

FIBRAS TEXTILES

Las fibras textiles son polímeros lineales (prácticamente sin entrecruzamientos) de alto peso molecular y con una longitud de cadena lo suficientemente grande para ser hiladas, se pueden clasificar en tres clases: a) Fibras Naturales, b) Fibras Artificiales y c) Fibras Sintéticas.

FIBRAS NATURALES

Las fibras obtenidas de una planta o un animal se clasifican como fibras naturales. La mayoría de estas fibras se utiliza en telas textiles, aunque las fibras de las plantas como tales se utilizan también para sogas.

La lana es una de las más antiguas fibras textiles, como lana se designa en general al pelo fino, suave, rizado o enortijado procedentes de ovejas, toda esta lana se llama vellón. La cantidad de lana que produce un solo animal oscila entre 1 y 6.5 kg. Los pelos de la lana tienen las siguientes propiedades y características: finura, rizado, longitud, elasticidad, superficie a modo de escamas y capacidad de hinchamiento; los cuales son finalmente lavados, peinados e hilados. La cabra de Angola proporciona un pelo de lana blanco flexible, brillante, finamente ondulado y escamoso. La lana de camello se hila y se elabora sin teñido.

La seda del gusano es un producto de hilo muy resistente, el gusano se envuelve en un capullo de unos 3 cm de largo cuyos hilos pueden sobrepasar los 3,000 m, estos se lavan con jabón y una sal de sodio.

Las fibras de origen vegetal son del tipo vello, que son las que envuelven a las semillas de las plantas en forma de arbustos o de árboles que alcanzan de 1 a 2 m de altura. La finura, suavidad arrugada, color, brillo, pureza y solidez, así como la resistencia a la tracción y elasticidad determinan la nerviosidad, higroscopicidad (8% de humedad) y extensibilidad de la fibra

En el caso del algodón, la calidad se valora por sus propiedades físicas, tales como capacidad de hilado, resistencia a la rotura, elasticidad y la capacidad de torsión.

FIBRAS DE RAYON VISCOSA

Dentro de las fibras artificiales tenemos una serie de derivados de la celulosa las cuales se conocen como rayones. Se encuentran en tres tipos principales: a) lana viscosa b) lana de cobre y c) lana de acetato.

En el proceso de obtención de fibras de rayón viscosa, la materia prima se compone de celulosa en forma de láminas. La celulosa se obtiene de la madera del abeto a la cual se le agrega hidróxido de sodio; que se absorbe en parte por las láminas de celulosa. A continuación, las láminas se aplastan en la desfibradora, esta masa va al depósito de maduración con la finalidad de que alcance un grado de polimerización que sea adecuado para el hilado. Después de alcanzar el grado deseado pasa a tambores mezcladores, junto con el disulfuro de carbono, de este modo se forma una sustancia soluble, el xantato de celulosa que es vaciado en un tanque, para su disolución, conteniendo hidróxido de sodio diluido. El producto final es una solución viscosa que contiene de 6 a 8% de xantato de celulosa y de 6 a 7% de hidróxido de sodio. Esta reacción toma de 2 a 3 h. El líquido resultante es una solución viscosa, compacta y de color café dorado. Por último la solución para el hilado se prensa en los orificios (0.05-0.2 mm.) finos de las hiladoras, mediante bombas de engrane y se solidifica en el baño de coagulación, formado de ácido sulfúrico diluido donde se encuentra disuelto sulfato de sodio y magnesio. Las sales disueltas provocan la solidificación de la viscosa. El ácido sulfúrico neutraliza la sosa cáustica y descompone el xantato en varios productos viscosos que contienen sulfuro, liberando CS_2 , H_2S , CO_2 y azufre. La relación de ácido/sal es un punto de control, el cual, aunque la

coagulación y la regeneración tienen lugar juntas, evita que el xantato gele antes que el ácido pueda atacar y descomponer éste. Se logra la producción de fibras viscosa para hilados empleando hiladoras de 750 a 5500 orificios cada una, cuyos diámetros son de unas cuantas centésimas de milímetro.

Para mejorar las propiedades de desplazamiento, los filamentos se tratan con una emulsión. Finalmente las fibras se someten al secado. El cabo de filamentos utilizados en la producción de fibras de viscosa se corta creando un producto fibroso revuelto, la borra, o bien formando una banda de fibras para hilado en la que estas fibras se encuentran paralelas.

RAYON CUPROAMONIAL

El cupro y las fibras de cupro para hilados se producen mediante el proceso de óxido de cobre amoniacal. Como materia prima se utiliza linteres de residuos de hilados de algodón o celulosa. La materia prima preparada se mezcla después con sulfato de cobre y lejía de sosa cáustica. El sulfato de sodio que se forma en la mezcla se elimina mediante presión. La pasta restante de hidróxido de cobre y celulosa se disuelve en calderas de agitación, por la acción del amoniaco originándose una solución viscosa, de color azul fuerte. Para el hilado se prensa y filtra a través de las hiladoras. Los chorros de líquidos que salen se conducen, por medio de agua ligeramente alcalina, hacia el interior del filtro de hilatura donde se coagulan formando una masa gelatinosa, plástica. La solidificación final se efectúa sólo en el baño de estirado extraordinariamente fuerte. Este estiramiento le confiere a los filamentos una gran finura, una amplia paralelización de las cadenas moleculares y por ende una buena consistencia incluso húmeda. Los filamentos neutralizados con una solución de sosa cáustica se enjuagan, se secan y reciben el acabado que requieren para el uso previsto.

RAYON ACETATO

Como materia prima se utiliza linteres, residuos de hilados de algodón y celulosa pura. Estas materias se agregan con lentitud a una mezcla de anhídrido acético, ácido acético glacial y ácido sulfúrico concentrado formando una solución pegajosa de triacetato de celulosa.

El triacetato de celulosa es precipitado en la solución por medio de agua. En la mayoría de los casos se retira una parte de ácido acético del triacetato de difícil disolución, utilizando para ello cantidades calculadas de agua, este producto es llamado acetato 2.5. Después del lavado y secado se puede disolver con facilidad en una mezcla de acetona, alcohol y benceno.

