotura aumenta.

Palabras clave: poliesteramidas, propiedades mecánicas, ácidos tartárico y succínico.

## ● Abstract

This work was conceived with the purpose of evaluating the mechanical properties of the poliesteramides with 3 and 10 % of ester group, obtained from the tartaric and succinic acids. These same ones constitute polymers with a potential application in the biomedical sector for their possible use in surgical interventions for suture threads. The investigation has been developed in the characterization and property areas and our objective was the study of the mechanical behaviour of these polymers carried out starting from dry and humid samples. As results it is necessary to highlight that the poliesteramides appear more ductile and more flexible as the content is increased in ester groups; so much in dried as in humid poliesteramides, the elastic module and the maximum tension diminish, while the elongation to break increases.

Keywords: poliesteramides, mechanical properties, tartaric and succinic acids.

## ● Introducción

Durante las últimas décadas, se han realizado varios estudios dirigidos a la obtención de polímeros biodegradables /1-3/; los productos utilizados en la síntesis de estos materiales deben ser atóxicos y en este sentido, los de origen natural resultan atractivos. Entre estos, el ácido tartárico ha sido muy utilizado, ya que, unido a su atoxicidad, presenta una configuración compatible con la adopción de estructuras estereorregulares.

Las primeras poliamidas basadas en ácido tartárico aparecen en los años sesenta, y continúan a lo largo de los setenta /4/. La politartaramida más estudiada ha sido la poli(hexametilen tartaramida) que se obtiene a partir del tartárico y la 1,6 hexametildiamina.

Se han descrito diferentes métodos de síntesis para este polímero en solución y también basados en el empleo de matrices poliméricas con las que se persigue controlar el peso molecular /5/.

En el departamento de Ingeniería Química de la Universidad Politécnica de Cataluña, se ha sintetizado y caracterizado una serie de poliesteramidas que presentan potencial aplicación en el sector biomédico: a partir del ácido di-O-metil-L-tartárico, ácido succínico, dioles y diaminas, se obtuvieron varios lotes con contenidos de éster entre 1 y 20 % /6, 7/ y de hecho este ha sido el punto de partida de nuestro trabajo. Se trata de polímeros que presentan elevados pesos moleculares, considerable cristalinidad y buenas propiedades térmicas.

Para la presente investigación, se seleccionaron las poliesteramidas que contienen 3 y 10 % de grupos éster. Debido a la previsible utilización que pueden tener estos polímeros en cirugía para hilos de sutura, es necesario conocer su comportamiento mecánico tanto en seco como en húmedo, lo que constituye el objetivo de nuestro trabajo.

### **Fundamentación teórica**

Las poliamidas y sus derivados constituyen una familia de polímeros de amplio uso y de gran interés técnico, debido a las excelentes prestaciones que poseen.

Aunque las poliamidas convencionales, nylons 6; 6,6; 11, etcétera, poseen aceptables características mecánicas para ser utilizadas en biomedicina, la resistencia que ofrece el grupo amida a la degradación limita considerablemente su aplicación en este campo.

La inserción de grupos más fácilmente hidrolizables, como es el caso del grupo éster, en la cadena de una poliamida, dando lugar a poliesteramidas, conllevaría a la obtención de productos degradables que podrían ser utilizados en biomedicina.

En el caso que ocupa esta investigación, se trata de derivados de los ácidos tartárico y succínico, dioles y diaminas. La poliamida base resulta de diamina y ácido tartárico modificado. Por copolimerización con un diácido trímero obtenido a partir de ácido succínico y diol, se obtiene la poliesteramida. El contenido en grupos éster puede ajustarse mediante la relación de diácidos en la copolimerización.

Las poliesteramidas estudiadas en el presente trabajo, son copolímeros derivados de la poliamida **P6DMLT** obtenida a partir del ácido di-O-metil-L-

tartárico /6/. El método de síntesis utilizado es una adaptación del descrito por Katsarava (1984) para la obtención de poliesteramidas /8/, y consiste en la policondensación de los diácidos tartárico y succínico activados como diésteres, con la diamina trimetilsililada utilizando cloroformo como disolvente /7/.

La reacción se desarrolla a temperatura ambiente, añadiendo los monómeros en atmósfera inerte. La nomenclatura utilizada para los copolímeros que se obtienen es **P6STE<sub>x</sub>A<sub>y</sub>**: el dígito **6** indica el número de grupos metileno existentes en el diol y la diamina, siendo **x** e **y** los porcentajes de grupos éster y amida en la cadena polimérica.

