

Document downloaded from:

<http://hdl.handle.net/10251/44257>

This paper must be cited as:

Gil Santos, L.; Más Estellés, J.; Salmerón Sánchez, M.; Barrios, C. (2012).
Comportamiento mecánico de tres tipos de anudados quirúrgicos usando monofilamentos
de 4/0. Cirugía Española. 90(6):388-393. doi:10.1016/j.ciresp.2012.02.001.



The final publication is available at

<http://dx.doi.org/10.1016/j.ciresp.2012.02.001>

Copyright Elsevier

Comportamiento mecánico de 3 tipos de anudados quirúrgicos usando monofilamentos de 4/0

Luis Gil Santos^{a,b}, Jorge Más-Estellés^a, Manuel Salmerón Sánchez^a y Carlos Barrios^b

^a Centro de Biomateriales e Ingeniería Tissular, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España

^b Instituto de Investigación en Enfermedades Músculo-Esqueléticas, Facultad de Medicina, Universidad Católica de Valencia, Valencia, España

RESUMEN

Objetivo: Estudiar experimentalmente mediante ensayos mecánicos el comportamiento de 4 tipos de monofilamento de 4/0 con 3 diseños de nudo, muy frecuentemente utilizados en cirugía.

Material y Métodos: Se eligieron 4 monofilamentos, dos de nylon 6 (Ny-1, Ny-2) y otros dos de polipropileno (Ppl-1, Ppl-2). Sobre cada hilo se realizaron 3 diseños de nudo, siempre con tres seminudos. Un primer diseño (D-S-S) consistía en un seminudo doble (D) seguido de un seminudo simple (S) en dirección contraria y un tercer S a su vez en dirección contraria. Un segundo diseño de nudo (D-S-D) lo formaban un D, seguido de otro S en dirección contraria, más un tercer D en dirección contraria. El tercer diseño (S-S-D) se realizaba con un S, seguido de otro S en dirección contraria, más un tercer D en dirección contraria. Los ensayos mecánicos se llevaron a cabo en una máquina hidráulica de ensayos tensión-deformación Microtest con una resolución menor de 10 μ m en medidas de posición, y 0,1 N en medidas de fuerza. Se realizó un ensayo de rotura por estiramiento del hilo a una velocidad de 4 N/s, registrándose tanto la fuerza como la posición de una mordaza móvil en intervalos de 100 ms (10 medidas/s).

Resultados: En los ensayos llevados a cabo sobre hilos con nudos, se constató una disminución tanto en la fuerza como en la deformación de rotura para todos los nudos ensayados en relación a los hilos sin nudos. En todos los casos, la rotura del hilo se producía en la zona del nudo, presumiblemente debido a los daños causados al hilo durante el proceso de anudado. El tipo más apropiado de nudo dependía del hilo utilizado: mientras el nudo Doble-Simple-Doble (D-S-D) es el que mayor resistencia presentaba con los hilos de polipropileno, el Simple-Simple-Doble (S-S-D) es el que mayor resistencia proporciona con los hilos de Nylon 6.

Conclusiones: Los hilos de polipropileno, por su alto módulo de elasticidad y resistencia a la rotura, estarían más indicados para suturar tejidos que debieran soportar grandes fuerzas y con poca deformación de la sutura (p.ej., tendones). Un diseño de nudo DSS asegura una mayor resistencia a la rotura. Los hilos de Nylon 6 estarían mejor indicados para tejidos que tuvieran que soportar fuerzas más pequeñas y que precisaran de mayor elasticidad (p.ej., la piel). Un diseño con un nudo simple en primer lugar provocará menores daños en estos tejidos.

Palabras clave: Ensayo mecánico, Suturas, Polipropileno, Nylon

Introducción

La elección del material de sutura y su adecuado anudado para utilizar en diferentes situaciones continua siendo un problema controvertido ¹⁻³. Algunos cirujanos efectúan suturas de manera empírica, o de modo artesanal rutinario, sin cuestionarse los problemas inherentes a la realización de las mismas, el porqué hacer un nudo u otro. El conocimiento de las prestaciones de distintos hilos y anudados (usos y formas) ayudará a elegir el material más adecuado, así como el tipo de seminudo y el orden en que éstos deben realizarse (¿cuántos y en qué orden?) y el procedimiento de anudado específico a emplear (¿qué tipo de anudado?).