Los chorros de líquido que salen de las tuberías se conducen hacia abajo. El líquido recibe aire caliente a contracorriente provocando que el disolvente volátil se evapore.

Estos tres rayones generalmente se añaden a tejidos corrientes para ser usados como relleno con las siguientes propiedades: a) finura, la cual puede variar de acuerdo al diámetro de las fibras, b) resistencia, la lana de viscosa posee mayor resistencia que la lana al cobre o al acetato, c) superficie y brillo, la cual puede ser rugosa o alisada, puede ofrecer una superficie granulada, con cicatrices muy semejante a la lana.

Este tipo de fibras ocupa el segundo lugar en el mundo después del algodón.

Un requisito básico para la formación de fibras es que las moléculas extendidas del polímero deben tener al menos unos mil anstrongs de longitud, es decir un peso molecular mínimo del orden de 10×10^3 . El peso molecular de la celulosa de algodón no degradada, por ejemplo puede ser tan alto como 5×10^5 . Con las fibras sintéticas el peso molecular es limitado por cuanto al polímero debe tener una viscosidad en el fundido o en solución, adecuada para el proceso de hilatura. La mayoría de las fibras hiladas por fusión tienen peso molecular aproximadamente de $10-20 \times 10^3$. Las fibras textiles muestran cierto grado de cristalinidad y de orientación molecular a lo largo del eje de la fibra.

Estas propiedades inherentes a las fibras naturales se imparten a las fibras regeneradas y sintéticas durante operaciones de hilatura, estirado y tratamiento térmico.

El control de estos parámetros determina efectivamente las propiedades físicas y en alguna extensión las químicas del producto final. La creación de fuerzas intensas entre las cadenas se logra mediante enlaces de hidrógeno, asociación bipolar o atracciones de Van der Waals, evitándose una elevada tenacidad lo cual haría demasiado rígida e inextensible a la fibra.

FIBRAS SINTÉTICAS

Mientras las fibras naturales, a causa de su elevado carácter polar tienden a degradarse sin fusión, la mayoría de las fibras sintéticas son termoplásticas, algunas suficientemente estables, por encima de su punto de fusión para permitir hilarlas directamente a partir del polímero fundido, los nylon 6 y 6,6, el poli (terftalato de etileno) y el polipropileno están en esta clase. Las fibras que no son térmicamente estables, principalmente acrílicas, acetatos de celulosa, poli(alcohol vinílico) y el poli(cloruro de vinilo) se obtienen de forma bastante más laboriosa mediante la disolución del polímero en un disolvente y extrusión de esta solución en aire caliente con el fin de evaporar el disolvente (hilatura en seco) o en un baño coagulante no solvente (hilatura en húmedo). Cuando es posible, es evidentemente preferible la ruta de la hilatura por fusión. Las fibras de bajo punto de fusión están en desventaja notoria para muchas aplicaciones, los tejidos y acabados que las contienen se dañan con facilidad, por ejemplo en el planchado demasiado caliente, por cenizas y colillas de cigarro. La estabilidad dimensional a elevadas temperaturas (100° C o incluso 150° C) es también deseable ya que esto gobierna efectivamente la severidad de condiciones en las que el tejido puede ser tratado y limpiado en seco.

La facilidad de tinción es una propiedad muy deseable de la fibra, las fibras naturales poseen buen acceso a las soluciones acuosas de colorantes, el teñido de las fibras sintéticas más hidrófobas ha necesitado del desarrollo de colorantes y técnicas nuevas y la modificación de los polímeros por incorporación de comonomeros para romper deliberadamente la regularidad estructural y para aceptar el colorante. Las fibras pueden deslustrarse por adición de un pigmento inorgánico de dióxido de titanio. Dentro de las fibras sintéticas, las acrílicas son las más resistentes, los nylones y el propileno polimerizado las menos resistentes.

PROPIEDADES GEOMÉTRICAS Y OTRAS PROPIEDADES FÍSICAS

Existen dos tipos de fibras en lo que se refiere a su longitud y a su distribución longitudinal: filamentos continuos (rayón, seda, nylon, orlón y vinyon) y hebras (algodón, lana y fibras sintéticas en hebra), las fibras artificiales en forma de hebras tienen longitudes uniformes y se cortan en filamentos de 6 a 20 cm.

Las propiedades mecánicas de las fibras, los hilados, las cuerdas y los tejidos son en muchos casos los que determinan el valor comercial del material, aunque a veces tiene mayor importancia el brillo, la facilidad para teñirse y la calidad eléctrica, las cuales son sometidas a fuerzas extrañas por un determinado tiempo durante el cual actúan.

Entre las pruebas más comunes tenemos: prueba dinámica (tiempo de deformación individual en tracción por segundo), pruebas normales (tiempo de deformación de aproximadamente 100 segundos), pruebas a larga duración o estudio de escurrimiento plástico que dura muchas horas e incluso días y por último el módulo de elasticidad que en una cuerda representa la rigidez y mide la resistencia inicial al alargamiento.

El grado en que un material textil abriga, esto es resguarda del frío, depende de la conductividad calorífica, capacidad calorífica, aspereza de la superficie y capacidad para encerrar aire y otros gases. La lana, seda, fibras de proteínas y orlón son en este aspecto superiores a todas las demás fibras naturales y sintéticas. Otras propiedades térmicas importantes de los materiales fibrosos son el punto de adherencia, el punto de

reblandecimiento o de fusión y la fragilidad en frío. Los puntos de adherencia de algodón, rayón viscosa, lana, seda, nylon y orlón están bastante por encima de 200° C y no provocan muchas dificultades en el planchado. El punto de fusión de un buen polímero para la formación de fibras debe ser bastante superior a 300° C. La mayoría de las fibras, con la posible excepción del vinyon y el acetato de celulosa, son lo suficientemente flexibles a menos de 50° C.