Para la evaluación de las propiedades mecánicas se seleccionaron las poliesteramidas que contienen 3 y 10 % de grupos éster, **P6STE<sub>3</sub>A<sub>97</sub>** y **P6STE<sub>10</sub>A<sub>90</sub>**, respectivamente. En todos los casos se comparan los resultados con los obtenidos para la poliamida **P6DMLT** (0 % de grupos éster), en iguales condiciones de experimentación.

### **Métodos utilizados y condiciones experimentales**

#### **Caracterización**

**Viscosimetría capilar:** Las medidas se efectuaron en un viscosímetro capilar Cannon Ubbelohde tipo semi micro (modelo 150) termostatzado a  $25 \pm 0,1$  °C en un baño de agua. Se utilizó ácido dicloroacético como disolvente, en el rango de concentraciones 1 a 0,35 %. El peso molecular se calculó a partir de la medida de la viscosidad intrínseca, aplicando los parámetros **K** =  $3,52 \cdot 10^{-3} \text{ dl g}^{-1}$  y **a** = 0,551 para el nylon 6,6 en ácido dicloroacético (DCA).

**Cromatografía de permeabilidad en gel (GPC):** En el trabajo se ha utilizado un cromatógrafo Waters equipado con dos columnas de 10000 y 1000 Å de estireno-divinilbenceno, termostatzadas a 35 °C, con detector de índice de refracción. El eluyente lo constituyó una mezcla de cloroformo/ortoclorofenol (95/5 v/v) y flujo de  $0,5 \text{ mL min}^{-1}$ . El volumen inyectado fue de 50 microlitros y la concentración de las muestras de 5 mg/mL. El registro digitalizado se trató con el programa máxima 820 (Waters). Los pesos moleculares se refieren a un calibrado con patrones de poliestireno.

**Espectroscopía de resonancia magnética nuclear (RMN):** Los espectros de protón se registraron en un aparato Bruker AMX 300 operando a 300,13 MHz y temperatura ambiente. Se usaron disoluciones limpias a concentración de 2-5 mg mL<sup>-1</sup> y se añadió trimetilsilano disuelto en cloroformo deuterado como referencia. El disolvente más habitual fue el ácido trifluoroacético.

**Calorimetría diferencial de barrido (DSC):** Se han utilizado aparatos Perkin-Elmer DSC-4 y DSC-6 Pyris-1 con purga de nitrógeno y cápsulas cerradas de aluminio conteniendo 5-10 mg de muestra, preparadas para asegurar buen contacto térmico con las celdas del instrumento.

Sistemáticamente se han efectuado cuatro barridos a fin de observar mejor los fenómenos que ocurren y comprobar la reproducibilidad de los resultados. Las calorimetrías se llevaron a cabo con muestras en forma de film y el polvo de la síntesis, registrando un primer barrido a una velocidad de 20 °C min<sup>-1</sup>. En este pueden aparecer uno o varios picos de fusión, que corresponden a dominios cristalinos diferentes.

Inmediatamente después de la fusión, se procede al enfriamiento lento de la muestra (10 °C min<sup>-1</sup>), pudiéndose observar un mínimo que se identifica con una transición exotérmica, correspondiente a la cristalización del material.

Para determinar la temperatura de transición vítrea del polímero, se realiza un segundo barrido a la misma velocidad que el primero (este nos permite, a su vez, verificar la reproducibilidad de las fusiones observadas) seguido de un enfriamiento rápido a la máxima velocidad que permite el calorímetro y un tercer calentamiento a 40 °C min<sup>-1</sup>.

El enfriamiento rápido a la máxima velocidad que permite el calorímetro, se corresponde con un "quenching" moderado, y no es suficiente como para obtener el polímero amorfo, por lo que, en algunos casos, la Tg es difícil de observar.

**Higroscopicidad:** La higroscopicidad en los polímeros depende de la polaridad: con el aumento del número de grupos polares en la molécula aumenta la capacidad de absorción de agua por el material. Sin embargo, no es fácil establecer una expresión que relacione ambas variables, debido a que todos los

grupos polares presentes en la molécula no son accesibles por igual a la absorción de humedad; en particular es importante el grado de cristalinidad pues las zonas amorfas son mucho más accesibles que las cristalinas y en consecuencia la absorción será mayor.