Al practicar nudos, conviene utilizar hilos con escasa memoria (capacidad de recuperar su forma original tras efectuar el nudo), lo que los hace más manejables y más flexibles, aspecto en el que influye, en relación inversa, el diámetro del hilo; a mayor diámetro menor flexibilidad ^{4,5}. Los hilos de sutura deben tener un tamaño físico definido (a ser posible el menor diámetro con la mayor resistencia tensil) y estar concebidos para soportar las fuerzas a las que pueda estar sometido durante su vida útil; es decir, hasta que se complete la cicatrización del tejido en el que se está empleando ^{6,7}.

Los hilos monofilares tienen la ventaja de ser menos traumáticos para los tejidos que atraviesan, por su bajo coeficiente de fricción, pero esa misma característica hace que los nudos sean menos seguros. Con estos materiales hay que hacer mayor cantidad de nudos para prevenir que éstos se deslicen. Además, la menor adherencia bacteriana por su menor y más lisa superficie ⁸ y su menor efecto capilaridad, favorecen el uso de monofilamentos.

La mayor superficie de contacto y la mayor fricción entre los hilos, suponen también una mayor seguridad de los nudos, por lo que parece lógico pensar que nudos dobles tengan mayor poder de sujeción. De hecho, los materiales poliméricos, tienen tendencia a soltarse tras haber ajustado el nudo, debido a su rigidez, por lo que se aconseja efectuar seminudos o semivuelts en sentido contrario al seminudo inmediatamente anterior, conformando con este un nudo de rizo. Para conseguir nudos más seguros, el método más empleado es el diseño DSS que consiste en realizar una primera lazada o seminudo doble (D), una segunda lazada simple (S) y en sentido contrario conformando un rizo con la anterior (lo que evitará que se deshaga el nudo). La mayoría de cirujanos añaden una tercera lazada simple (S) en sentido contrario a la segunda, conformando también un rizo con la anterior, como medida de seguridad.

Mientras la ingeniería química, persigue la obtención de nuevos polímeros que satisfagan las exigencias de la sutura de distintos tejidos ^{4,5}, los cirujanos solamente pretendemos una solución técnica eficaz: encontrar un método de anudado adecuado con los polímeros existentes. Entre los principales factores ligados a la obtención de un buen resultado a la hora de

suturar un tejido están las propiedades de los hilos y/o los diseños de anudados⁴.

Objetivo

El objetivo de este trabajo se centra en el análisis de las propiedades mecánicas de diversos hilos de sutura y anudados. Para ello, se realiza un ensayo mecánico de 4 monofilamentos con tres diseños de nudo muy frecuentemente utilizados en cirugía. El propósito central de la investigación fue constatar cuál de los tres diseños de anudado que se ensayan se comporta con menor debilitamiento del hilo. Se trata, en definitiva, de un estudio mecánico experimental que intenta aclarar qué materiales y qué anudados elegir en función de sus características intrínsecas de los hilos y anudados más frecuentemente empleados en cirugía.

Materiales y métodos

Se realizó un estudio experimental del comportamiento mecánico de 4 tipos de monofilamentos de 4/0 (con un diámetro de 0,19 mm en todos los casos). Dos hilos estaban compuestos de nylon (Ny-1, Ny-2) y otros dos de polipropileno (Ppl-1, Ppl-2).

Los distintos tipos de nudo ensayados se realizaron siempre con tres seminudos, que es el número generalmente aceptado para asegurar su estabilidad del nudo.⁹ Se utilizaron 3 de los diseños de nudo más frecuentemente empleados en la clínica diaria (fig. 1).