Las propiedades eléctricas más importantes de las fibras están asociadas con la absorción de agua ya que el material se distribuye cuando aumenta el contenido de humedad. Las buenas fibras textiles tienen que resistir el ataque de los ácidos y las bases de concentración moderada hasta temperaturas de 60 a 80° C, no deben ser atacados por los disolventes orgánicos, como hidrocarburos, alcoholes, ésteres y cetonas; deben resistir la acción de la luz en presencia de oxígeno y agua, así como a la acción de enzimas, moho y bacterias.

Las fibras hechas de acetato de celulosa y de copolímeros de cloruro de vinilo con acetato de vinilo y acrilonitrilo (vinyon E y N, respectivamente) muestran excelente resistencia a los ácidos, las enzimas y los mohos y no ocasionan molestias en la piel, pero muchos disolventes orgánicos hacen que se hinchen o incluso los disuelven a temperaturas elevadas, son atacados por los álcalis y por el calor se debilitan y cambian de color.

Las fibras de nylon y orlón resisten muy bien los disolventes orgánicos normales y muestran muy buena resistencia en el uso al aire libre, pero es difícil de teñirlas. Por consiguiente, parece que los representantes de la clase de poliésteres, poliamidas, poliuretanos y poliacrilonitrilos reúnen la mayoría de las propiedades químicas que se consideran importantes para una fibra textil.

Una propiedad importante de las fibras textiles es la absorción de agua, en equilibrio con la atmósfera de humedad relativa y una temperatura dada. Algunos materiales como el nylon y el orlón tienen una afinidad bastante baja para el agua.

El polímero vinílico más importante es el poliacrilonitrilo, que adquirió importancia comercial con el nombre comercial de orlón.

FIBRAS DE NYLON

La base para la manufactura del nylon 66 y el nylon 6 es el benceno, lo que muestra la gran cantidad de material necesario para las varias rutas de los nylones. El tolueno es también requerido dependiendo del procedimiento elegido.

El nylon 66 se prepara mediante la reacción de condensación de cantidades equimolares de hexametilendiamina y ácido adípico empleando metanol acuoso como disolvente. Una solución concentrada de esta sal (sal de nylon) se calienta en atmósfera inerte a unos 270° C bajo presión, se extrae después el vapor de agua y se completa la polimerización bajo vacío. El peso molecular se controla bajo la adición de pequeñas cantidades de ácido acético al sistema.

El nylon 6 se prepara por polimerización térmica de caprolactama en una atmósfera inerte a temperaturas de hasta 270° C. Se necesita un iniciador, el cual generalmente es agua, formándose ácido 6-aminohexanóico o sal del nylon 6 (de 1 a 2%), en este caso se pueden añadir pequeñas cantidades de un ácido monocarboxílico (ácido acético) como regulador de la cadena. Algunas propiedades mecánicas de estas fibras son los valores típicos que van de $10\text{-}15 \times 10^3$ para el nylon 6 y el nylon 6,6.

En general, los copolímeros ofrecen bajos puntos de fusión, mayor flexibilidad y solubilidad y en algunos casos transparencia, los más comercializados son: nylon 6/6,6 y 10/6,6 y terpolímeros como Nylon 6,6/10,6/6; éstos tienen un alto grado de flexibilidad y solubilidad y en alcohol-agua, este tipo de nylones presenta una amplia gama de aplicaciones, entre las que se encuentra el tratamiento de telas y superficies en la industria textil.

Las cargas más comunes entre los nylones, son de fibra de vidrio y cargas minerales. Entre las cargas que se pueden utilizar encontramos las siguientes:

Para aumentar volumen y reducir costo: aserrín, pulpa de madera, yute, celulosa, mica y carbonato de calcio.

Para reforzar y aumentar la resistencia mecánica: fibra de vidrio, fibra de asbesto, fibras sintéticas y papel.

Para aumentar la dureza: carbonato de calcio, sílica, polvos metálicos, grafito y pigmentos inorgánicos.

Para incrementar la resistencia química: fibra de vidrio, fibras sintéticas y grafito.

Las cargas se aplican a los nylones de entre 5% a 40% sobre el peso de la mezcla.

Los nylones presentan diversos grados comerciales modificados cuando son con: fibra de vidrio, refuerzos minerales, bisulfuro de molibdeno, grafito y teflón.

La fibra de vidrio aumenta la rigidez, la resistencia a la tensión, la resistencia a la compresión y la resistencia al impacto. Es decir que mejora las propiedades mecánicas de las poliamidas y disminuye la absorción de agua y la expansión térmica.

Los nylones con cargas minerales aumentan sus características de resistencia al impacto y se utilizan con gran éxito en la fabricación de muebles, paneles protectores, las cargas minerales más usadas son: talcos, micas, asbestos y carbonato de calcio.

Los nylones para su uso comercial contienen aditivos que alteran las propiedades y aumentan la procesabilidad del nylon, dependiendo de la propiedad que se quiera modificar. Entre estos aditivos tenemos plastificantes, estabilizadores de luz y calor, absorbentes de luz ultravioleta, retardantes a la flama y pigmentos o colorantes.

Los plastificantes pueden ser agregados en los gránulos de resina y pueden ser extruídos posteriormente, incluyen carbamidas, sulfonamidas monoméricas, compuestos fenólicos, cetonas cíclicas, ésteres y algunos alcoholes.

Los plásticos altamente cristalinos como el nylon 6 y 6/6 son difíciles de plastificar para que adquieran una mayor flexibilidad. En el caso del nylon 6 por ejemplo, se puede plastificar con monómero de ϵ -caprolactama, donde el exceso del mismo no se extrae del recipiente donde se ha llevado a cabo la reacción. El plastificante disminuye la dureza del material y aumenta la resistencia al impacto.

En el caso de los copolímeros de nylon 11 y 12 con menor grado de cristalización, se usan dioles de cadena larga y sulfonamidas de alto peso molecular como plastificantes.