En las poliamidas, la polaridad aumenta con la relación de grupos amida a metileno y la cristalinidad puede variar apreciablemente con la forma de preparación de las probetas. Geometría de las probetas, temperatura y humedad ambiental, son también parámetros de evidente influencia que deberán elegirse en función del uso esperado.

La higroscopicidad se puede evaluar midiendo la cantidad de vapor de agua retenido por muestras del polímero inicialmente secas, después de haber sido mantenidas durante un período de tiempo determinado en una atmósfera con humedad relativa y temperaturas controladas.

Los ensayos de higroscopicidad se realizaron con probetas rectangulares de 30\*3 mm y espesores comprendidos entre 0,15 y 0,3 mm, en ambiente regulado a 23 °C y 55 % de humedad relativa. Se siguió la absorción de humedad por pesada a intervalos de tiempo determinados hasta que no se observaron más cambios. Los resultados se expresan como el porcentaje de aumento de peso respecto al inicial.

#### Evaluación de las propiedades mecánicas

**Preparación de películas. Control de la cristalinidad:** Se han formado películas por enfriamiento del fundido y a partir de la disolución. Controlando la velocidad de enfriamiento se puede intervenir en la morfología de la muestra enfriada, especialmente el tamaño de esferulita y el grado de cristalinidad. No se ha tratado de influir en la cristalización mediante agentes nucleantes.

Las muestras de cristalinidad media se han obtenido por enfriamiento lento. Para reducir la cristalinidad se ha enfriado lo más rápidamente posible. Para incrementarla, se han llevado a cabo tratamientos térmicos en atmósfera inerte y ocasionalmente bajo tensión, a temperaturas cercanas (20-30 °C) a la fusión.

Las películas se han formado en un molde preparado con hojas plegadas de papel de aluminio (la cantidad

de hojas regula el espesor) de 35\*35 mm que se sitúa entre placas metálicas recubiertas también con hojas de aluminio y untadas con una leve capa de silicona para evitar la adherencia. Las placas metálicas se colocan entre los platos de una prensa térmica de laboratorio con control de temperatura y regulación de presión.

Inicialmente el polímero se compacta por prensado (a 5 ton de presión) en forma de pastilla, aplicando vacío durante 10 min. La pastilla se coloca en el centro del molde, de manera que cuando se alcance la temperatura de fusión y se aplique la presión de moldeo, fluya en todas direcciones con la misma intensidad.

La compactación del polímero y una fluencia adecuada, permiten obtener películas sin microporos producidos por burbujas de aire, humedad o restos de disolvente, ni líneas de unión debidas al encuentro de flujos en direcciones opuestas que son causa de irregularidades y defectos.

Para favorecer la cristalización, se rebasa la temperatura de fusión lo justo para conseguir buena fluidez (10-15 °C), se eleva la presión a 3 ton y se controla la velocidad de enfriamiento.

En la obtención de las películas con baja cristalinidad, se calentó el polímero 30-40 °C por encima de su punto de fusión, manteniéndolo bajo presión durante 25-30 seg para la formación del film. Pasado este tiempo, el conjunto película-capas de aluminio-molde, se introduce en un baño de acetona-nieve carbónica a -80 °C.

Los productos también se han procesado a partir de disoluciones, por evaporación del disolvente. En este caso, se puede intervenir en la elección del disolvente y la velocidad de evaporación. Hay que elegir una concentración inicial adecuada, asegurar que la disolución es limpia y homogénea y cuidar de la uniformidad de condiciones durante la evaporación. La disolución se ha vertido en cápsulas Petri (7,5 cm de diámetro), colocadas normalmente en vitrina, sobre una superficie plana y donde no existan vibraciones, que se tapan o dejan al descubierto en dependencia de la velocidad de evaporación.

En cuanto al secado, los films obtenidos del fundido ya están previsiblemente secos, y se trata de

mantenerlos así. Para ello, se han mantenido en desecador bajo vacío a temperatura ambiente o inferior a 50 °C. Los formados por evaporación del disolvente son más difíciles en este aspecto pues para asegurar la expulsión del solvente y garantizar así su secado, habría que mantenerlos por encima de la Tg del material, y esto, a su vez, puede provocar la cristalización en muestras preparadas deliberadamente con baja cristalinidad.