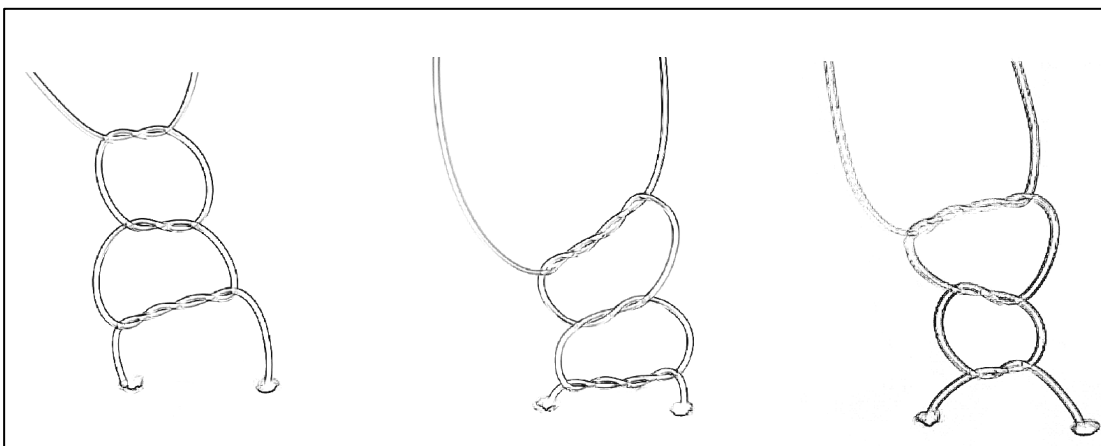


Fig.1. Tipos de nudos ensayados a) *Un primer diseño de nudos (D-S-S) consistía en dos seminudos simples (Doble D) en la misma dirección, seguido de otro seminudo simple (S) en dirección contraria, conformando con los anteriores un nudo de rizo, más un tercer seminudo S en dirección contraria;* b) *un segundo diseño (D-S-D) lo formaban dos seminudos simples (D) en la misma dirección, seguido de otro seminudo S en dirección contraria, más un tercer seminudo D de seguridad en dirección contraria;* c) *el tercer diseño (S-S-D) se realizaba con un seminudo S, seguido de otro seminudo S en dirección contraria, más un tercer seminudo D en dirección contraria.*

Ensayos mecánicos

Los ensayos mecánicos sobre los distintos hilos se llevaron a cabo en una máquina hidráulica de ensayos tensión-deformación Microtest (Madrid, 2001) con una resolución menor de 10 μm en medidas de posición, y 0,1 N en medidas de fuerza. La máquina es capaz de controlar el ensayo tanto por fuerza como por deformación, y el rango de funcionamiento es de ± 50 mm en deformación, y ± 400 N en fuerza. Dispone de varios juegos distintos de mordazas según las características de la muestra. La mordaza superior es fija, mientras que la mordaza inferior se desplaza mediante un pistón hidráulico conectado a un ordenador que, mediante el software apropiado, controla y realiza la adquisición de los datos del ensayo, tanto de fuerza como de desplazamiento. Se realizaron dos tipos distintos de ensayos:

1) Ensayos de rotura de los hilos sin ningún tipo de nudo

Con estos ensayos se pretendía estimar las propiedades mecánicas de los distintos tipos de hilos. Para ello se utilizaron mordazas sin ninguna arista que provocara tensiones internas en el material (fig. 2a). Un almohadillado donde se sujetaba el hilo permitía un amordazamiento firme, al tiempo que no se producía ningún daño aparente en el material (creación de fisuras o microgrietas). Dos poleas permitían el deslizamiento del hilo con escasa fricción, de modo que la deformación producida se repartía homogéneamente en todo el hilo.