Los estabilizadores a la luz y al calor son agregados a las poliamidas para evitar su rápida degradación cuando son expuestas a altas temperaturas y a rayos solares por largos períodos de tiempo o cuando van a ser expuestas por períodos prolongados al agua caliente.

Los nylones a los que se les ha agregado absorbentes de radiación ultravioleta son generalmente utilizados en la fabricación de tubería cubierta de cables y artículos en general que van a estar expuestos al sol por largos períodos de tiempo.

Los retardantes a la flama se utilizan para evitar la combustión del polímero, trabaja creando una capa endotérmica que excluye oxígeno. Para las poliamidas es bastante reciente la introducción de retardantes a la flama tales como alúminas hidratadas y oxiclورو de bismuto. El óxido de manganeso también se puede aplicar para este propósito.

Una gran variedad de pigmentos puede ser usada, dependiendo de las necesidades de estabilidad de calor y la exposición a la intemperie de una pieza de nylon. Existen pigmentos resistentes a la intemperie y ataques químicos.

Los lubricantes son usados para incrementar la procesabilidad de los nylones y la apariencia del producto final. Pueden usarse estearato de calcio, ácido esteárico, ésteres y ceras de polietileno.

Los antiestáticos son usados para reducir las cargas electrostáticas en los nylones sobre la superficie del plástico. Los más comunes agentes electrostáticos son sales cuaternarias de amonio y polietilenglicol.

Los nylones son muy higroscópicos, el grado de absorción de agua disminuye con el incremento de hidrocarburos en la longitud de la cadena del polímero. El agua tiene un efecto plastificante, la cual causa una pérdida en la resistencia a la tensión, pero incrementa la resistencia al impacto. La velocidad de absorción de humedad varia con el espesor y la forma de la pieza.

Los nylones, ya sean en forma de gránulos (*pellets*), fibra o película, siempre tenderán a adquirir un contenido equilibrado de humedad y este equilibrio dependerá de la temperatura, la humedad del medio ambiente y el área o volumen.

En la siguiente tabla se muestra una comparación de la facilidad de absorción de humedad bajo las mismas condiciones, de los diferentes tipos de nylones.

Tipo nylon	Absorción de agua en 24 Hrs.
6	1.6
6/6	1.5
6 con 30-35% FV	1.2
6/6 con 30-35% FV	1.0
6/10	0.4
6/12	0.4
11	0.3
12	0.25
11 con 30-35% FV	0.20
6/10 con 30 -35% FV	0.20
6/12 con 30-35% FV	0.20

Propiedades físicas de las poliamidas

Tipo nylon	Densidad (G/CM ³)	Absorción de agua 24 HRS.%
Nylon 6		
Uso general	1.12-1.14	1.6
30-35% de fibra de vidrio	1.35-1.42	0.9-1.3
Copolímero flexible	1.12-1.14	0.8-1.4
Cast	1.13-1.16	0.6-2.8
Nylon 6,6		
Uso general	1.13-1.15	1.5
30-35% de fibra de vidrio 40-45	1.15-1.40	0.7-1.1
Copolímero flexible	1.08	2.0
Retardante a la flama	1.42	0.9

Los nylones se caracterizan por su resistencia química a la mayoría de los solventes y son muy aplicados para materiales que están expuestos a aceites, grasas y gasolinas.

Los nylones funden a temperaturas elevadas en el rango de 210 a 280° C dependiendo del tipo de poliamida y el grado, presentan estabilidad dimensional por periodos cortos y elevadas temperaturas que se aproximan a su punto de fusión, sin embargo pueden estabilizarse soportando temperaturas de 90 a 120° C por tiempos largos conservando su estabilidad dimensional.

Temperaturas de deflexión de los nylones

Tipo nylon	°C @ 4.5 Kg/cm ²
6/6 con 30-35% FV	260
6 con 30-35% FV	215
6/10 con 30-35% FV	210
6/12 con 30-35% FV	210
6/6	180
6	170
11 con 30-35% FV	160
6/12	145
12 con 30-35% FV	140
11	129
12	125

Temperatura de fusión de los nylones o poliamidas

Tipo de nylon	Temperatura °C
Nylon 6	220
Nylon 6/6	254
Nylon 6/12	182
Nylon 11	176
Nylon 12	210
Nylon amorfo sólido	150-185

Propiedades térmicas

Tipo nylon	Coeficiente de expansión térmica $10^{-6}(\text{cm}/\text{cm } ^\circ\text{C})$	Temperatura de deflexión $^\circ\text{C}$ 264PSI 66PSI		Conductividad térmica $^\circ\text{C } 10^{-4}\text{cal-cm}/\text{seg}/\text{cm}^2$
Nylon 6	79-80	57-82	155-165	5.2
Nylon6/6	80	75-88	232-246	5.8
Nylon 6/12	80-83	66-85	185-190	5.8
Nylon 6/9	85	52-60	166-170	5.9
Nylon 11	100	54	149	8
Nylon 12	28-70	35-57	70-150	5-7
Nylon 6,66	78	76	221	5.5

FIBRAS POLIÉSTER

Las fibras poliéster se hacen de grandes polímeros, producto de la condensación de alcoholes y ácidos orgánicos o de hidroxiaácidos. Estos polímeros contienen el enlace éster como parte de la cadena monomolecular y no como en algunas resinas poliéster que la tienen como una cadena lateral, en una base polímera de adición. Du Pont las fabrica bajo el nombre comercial de dacrón y son producidas desde 1954. Una fibra semejante, cuyo nombre es perileno, es fabricada por la Gran Bretaña.

El dacrón es blanco, según la cantidad de pigmento deslustrante añadido al polímero, puede variar de lustroso a semilustroso, mate u opaco. Las fibras son redondas de sección transversal con superficie lisa las cuales se emplean para hacer uniformes, pantalones deportivos, camisas, blusas, suéteres, calcetines, ropa, blanca, hilos para coser, bandas transportadoras, hasta cordelería y mangueras contra incendios. Los tres tipos principales de dacrón son los tipos de hilaza de filamento brillante 5,100 y 5,500, hilaza de filamento semimate tipo 5,600 y fibras semimate del tipo 5,700 cortada y para cuerdas.