Se ha adoptado una solución de compromiso según cada caso, aunque en algunas experiencias se han obtenido resultados atribuibles a restos de disolvente.

**Ensayos de tracción. Geometría de probetas. Condiciones:** La evaluación de la capacidad de un material para soportar cargas y deformarse cuando se encuentra bajo tensión, permite caracterizar, desde un punto de vista mecánico, a un polímero. El ensayo de tracción es probablemente el más utilizado, por la visión de conjunto que da sobre las características mecánicas del material.

Los ensayos de tracción realizados en el trabajo se llevaron a cabo en un minitensiómetro Miniature Materials Tester (Minimat) de Polymer Laboratories a temperatura y humedad determinadas. El Minimat es un dinamómetro horizontal con velocidad regulable (desde 0,01 hasta 99,9 mm min<sup>-1</sup>) controlado por software para el almacenamiento de datos y el trazado de las curvas tensión-deformación, simultáneamente a la realización del ensayo.

La célula de carga permite fuerzas de hasta 200 N, pudiéndose realizar las experiencias desde temperatura ambiente hasta 150 °C. El máximo alargamiento que se puede alcanzar es del 900 % (350 % si se usa la cámara de calentamiento) cuando la distancia inicial entre mordazas es 10 mm.

En cuanto a la geometría de las probetas, cualquiera sea el tipo utilizado debe lograrse, mediante sollicitación uniaxial, el reparto inicial homogéneo de la tensión a lo largo de toda la sección y que el estrangulamiento que precede a la rotura, se produzca entre las mordazas y no en el punto de fijación. También hay que contar con las limitaciones de las cantidades disponibles de polímero debido a que en las síntesis a escala de laboratorio, por lo general, y en particular este caso, se obtienen cantidades reducidas lo que limita la obtención de probetas estandarizadas.

Se han ensayado dos alternativas: corte mediante un troquel de miniprobetas con forma de halterio y corte de tiras rectangulares mediante cuchilla, sobre una placa de vidrio con escuadra acoplada; en este caso el corte debe ser limpio para evitar grietas provocadas por desgarraduras a lo largo del espécimen.

Existen normas para la preparación y dimensiones de probetas rectangulares que son las que se han utilizado en los ensayos de tracción del presente trabajo (ASTM D882 y D1708), y se ha procurado ceñirse a ellas en lo posible.

Se han utilizado probetas rectangulares de 30\*3 mm y espesores de 0,05-0,3 mm. La desviación principal está en la longitud de las probetas, que es inferior a la exigida, debido a los límites del equipo utilizado en los ensayos.

El ancho de las probetas se midió con un proyector de perfiles Nikon modelo 6C, amplificando diez veces, y verificando que los cortes fueran rectos y que no existieran grietas en

los bordes. Las medidas del espesor se realizaron con un micrómetro modelo Uno-Check FE, calibrado para 0,05 y 0,295 mm. Se apartaron las probetas que no cumplieran con las condiciones requeridas para las medidas. Los ensayos de tracción se llevaron a cabo, en todos los casos, con más de cinco probetas obtenidas a partir de películas semicristalinas.

## ● Resultados y su discusión

### *Caracterización fisicoquímica de las poliesteramidas*

Los polímeros seleccionados para el estudio de sus propiedades mecánicas fueron la **P6DMLT**, **P6STE<sub>3</sub>A<sub>97</sub>** y **P6STE<sub>10</sub>A<sub>90</sub>** con contenidos de éster de 0, 3 y 10 %, respectivamente. La caracterización físico-química se llevó a cabo mediante viscosimetría capilar y GPC. Los resultados se muestran en la tabla 1. Se aprecia que los polímeros son de tamaño adecuado, polidispersidad aceptable y composición prácticamente coincidente con la nominal.

**TABLA 1. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LAS POLIESTERAMIDAS**

Polímero	$[\eta]$ (dL g <sup>-1</sup> ) <sup>a</sup>	$M_v$ 10 <sup>-3</sup>	$M_w$ 10 <sup>-3</sup> b	PD b	Ester/Ámida c
P6DMLT	2,34	133	388	2,2	0/100
P6STE <sub>3</sub> A <sub>97</sub>	0,81	19	63,4	3,6	3,1/96,9
P6STE <sub>10</sub> A <sub>90</sub>	2,16	115	177	4,9	9,6/90,4

<sup>a</sup> Determinada en ácido dicloroacético a 25 °C.