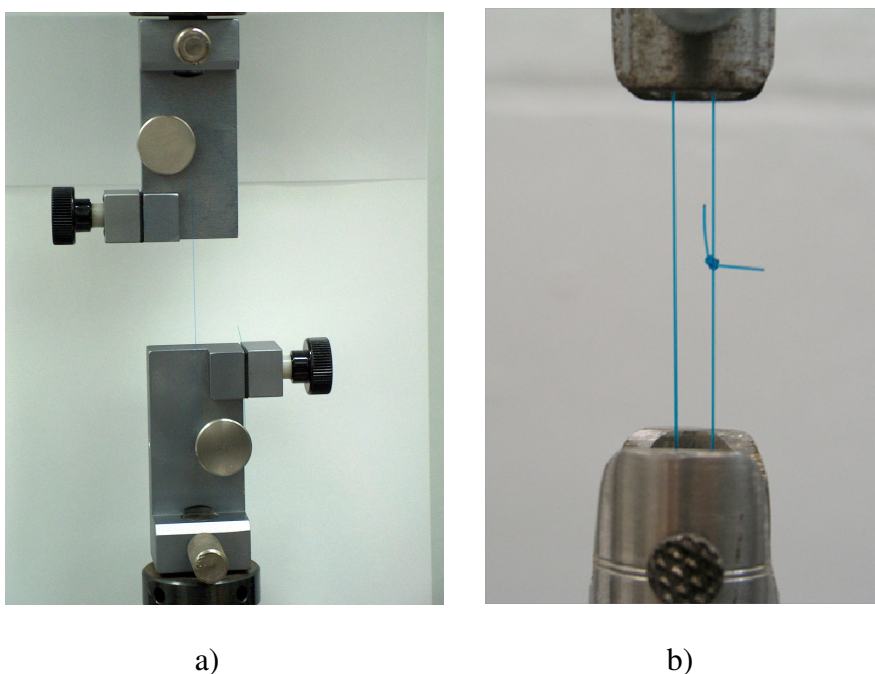


Fig. 2. a. *Mordaza para el ensayo de hilos sin nudos; un almohadillado donde se sujetaba el hilo permitía un amordazamiento firme, al tiempo que no se producía ningún daño aparente en el material (creación de fisuras o microgrietas);*
b. *mordazas para ensayos de hilos anudados*

Los ensayos consistieron en un estiramiento del hilo a una velocidad de 4 N/s hasta conseguir la rotura del mismo, registrándose tanto la fuerza como la posición de la mordaza móvil en intervalos de 100 ms (10 medidas/s). Se sometieron a prueba los 4 tipos distintos de hilo, de sección (S) $0,028 \text{ mm}^2$, realizándose tres medidas de cada uno de ellos (en total, 12 ensayos). A partir de las fuerzas (F) y desplazamientos medidos, se calcularon, para cada instante, la tensión soportada por el hilo (σ) y la deformación unitaria (ϵ), según las ecuaciones ¹² :

$$\sigma = \frac{F}{S} \qquad \epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0}$$

Para estos cálculos se descontó, de la fuerza medida, la mostrada inicialmente por la máquina, correspondiente al peso de las mordazas, y se tomó como longitud inicial (l_0) la correspondiente al instante en el que la fuerza soportada por el hilo comenzaba a aumentar, longitud que en todos los casos era próxima a 210 mm.

En la zona de deformación lineal de la curva fuerza-deformación se calculó la recta de regresión de cada uno de los hilos, cuya pendiente está relacionada con el módulo de elasticidad (E) del material. En cada caso, el valor del módulo se calculó como la media de los tres ensayos realizados.

2) Ensayos de hilos con distintos tipos de nudos

También se llevaron a cabo ensayos sobre los mismos hilos anteriores, pero con los distintos diseños de nudos propuestos. Para ello, se tomaron trozos de los hilos y se les hizo los distintos nudos, abrazando con el hilo un cilindro metálico de 40 mm de diámetro, de modo que el hilo obtenido tenía forma de anillo de longitud 125,6 mm con un nudo. Para ensayar estas muestras se montaron unas mordazas en las que el anillo de hilo quedaba amarrado mediante dos cilindros sujetos a cada una de las mordazas de la máquina (fig. 2b). Los cilindros eran de diámetro suficiente para no producir en los hilos entalladuras ni grietas aparentes.