Las fibras de poliéster, dacrón, tienen una densidad de 1.38 g/mL a la temperatura ambiente, funde a 250°C . Sus propiedades físicas de mayor importancia son: tenacidad y alargamiento, reversibilidad del estirado y resistencia a la torsión, son resistentes a bases débiles y poco resistentes a bases fuertes a temperaturas ordinarias, resistentes a agentes oxidantes y no se degradan por tratamientos normales de blanqueo.

Los poliésteres pueden obtenerse por la combinación de ácidos orgánicos dibásicos y glicoles en una reacción de condensación que produce agua como subproducto y otras reacciones de esterificación. El terftalato de polietileno se obtiene por condensación del etilenglicol con el ácido terftálico. La reacción es fácilmente regulada, obteniéndose un peso molecular mayor. La materia prima para su fabricación es el etilenglicol, el metano y el *p*-xileno, por oxidación del xileno se obtiene el ácido terftálico.

FIBRAS POLIACRILONITRILICAS (PAC)

La materia prima es el acrilonitrilo. El orlón se fabrica mediante la polimerización de acrilonitrilo. Los polímeros blanco-marfil son disueltos en disolventes orgánicos, generalmente dimetilformamida, aunque pueden ser disueltos en varias soluciones concentradas de sales, por ejemplo bromuro de litio o sulfocianuro de sodio, el hilado se realiza utilizando el proceso en seco o en húmedo.

El gran poder de encogimiento de estas fibras ante el calor se aprovecha en la producción de hilos de alto volumen, así por ejemplo las fibras dralón-S permiten, durante la ebullición o la evaporación, reducir más o menos el 20 % de su longitud. Los artículos hechos por medio de trazas o tejidos con hilos de este tipo de fibras, encogidos mediante el tratamiento adecuado, permanecen voluminosos o muestran efecto de encogimiento en proporciones iguales al diseño, las fibras que encogen experimentan una fuerte reducción en su longitud. Los hilos de este tipo poseen una estructura suave como la de la lana, encierran mucho aire y conservan muy bien el calor, una de las ventajas principales es que no se apelmazan y no encogen. Poseen una resistencia a la ruptura bastante alta para artículos textiles, reducida absorción a la humedad e hinchamiento, se secan con rapidez y son resistentes al calor de irradiación. Se distinguen por su textura y aspecto lanoso, pesan poco, conservan bien el calor, son resistentes al apelmazamiento y tienen solidez óptica ante la luz y la intemperie.

FIBRAS ACRILONITRILICAS

Por definición, estas fibras contienen por lo menos el 85% de acrilonitrilo, un grupo separado, conteniendo 35-85% de acrilonitrilo se clasifican como “modacrílicas”. A causa de estas características parecidas a la lana cuando están convenientemente texturizadas, las fibras acrílicas tienen sus principales usos en tejidos de punto en lugar de telas, alfombras y tapicerías.

La polimerización por radicales de acrilonitrilo ocurre con facilidad en suspensión acuosa con catalizadores redox habituales, separándose el polímero como polvo de peso molecular de $75-150 \times 10^3$. El polímero se hila después en seco a partir de una solución en dimetilformamida con aire caliente o se hila en húmedo a partir de dimetilformamida o solución acuosa de tiocianato de sodio en un baño acuoso de coagulación adecuada. El acrilonitrilo experimenta con facilidad polimerización al azar con otros monómeros vinílicos y acrílicos, por lo que se tienen un gran número de modificadores a las fibras, por ello estos comonómeros se utilizan en la actualidad, como el acetato de vinilo, los éteres acrílicos simples y la acrilamida. Si la adición se restringe por debajo del 15% las fibras conservan propiedades mecánicas aceptables.

Para el rizado de las fibras acrílicas, de manera que se asemejen más a la lana, se utilizan fibras bicomponentes, en las cuales en dos mitades se hilan a partir de dos polímeros acrílicos que contienen diferentes cantidades de comonómeros, como acetato de vinilo y después se calienta la fibra. Los dos componentes se contraen en magnitudes diferentes por lo que el resultado neto es que la fibra se curva.

En los E.U.A. y en Europa el acrilán u orlón son producidos por los siguientes fabricantes:

COMPAÑÍA	NOMBRE DE LA FIBRA
E.I. Du Pont de Nemours and Co. Inc. E.U.	Orlón
Chemstrand Corp. E.U	Acrilán
American Cynamid Co. E.U	X-51
Suddensche Zellwolle, Alemania	Dolán
Phrix, Alemania	Redón
Casella farbwerte, Alemania	Pan
Kunstzijdespinnenj Nyma, Holanda	N-53
Rhodiaceta, Francia	Crylor

La densidad de las fibras acrílicas varía de 1.135 a 1.18 según la cantidad de monómero y método de manufactura de las fibras cortadas. Los métodos de polimerización de acrilonitrilo son la polimerización por emulsión en agua y la polimerización de una solución del monómero en agua con un catalizador apropiado,

esto produce una papilla acuosa del polímero. Los catalizadores apropiados son pares redox como el sistema peroxidisulfato-bisulfito, o peróxido, como el peróxido de benzoílo.

La fibra producida es hilada por los métodos de hilado en húmedo o hilado seco, por ser inestable en su intervalo de temperatura de fusión el polímero no se puede hilar fundido como es el caso de los nylones.

El intervalo útil de peso molecular para la formación de fibras de poliacrilonitrilo es de 15,000 a 300,000, la mayor parte de poliacrilonitrilo para fibras comerciales tienen un peso molecular que está entre 30,000 y 100,000, según las condiciones en que se hace el hilado.