<sup>b</sup> Calculado por GPC en cloroformo/ortoclorofenol (95/5). PD: polidispersidad.

<sup>c</sup> Relación entre grupos éster y grupos amida, determinados por <sup>1</sup>H RMN.

### *Propiedades térmicas*

El estudio de las propiedades térmicas se realizó mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC) utilizando muestras en polvo y películas formadas por evaporación. Los datos obtenidos se resumen en la tabla 2. A medida que aumenta el contenido en éster, disminuyen las temperaturas de transición vítrea, de fusión y de cristalización.

### *Higroscopicidad*

En la tabla 3 se muestran los datos correspondientes a la cantidad de agua que absorben las poliesteramidas

expuestas en condiciones ambientales durante tiempos determinados. Los resultados indican que estos materiales pueden absorber entre un 2,2 y 3,5 % de humedad en condiciones ambientales. Dicha absorción ocurre, prácticamente, en las primeras 72 h de exposición, siendo absorbida la mayor parte del agua en las primeras 24 h. Por otra parte, a medida que aumenta la cantidad de éster en el polímero, disminuye la capacidad de absorción de agua: la P6DMLT absorbe un 3,5 %, mientras que P6STE<sub>10</sub>A<sub>90</sub> sólo llega a absorber un 2,2 %.

TABLA 2. CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DE LAS P6DMLT Y P6STE<sub>x</sub>A<sub>y</sub>

Polímero	T <sub>m</sub> (°C)	ΔH <sub>m</sub> (cal g <sup>-1</sup> )	T <sub>c</sub> (°C)	ΔH <sub>c</sub> (cal g <sup>-1</sup> )	T <sub>g</sub> (°C)
P6DMLT	230	8,2	203	6,1	106
P6STE <sub>3</sub> A <sub>97</sub>	226	7,4	193	7,2	92
P6STE <sub>10</sub> A <sub>90</sub>	221	7,3	190	5,7	88

T<sub>m</sub>: temperatura de fusión registrada en el primer barrido de calentamiento, 20 C min<sup>-1</sup>.

T<sub>c</sub>: temperatura de cristalización registrada durante el enfriamiento lento a 10 °C min<sup>-1</sup>.

DH<sub>m</sub> y DH<sub>c</sub>: entalpía de fusión y cristalización a T<sub>m</sub> y T<sub>c</sub>.

TABLA 3. POR CIENTO DE AGUA ABSORBIDA POR P6STE<sub>x</sub>A<sub>y</sub> EN CONDICIONES AMBIENTALES<sup>a</sup>

Poliesteramida	Tiempo de exposición (h)						
	1	8	12	24	48	72	120
P6DMLT	1,43	2,24	2,54	3,04	3,44	3,54	3,54
P6STE <sub>3</sub> A <sub>97</sub>	0,61	1,01	1,33	1,97	2,26	2,38	2,40
P6STE <sub>10</sub> A <sub>90</sub>	1,04	1,66	1,90	2,06	2,14	2,20	2,20

<sup>a</sup> Probetas rectangulares expuestas durante tiempos determinados a 23 °C y humedad relativa del 55 %.

De lo anterior se ponen de manifiesto dos hechos significativos: el carácter altamente higroscópico de estos materiales y la rapidez con que absorben la humedad en condiciones ambientales. Ambos factores deberán tenerse en cuenta cuando se manipulen las muestras fuera del desecador.

### Comportamiento mecánico de las poliesteramidas

Las propiedades mecánicas de las poliesteramidas secas y en humedad ambiental, se determinaron para P6DMLT, P6STE<sub>3</sub>A<sub>97</sub>, P6STE<sub>10</sub>A<sub>90</sub>.

#### Propiedades mecánicas en seco

Las curvas tensión-deformación para P6DMLT, P6STE<sub>3</sub>A<sub>97</sub>, P6STE<sub>10</sub>A<sub>90</sub> exhiben un punto de inflexión correspondiente a la tensión máxima (σ<sub>m</sub>) que se alcanza entre un 5 y 10 % de deformación, seguido de fluencia con posterior rotura del material. Los valores del

módulo elástico (E) se encuentran entre 1 250 y 1 800 MPa, el alargamiento a rotura (ε<sub>m</sub>) varía entre 60 y 200 %, mientras que la tensión máxima está entre 51 y 63 MPa.