Las condiciones de velocidad de estiramiento y registro de fuerza y desplazamiento fueron similares a las de los ensayos anteriormente descritos, para hilos sin nudos. Para cada uno de los 4 hilos analizados, se ensayaron los tres tipos distintos de nudos descritos, para cada uno de los cuales se realizaron tres ensayos (en total 36 ensayos).

Como el hilo tenía forma de anillo y por tanto se estaban estirando dos hilos en cada ensayo, la fuerza realmente soportada por el hilo, una vez descontada la debida al peso de las mordazas, era la mitad de la medida por la máquina, y la deformación de la muestra, el doble del desplazamiento medido.

A partir de la fuerza y desplazamiento medidos, teniendo en cuenta las consideraciones apuntadas y utilizando las ecuaciones de la elasticidad ya utilizadas para los hilos sin nudos ¹², se calcularon, para cada

instante, las tensiones y deformaciones de las muestras de hilos anudados. Como diferencia entre estas deformaciones de los hilos con nudos y las deformaciones de los hilos sin nudos, se calculó la deformación producida, en cada caso, en el propio nudo.

Ensayos calorimétricos

Con el fin de conocer el grado de cristalinidad de los hilos analizados, factor determinante en las propiedades mecánicas, se sometió a los distintos tipos de hilo a ensayos calorimétricos, consistentes en someter a una pequeña cantidad de hilo a un barrido de temperatura, a una velocidad de $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ desde temperatura ambiente hasta una temperatura superior a la de fusión del material, obtenida de la literatura ^{10,11}, con el fin de calcular la entalpía de fusión de la fase cristalina, y a partir de ella, calcular el porcentaje de cristalinidad de la muestra.

A los hilos fabricados a base de nylon se les calentó hasta una temperatura de 250°C , y a los fabricados a base de polipropileno, hasta una temperatura de 190°C . Las muestras analizadas (entre 1,19 y 1,30 mg de hilo) se introdujeron en una cápsula hermética de $30\ \mu\text{l}$ de capacidad, y a continuación fueron sometidas al barrido de temperatura indicado, en un calorímetro de barrido diferencial PerkinElmer Pyris1 TGA (Shelton, EU).

Resultados

Ensayos de rotura de los hilos sin nudos

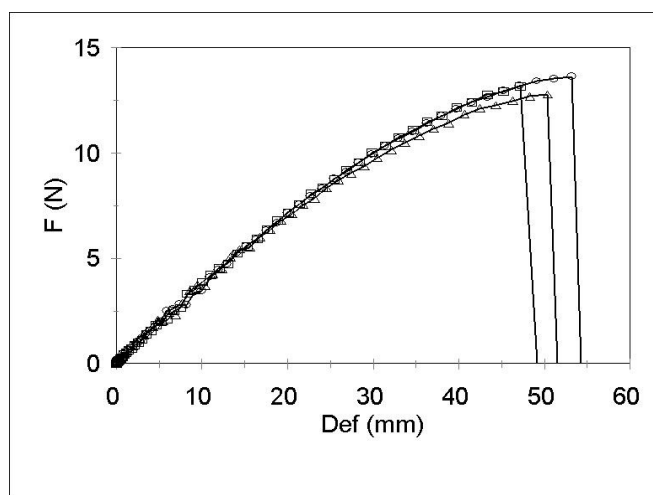


Fig. 3. Ensayo fuerza-deformación para el hilo Ppl-2. Se observa la linealidad del comportamiento del hilo en la zona inicial, hasta que comienza a manifestarse el comportamiento plástico, zona en la que aparecen grandes deformaciones con pequeños incrementos de fuerza.

Los resultados fueron similares en los 4 hilos analizados, siendo muy pequeña la dispersión obtenida. Como ejemplo, en la fig. 3 se muestran los resultados correspondientes a la muestra de hilo Ppl-2. No se detectó

deslizamiento del hilo en las mordazas en ninguno de los ensayos. Los valores de los módulos de elasticidad (E) de cada hilo se recogen en la tabla 1. Se muestran, también, los valores medios de fuerza y deformación de rotura.