Las limitaciones estructurales de los disolventes orgánicos han sido bien definidas. Descritos cualitativamente, estos disolventes son moléculas orgánicas fuertemente polares que rompen los enlaces entre las cadenas de las moléculas del polímero entre los grupos alfa-hidrógeno y nitro. Las moléculas del disolvente se adhieren a estos lugares de enlace con más fuerza que la cohesión de una molécula con otras. Entre los disolventes orgánicos están el malononitrilo, sulfóxido de dimetilo y sulfona, nitrofenoles y nitronaftoles, dimetilforma-mida, etcétera.

En la fibra hilada en húmedo, el polímero es disuelto en el disolvente apropiado. La solución resultante se vierte a través de la hiladora (llamada filera) en un líquido que es miscible con el disolvente del polímero, pero que precipita el polímero en forma de filamento.

Las fibras acrílicas han demostrado su utilidad en tejidos para abrigos, trajes, ropa de trabajo, cubiertas, cobertores, cortinas y toldos para automóviles. Las mezclas de fibras acrílicas con otras fibras naturales o artificiales se emplean bastante en prendas de vestir y prendas para deporte. Telas de fibras acrílicas al 100% se emplean en camisas, blusas, ropa interior, géneros de punto, trajes de trabajo y cortinas.

Industrialmente las fibras muestran elasticidad química y resistencia al ambiente exterior en telas para filtros, bolsas para recoger polvo, tiendas de campaña, encerados, bolsas para ánodos, etcétera.

El dynel es una fibra sintética acrílica manufacturada por la Carbide and Carbon Chemicals Company, división de Union Carbide & Carbon Corporation. Está compuesto por 60% de cloruro de vinilo y 40% de acrilonitrilo. Las primeras materias para estas fibras son el gas natural, el amoníaco, sal y aire.

El dynel está caracterizado por su buena tenacidad en seco y en húmedo, su estabilidad dimensional, tacto cálido, resistencia, secamiento rápido, resistencia a la combustión y a la degradación química, inmunidad a la polilla y a los mohos y termoplasticidad.

Se fabrica mediante la copolimerización de cloruro de vinilo y acrilonitrilo, esta se efectúa por un procedimiento de emulsión, semejante al empleado para la producción del butadieno y del estireno, y así mismo, es análogo a otras reacciones de copolimerización que comprenden el cloruro de vinilo. En contraste con la facilidad con que se polimerizan otros compuestos vinílicos y acrílicos, la copolimerización del cloruro de vinilo y acrilonitrilo es lenta en las condiciones ordinarias, pero se acelera por catalizadores redox y se regulan por los degradadores y modificadores usuales. La reacción de copolimerización del cloruro de vinilo y acrilonitrilo es alta en favor de este último. Es necesario alimentar el acrilonitrilo continuamente durante la reacción, con objeto de tener una resina con un grado de composición de uniformidad deseada para las aplicaciones del polímero como fibra.

Cuando la copolimerización es completa, la resina resultante se coagula, se lava y se seca resultando un polvo blanco y ligero.

La resina seca se disuelve en acetona y se hace pasar por una filera de muchos agujeros a un baño acuoso coagulante, del cual sale el dynel como una cuerda de muchos filamentos, entonces se estira de 5 a 10 veces su longitud original. Este alargamiento influye en las características finales de tenacidad y alargamiento de la fibra.

Buena parte del éxito de los géneros del dynel mezclado depende del apropiado teñido y acabado de la tela. Para esto se toman en cuenta tres cosas: a) el empleo de temperaturas para el tinte superiores a 96° C,

b) restauración del lustre en las fibras teñidas, y c) consideración del hecho de que la fibra es termoplástica. Normalmente la fibra posee muy baja absorción, pero a altas temperaturas el agua penetra a la fibra y con ella penetra el colorante.

El dynel se emplea en mantas de cama y mantillas para niños de pecho, bufandas, prendas para alpinista, chamarras lanudas, vestidos, pelucas para muñecas, cubiertas de rodillo, estampados y en tejidos de pelo.

El sarán es un sistema de polímeros y copolímeros producido por la Dow Chemical Co. El principal constituyente es el cloruro de vinilideno este es producido para cubiertas de asientos para automóviles, muebles para el aire libre, parasoles, telas para filtros, cortinas contra insectos y telas de sombra para el tabaco. Con fibras cortadas, multifilamentos y monofilamentos de varios tamaños se producen telas de tacto suave, apropiadas para cortinajes y tapicería, telas para cubiertas, alfombras, telas para filtros y pelo para muñecas.

El sarán fue primeramente presentado como monofilamento de 0.01, 0.012 y 0.015 pulgadas de diámetro, sus usos más apreciados son: cortinas contra insectos, telas para tapicería, cintas tejidas y bridas. Poco después que fueron presentados los monofilamentos en el comercio, se hicieron filamentos más finos para textiles, que a principios de la segunda guerra mundial se hallaban en manos de pequeñas semifábricas. En virtud de la resistencia química del sarán, aquella pequeña inversión fue absorbida en el esfuerzo de la guerra y el trabajo desarrollado fue moderado. Al término de la guerra, la National Plastic Products Co. se interesó en los filamentos de sarán más finos y emprendió un programa de investigación.

Las propiedades de los monofilamentos grandes y de la hilaza más fina del sarán son las mismas, con la excepción de que el monofilamento ofrece mayor resistencia a la tracción. Esto depende del diámetro que llega hasta 3,500 kg/cm² aunque pueden conseguirse mayores, pero ahora no se puede emplear comercialmente.

La hilaza del sarán presenta resistencia sobresaliente a los ácidos y a los álcalis, con excepción del NaOH. No es atacado por los alcoholes ni por los hidrocarburos alifáticos. Los hidrocarburos aromáticos, las cetonas, los ésteres y los éteres pueden dañarles en grado variable. La temperatura es un factor importante en los efectos de estas sustancias. La resistencia a la polilla y al moho es excelente. Los filamentos de sarán son autoextintores, cuando se exponen a una llama, los filamentos se contraen primero, después se funden y se descompone el polímero.