#### Propiedades mecánicas en húmedo

Con el objetivo de determinar la influencia de la humedad en las propiedades mecánicas de las poliesteramidas, se realizaron ensayos de tracción con las probetas expuestas, durante tiempos determinados, en las condiciones ambientales antes descritas. Los resultados comparados en seco y en húmedo, se muestran en la tabla 4. Para los polímeros húmedos se tomaron los parámetros de las probetas que permanecieron expuestas durante 24 h.

Para las probetas húmedas el módulo varía entre 700 y 1 300 MPa, el alargamiento se encuentra entre 130 y 290 % y la tensión máxima entre 35 y 43 MPa.

TABLA 4. COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LAS POLIESTERAMIDAS SECAS Y HÚMEDAS

Poliesteramida	$\sigma_m$ (MPa)		E (MPa)		$\epsilon_m$ (%)	
	S	H	S	H	S	H
P6DMLT	63	43	1 800	1 300	60	130
P6STE <sub>3</sub> A <sub>97</sub>	49	39	1 400	900	90	140
P6STE <sub>10</sub> A <sub>90</sub>	51	35	1 250	700	200	290

S: probetas secas; H: probetas húmedas (expuestas en condiciones ambientales durante 24 h).



## Conclusiones

· *Se evaluaron las propiedades mecánicas de poliesteramidas obtenidas a partir de los ácidos tartárico y succínico.*

· *El comportamiento mecánico de la poliamida P6DMLT se afecta considerablemente cuando se incorporan a la cadena pequeñas cantidades de grupos éster.*

· *Las poliesteramidas aparecen más dúctiles y más flexibles a medida que se incrementa el contenido en grupos éster. Tanto en seco como húmedas, el módulo elástico y la tensión máxima disminuyen, mientras que la elongación a rotura aumenta.*

· *El efecto plastificante del agua es muy acusado: la humedad absorbida al cabo de 24 h produce el mismo efecto sobre muestras secas que la incorporación de un 10 % de éster.*



## Bibliografía

1. AIBA, S. *et al.* "Laminates Composed of Polypeptides and Elastomers as A Burn Wound Covering-Physicochemical Properties". En *Biomaterials*. Vol. 6, núm. 5, 1985, págs. 290-296.
2. DESIMONE, V., G. MAGLIO, R. PALUMBO, V. SCARDI. "Synthesis, Characterization, and Degradation of Block Polyesteramides Containing Poly(l-lactide) Segments". *Journal of Applied Polymer Science*. Vol. 46, núm. 10, 1992, págs. 1813-1820.
3. GONSALVES, K. E., X. CHEN, J. A. CAMERON. "Degradation of Nonalternating Poly(ester-amides)". En *Macromolecules*. Vol. 25, 1992, págs. 3309-3312.
4. OGATA, N., Y. HOSODA. "Synthesis of Hydrophilic Polyamide by Active Polycondensation". *Journal of Polymer Science: Part C - Polymer Letters*. Vol. 12, núm. 6, 1974, págs. 355-358, 1974.
5. OGATA, N. *et al.* "Polycondensation Reaction of Dimethyl Tartrate with Hexamethylenediamine in the Presence of Various Matrices". *Journal of Polymer Science: Part A - Polymer Chemistry*. Vol. 18, núm. 3, 1980, págs. 939-948.
6. BOU, Jordi. *Síntesis y caracterización de poliamidas derivadas del ácido tartárico*. Barcelona; Departamento de Ingeniería Química. Universidad Politécnica de Cataluña, 1994. Págs. 21-39 (Tesis Doctoral).
7. ALLA, Abdellilah. *Síntesis y degradación de poliesteramidas derivadas del ácido tartárico*. Barcelona, Departamento de Ingeniería Química. Universidad Politécnica de Cataluña, 1997. Págs. 75-103 (Tesis Doctoral).
8. KATSARAVA, R. M., D. P. KAHRADZE, L. M. AVALISHVILI, M. M. ZAALISHVILI. "Synthesis of Polyamides from Active Bis(Pentafluorophenyl) Esters of Dicarboxylic-Acids and Diamines". En *Makromolekulare Chemie-Rapid Communications*. Vol. 5, núm. 9, 1984, págs. 585-591.