Tabla 1 - Módulo de elasticidad, Fuerza de rotura y deformación de rotura de cada uno de los tipos de hilo ensayados

Hilo	E (MPa)	Fuerza de Rotura (N)	Deformación (%)
Ny-1	1480±120	9,6±0,3	33±3
Ny-2	2470±110	13,5±0,2	26,2±0,2
Ppl-1	2860±90	14,5±0,1	23,0±0,3
Ppl-2	2758±8	13,2±0,3	24,3±1,0

Ensayos mecánicos hilos con nudos

Las curvas de deformación en los ensayos de los hilos anudados mostraron, todas, un comportamiento similar. En la figura 4a se reproduce la correspondiente al hilo de Nylon Ny-1 con nudo DSD. Tras una primera etapa de ajuste del nudo, en la que toda la deformación es absorbida por éste, se observa cómo se alcanza una segunda zona de *plateau* (incremento de deformación total de la muestra y de la fuerza sin deformación apreciable del nudo) en la que toda la deformación es debida al estiramiento del hilo, tras la cual se produce la rotura en la zona del nudo (fig. 4. b). En algunas curvas de fuerza frente al tiempo, y de forma más acusada en el caso del hilo Ny-2, se producían zonas de disminución súbita y posterior recuperación de la fuerza, lo que interpretamos como rotura de alguna parte del nudo durante el ensayo y antes del colapso total.

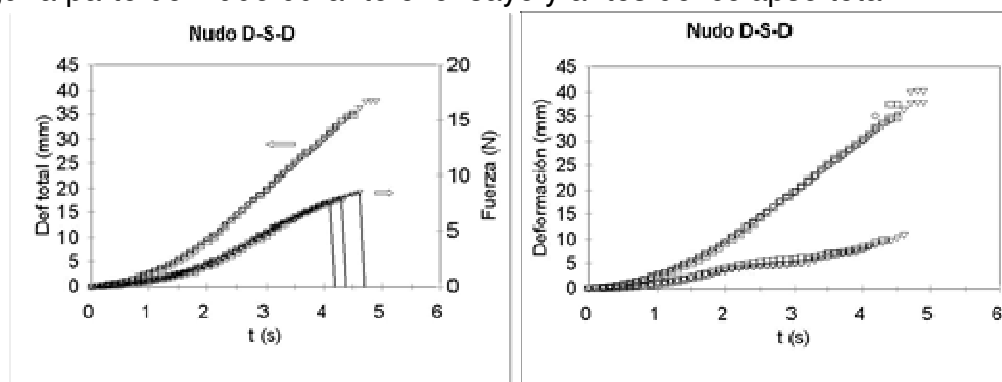


Fig. 4. a: Ensayo tensión deformación del hilo Ny-1 con el nudo D-S-D: a) Deformación total y Fuerza vs tiempo; b) Deformación total y Deformación del nudo vs tiempo.

En cambio, en los hilos fabricados a base de polipropileno, a pesar de ser más rígidos (mayor módulo E y mayor cristalinidad), los nudos parecen

ajustar de una manera más gradual al aumentar la fuerza, con una rotura repentina del nudo.

Tabla 2 - Fuerza y deformación de rotura de los cuatro tipos de hilo estudiados, sin nudo y con cada uno de los nudos ensayados

<i>Hilo</i>	<i>Sin Nudo</i>	<i>Nudo D-S-D</i>	<i>Nudo S-S-D</i>	<i>Nudo D-S-S</i>
<i>Ny-1</i>				
<i>Fuerza rotura (N)</i>	9,6±0,3	8,0±0,3	8,0±0,5	6,8±1,0
<i>Deform. rotura (%)</i>	33±3	27,7±2,2	28,9±1,8	24±4
<i>Ny-2</i>				
<i>Fuerza rotura (N)</i>	13,5±0,2	6,1±0,7	9,6±1,4	6,6±0,9
<i>Deform. rotura (%)</i>	26,2±0,2	20±3	21±4	19,7±0,4
<i>Ppl-1</i>				
<i>Fuerza rotura (N)</i>	14,5±0,1	10,7±0,3*	9,5±1,1	10,0±0,2
<i>Deform. rotura (%)</i>	23,0±0,3	19,2±0,3	16±3	17,8±0,3
<i>Ppl-2</i>				
<i>Fuerza rotura (N)</i>	13,2±0,3	10,3±0,3	9,7±0,3	10,1±0,3
<i>Deform. rotura (%)</i>	24,3±1,0	22,3±1,2	20,5±0,8	22,5±2,0