La primera materia básica para el sarán es el petróleo y el cloruro de sodio. El cloruro de vinilideno se polimeriza fácilmente en masa o en emulsión. El polímero es una cadena abierta con la estructura $(-\text{CH}_2\text{CH}_2-)_n$ es blanco y poroso con intervalos de fusión de 180 a 200° C y temperatura de descomposición de 225° C aproximadamente.

Es difícil emplear este polímero como material plástico en el sentido ordinario a causa de su elevada temperatura de ablandamiento, su tendencia a desprender HCl a la temperatura que se somete para hilarse y su falta de compatibilidad con los plastificantes en general. Las propiedades de este polímero mejoran para su uso general por copolimerización. Como podría esperarse de la resistencia química del sarán, el grado de plastificación es limitado. También son limitantes los tipos de plastificantes a causa de sus efectos sobre la estabilidad hacia el calor y la luz.

El sarán, para su extrusión, existe en tres modificaciones: cristalino que es el estado normal del polímero con el diagrama de rayos X bien definido, pero también con algo de polímero amorfo, blando, fácilmente deformado, obtenido por fusión y enfriamiento rápido; su forma cristalina a una velocidad que depende de la temperatura y mantiene su condición amorfa a bajas temperaturas más largo tiempo que a temperaturas altas; cristalino ordinario, tenaz, con un diagrama de rayos X característico, producido por material amorfo plastificante.

El sarán se tiñe por pigmentación en la hilatura. Se dispone de gran variedad de colores, que pueden prepararse para satisfacer la conveniencia del cliente y cuya solidez depende de la fijeza de los tintes y pigmentos usados, y por consiguiente varía de un color a otro. En general la propiedad de fijeza es excelente en los tonos medio y oscuro.

Las fibras de sarán cortadas pueden ser elaboradas en equipos ordinarios de textiles con ligeras modificaciones. Se produce hilaza en los sistemas de hilado de los estambres, yute, yute modificado y lino. Por la elevada relación de teñir por filamento en la actualidad, no se maneja bien el sarán en el sistema de algodón.

FIBRAS ELASTOMÉRICAS

Las propiedades tan conocidas del caucho natural propiciaron el desarrollo de procesos para que se pudiera incorporar a los tejidos. Un caucho crudo de alta calidad se mezcla con azufre y otros productos químicos básicos, se calandrea en forma de lámina delgada y se vulcaniza sumergiéndola en agua. La película resultante se corta espiralmente en tiras con una sección transversal de 0.025 cm por 0.025 cm. Estas tiras se desulfurizan, se lavan, se secan y se empacan. Las tiras de mayor sección transversal se procesan con mayor facilidad. A este producto originado por la industria del caucho más que por la textil, se le llama cuerda.

Otro método produce un monofilamento conocido como cuerda de látex. La materia prima es látex de caucho y, puesto que se requiere una extrusión a través de orificios pequeños, es indispensable que el material sea de alta pureza. Con una estabilización apropiada, la solución de látex puede enviarse de la planta hulera a la planta donde se formula y se procesa con el azufre y las otras sustancias necesarias para el curado, añadiendo también pigmentos, antioxidantes y otros aditivos. Después se procede a un precurado para convertir el látex a una forma que coagule al extruirla en un baño precipitador de ácido acético diluido, formándose un filamento que tenga suficiente resistencia para someterse a las operaciones subsiguientes. Al salir del baño se lava, se seca, se vulcaniza en una o dos etapas y se empaca.

Las cuerdas de caucha manufacturadas con cualquiera de estos procesos se pueden usar en combinación con filamentos normales no elastómeros en telas tejidas o urdidas (hiladas). Sin embargo, la mayor parte, en especial los que se obtienen por medio de látex, se recubren con un devanado espiral de fibras naturales o artificiales. Con frecuencia se aplican dos capas en direcciones opuestas para reducir al mínimo los efectos de la torsión. Estos recubrimientos tienen dos propósitos. El primero es el de reemplazar el *tacto* del caucho en la piel humana, por el más aceptable que producen las fibras duras. El segundo se relaciona con las propiedades deseadas en el procesamiento de las telas. Cuando un material elastómero comienza a recuperarse de su estado de gran alargamiento, produce una fuerza considerable, pero al aproximarse a su condición original antes del estirado, esta fuerza disminuye de manera notable. Cuando se ha hilado en su estado de alargamiento con un filamento que tenga un módulo y una resistencia altas, el componente elastómero no puede contraerse por completo debido a que su expansión lateral está limitada y se presenta un encrespamiento del material. De esta forma se pueden lograr diversas combinaciones de materiales que proporcionen las características deseadas de estirado y recuperación para un gran número de aplicaciones.

Sin embargo, las cuerdas elastómeras tradicionales tienen algunas limitaciones inherentes. La presencia de enlaces dobles sin saturar produce una sensibilidad a la oxidación, en especial cuando se exponen a la acción de los rayos ultravioleta de la luz del Sol. También tienen poca resistencia al lavado y a los blanqueadores domésticos y líquidos limpiadores.

En los últimos años, los filamentos o cuerdas de elastómeros se han venido usando en prendas femeninas que comprimen la silueta a las dimensiones ideales de la juventud y que, al mismo tiempo, son poco

apreciables a simple vista. Estas prendas deben ser muy delgadas y de gran efectividad por unidad de peso. Los materiales de fabricación tienen que ser compatibles con estos requerimientos.

Un material ahulado puede estirarse con bastante facilidad pero también es fácil alcanzar un estado propenso a la cristalización. La estructura así obtenida es resistente a seguirse alargando y el módulo se incrementa de manera notable. En contraste con las condiciones que se presentan cuando las fibras artificiales se estiran para formar fibras de geometría estable en estados cristalinos y orientados, el estado cristalino de las fibras elastómeras es muy lábil, a menos que la temperatura llegue a niveles sumamente bajos. La solución al problema radica en el uso de polímeros lineales conteniendo secciones blandas conectadas por componentes duros.