* Las diferencias de la fuerza de rotura entre los tres diseños de nudos fueron estadísticamente significativas ($p=0,028$, Test Anova)

En la tabla 2 se muestran los resultados de las fuerzas y deformaciones de rotura de cada diseño de nudo en cada hilo y de los hilos sin anudar. En todos ellos se observa como el hecho de hacer nudos en los hilos disminuye tanto la fuerza como la deformación de rotura, aunque en cada hilo éste efecto sea diferente. En ambos hilos de polipropileno, el nudo que mejor resistencia presenta es el D-S-D, seguido del D-S-S, y el que peor resiste es el S-S-D. En los hilos de Nylon, el diseño de nudo que mayor resistencia tiene es, con diferencia, el S-S-D. La disminución en la resistencia a la rotura es similar en ambos hilos (3-4 N), mostrando el hilo Ppl-2 menores deformaciones de rotura.

Ensayos calorimétricos

Las cristalinidades medidas en cada uno de los hilos mediante los ensayos calorimétricos reflejaron que los hilos de nylon presentaron menor cristalinidad (Ny-1, 36,6%; Ny-2, 32,1%) que los de polipropileno (Ppl-1, 44,6%; Ppl-2, 47%).

Discusión

Desde un punto de vista práctico, el requisito fundamental que hemos de pedir a cualquier tipo de nudo es su fiabilidad. En nuestro modelo, la

realización de al menos tres nudos consecutivos (de tipo rizo y hechos en sentido contrario) para los hilos de polipropileno y nylon aseguran que antes se rompe el material del hilo que se suelten los nudos. Por ello, los resultados obtenidos sugieren que no es necesario realizar más de tres nudos; a lo sumo, uno más si queremos aumentar el margen de seguridad cuando utilizamos hilos nylon.

En nuestros ensayos, los dos hilos de polipropileno estudiados mostraron valores prácticamente coincidentes del módulo elástico a partir de los ensayos sin nudos, pero muy superiores (más del doble) a los valores que se refieren en la literatura para polipropileno sin procesar.^{11,12} La deformación de rotura fue también prácticamente la misma en ambos hilos, pero muy inferior (al menos la mitad) a la referida en la literatura.^{11,12} La cristalinidad de ambos, en cambio, responde a un valor comúnmente citado, 40-50 %.¹¹ Este comportamiento es probablemente debido al proceso de hilado y estirado de la fibra, que incrementa el valor del módulo y disminuye la deformación de rotura, hasta alcanzarse valores similares a los medidos experimentalmente.¹²

En cuanto a los hilos fabricados a base de Nylon, existe una discrepancia notable en cuanto al módulo de ambos, probablemente debido a un menor estiramiento sufrido por el hilo Ny-1, que le proporciona un módulo más bajo (1482 frente a 2474 MPa), pero una mayor deformación de rotura (33 frente al 26%) que el Ny-2. Este diferente comportamiento queda patente en la forma de la curva tensión-deformación de ambos; el Ny-1 presenta una zona final de *plateau* característica de una rotura dúctil, mientras que la curva del Ny-2 es característica de un material más frágil. A pesar de ello, la cristalinidad medida de este último es menor que la del primero (32 frente al 36 %), discrepancia que es explicada por algunos autores por la disminución de la densidad de la fase cristalina con el estirado.¹³ No obstante, los valores medidos son similares a los encontrados en otros trabajos.¹⁴

En los ensayos llevados a cabo sobre hilos con nudos, se constata una disminución tanto en la fuerza como en la deformación de rotura para todos los nudos ensayados. En todos los casos, la rotura del hilo se producía en la zona del nudo, presumiblemente debido a los daños causados al hilo durante el proceso de anudado (microgrietas).

Las curvas de fuerza-deformación manifiestan cierta dispersión de comportamiento con cada diseño de nudo ensayado. Esta dispersión es probablemente debida a que cada nudo modifica de forma diferente el comportamiento del hilo anudado. El hecho de que los nudos más resistentes sean aquellos en los que primero se hace un nudo doble, nos induce a pensar que este es un parámetro crítico en el modo de anudar, y es la parte del nudo que soporta mayores esfuerzos.

En conclusión, los hilos fabricados a base de polipropileno, debido a su alto módulo de elasticidad, resistencia a la rotura, y pequeña deformación, estarían más indicados para suturar tejidos que debieran

soportar fuerzas grandes y con poca deformación de la sutura (por ejemplo, tendones). Además, la realización de un nudo Doble en primer lugar parece asegurar una resistencia a la rotura mayor. En cambio, los hilos de Nylon, al tener módulos más bajos, estarían más indicados para tejidos que tuvieran que soportar fuerzas más pequeñas y que precisaran de una cierta elasticidad.(por ejemplo la piel). Además, la utilización de un nudo simple en primer lugar, debe provocar menores daños en estos tejidos. En cuanto a los nudos, el tipo más apropiado depende del hilo utilizado: mientras el nudo D-S-D es el que mayor resistencia presenta con los hilos de polipropileno. El S-S-D es el que, con diferencia, mayor resistencia proporciona con los hilos de Nylon.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado gracias al Proyecto CTIDIB/2002/117 de la Generalitat Valenciana-Agencia Valenciana de Ciencia y Tecnología.

BIBLIOGRAFÍA

1. Bennett RG. Selection of wound closure materials. *J Am Acad Dermatol.* 1988;18:619-37.
2. Herrmann JB. Tensile strength and knot security of surgical suture materials. *Am Surg.* 1971;37:209-17.
3. Fong ED, Bartlett AS, Malak S, Anderson IA. Tensile strength of surgical knots in abdominal wound closure. *ANZ J Surg.* 2008;78:164-6.
4. Kim JC, Lee YK, Lim BS, Rhee SH, Yang HC. Comparison of tensile and knot security properties of surgical sutures. *J Mater Sci Mater Med.* 2007;18:2363-9.
5. Tajirian AL, Goldberg DJ. A review of sutures and other skin closure materials. *J Cosmet Laser Ther.* 2010;12:296-302.
6. Postlethwait RW, Willigan DA, Ulin AW. Human tissue reaction to sutures. *Ann Surg.* 1975;181:144-50.
7. Swanson NA, Tromovitch TA. Suture materials, 1980s: properties, uses, and abuses. *Int J Dermatol.* 1982;21:373-8.
8. Martínez E, Paz J, editors. *Biomateriales en Cirugía.* Oviedo: Servicio de Publicaciones Universidad de Oviedo; 1998.
9. Trail IA, Powell ES, Noble J. An evaluation of suture materials used in tendon surgery. *J Hand Surg [Br].* 1989;14:422-7
10. Gee DR, Melia TP. The effect of ionizing radiation on thermal properties of linear high polymers: Part 2. Nylon-6. *Polymer.* 1970;11:192-7.
11. Alger MSM, editor. *Polymer Science Dictionary.* Essex: Elsevier Science Publishers Ltd.; 1989.
12. Ward IM, Hadley DW, editors. *An Introduction to the Mechanical properties of solid polymers.* West Sussex: John Wiley & Sons; 1993.
13. Turi A, editor. *Thermal Characterization of Polymer materials.* Orlando: Academic Press; 1981.
14. Más Estellés, J. *Comportamiento termomecánico de polímeros amorfos reforzados.* Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia; 1991.