La parte blanda, flexible y de baja fusión, suele ser un poliéter alifático o un poliéster con grupos oxhidrilo terminales y un grado de polimerización entre 10 y 15. la porción dura se obtiene con un diisocianato aromático en cantidades tales que reaccione con los grupos terminales del poliéter o poliéster, para formar grupos uretano. El producto, que es un compuesto intermedio al que se le llama prepolímero, es un líquido espeso formado esencialmente por moléculas con grupos isocianato activos en ambos extremos.

El polímero elastomérico se protege *extendiendo* el prepolímero al hacerlo reaccionar con glicoles de cadena corta o diaminas, con lo que se completa la formación de grupos duros entre las cadenas blandas, flexibles. La conversión de estos polímeros en fibras de valor práctico, puede llevarse a cabo con procesos de hilatura en húmedo, en seco o por fusión, dependiendo del tipo de polímero. Se pueden incorporar aditivos para impartir color o mejorar la resistencia a la oxidación y la acción ultravioleta, ya sea en los baños de hilatura o en el producto fundido.

El desarrollo de fibras elastoméricas ha resultado en una modificación de la hilatura en húmedo llamada hilatura de reacción o hilatura química. De hecho, se puede decir que el rayón, que fue el primer material en hilarse en húmedo, se produce por hilatura de reacción en húmedo o hilatura química en húmedo, pues la operación se basa en una serie de reacciones químicas complejas. De todas formas, se ha determinado que el prepolímero de la fibra elastomérica puede extruirse en un baño conteniendo una diamina altamente reactiva, de tal manera que la conversión de líquido a sólido se verifica por medio de una reacción química.

Las fibras elastoméricas obtenidas de esta manera están basadas en poliuretanos segmentados y se conocen con el nombre de *spandex*. Cada fabricante usa sus propios nombres de marcas registradas por razones comerciales obvias. El aspecto más notable de la química industrial de estos productos es quizá la gran variedad de opciones que representan para los productores, a través del uso ingenioso de diversos agentes químicos para lograr segmentos blandos, unidades duras, alargamiento de la cadena y condiciones de la reacción química, aunadas a las numerosas posibilidades de extrusión y tratamientos posteriores.

FIBRAS POLIOLEFÍNICAS

Aunque desde su primera aparición en el mercado se consideró que el polietileno debería constituir un material adecuado para la fabricación de fibras, su bajo punto de fusión (110-120° C), así como sus otras limitaciones, impidieron su desarrollo durante el periodo de gran expansión de las otras fibras provenientes de la industria petroquímica. El punto de fusión más elevado del polietileno de alta densidad estimuló algunas investigaciones, pero estas quedaron opacadas por la introducción del polipropileno en 1958-59. El polipropileno nació con grandes esperanzas de convertirse rápidamente en un competidor directo de las poliamidas, los poliésteres y de los acrílicos. Se pensaba que existían muchos puntos a su favor. El primero era el costo, el segundo era el alto grado de sofisticación en la hilatura y procesamiento de las fibras y la presunción de que ello conduciría en poco tiempo al desarrollo de los procesos para convertir este polímero en fibras; finalmente, se pensaba que el consumidor estaba listo para aceptar y exigir algo nuevo y diferente.

Las limitaciones que comenzaron a aparecer con respecto a las fibras de polipropileno, tales como sus pésimas características de teñido, su baja estabilidad térmica, así como el inicio de la reducción de los costos de las fibras ya existentes y su aumento de versatilidad, desvanecieron las esperanzas de un éxito rápido. Sin embargo, el polipropileno tiene aplicaciones importantes y sus propiedades han promovido la aparición de nuevas técnicas de fabricación y de sus usos especializados.

La técnica más común para la producción de monofilamentos y multifilamentos se basa en la hilatura por fusión. A este método se le ha adicionado un procedimiento de fibrilación o de películas hendidas.

Las poliolefinas son totalmente resistentes al ataque bacteriano, son inertes desde el punto de vista químico y no son afectadas por el agua. Se pueden producir monofilamentos que poseen alta resistencia, poco alargamiento y una buena estabilidad dimensional a las temperaturas atmosféricas normales. Los monofilamentos de poliolefinas tienen aplicaciones en la manufactura de cordeles y sogas y para redes de pesca; cuando se tejen en telas se usan para recubrimientos de muebles exteriores, sombreros, ropa térmica y otros usos similares.

Debido a su alta viscosidad, las poliolefinas pueden extruirse a 100-150° C por encima de su punto de fusión. Al salir de los husillos de calentamiento, el polímero pasa a las bombas de dosificación, que lo alimentan a los filtros de tamiz situados por encima de las fileras. Los filamentos se extruyen en agua para enfriarlos y disipar el calor. Los materiales que se obtienen se estiran en caliente hasta varias veces su longitud original, dependiendo del peso molecular y de las propiedades deseadas en el producto final. Después se procede a una estabilización en una operación de fijación en caliente a longitud constante o permitiendo un grado limitado de encogimiento.

La producción de multifilamentos es similar a cualquier otro proceso de hilatura por fusión, reemplazando el agua por aire de enfriamiento. La única diferencia con otros procesos de fusión consiste en que se aplica una mayor velocidad de embobinado de la fibra sólida con respecto a la velocidad promedio del polímero líquido en los capilares de la filera. Esta operación de alargamiento no elimina la necesidad de una etapa posterior de estirado para obtener la orientación necesaria para las propiedades deseadas. Como en el caso de los monofilamentos, la operación de estirado se lleva a cabo en caliente. Cuando las fibras se van a utilizar en multifilamentos se usa un mayor grado de alargamiento que cuando se quieren producir fibras cortas. Los multifilamentos requieren una mayor resistencia y un alargamiento menor que las fibras cortas.

La producción de materiales de hilatura ligada con diversos polímeros formadores de fibras, es una de las aplicaciones más típicas del polipropileno. Un ejemplo es el Typar que se usa para los recubrimientos de soporte de las alfombras. En este caso, las fibras que proporcionan la resistencia se hilan y se estiran en una operación continua. Las fibras orientadas se depositan en forma de una trama y se ligan por fusión térmica y presión en ciertas áreas seleccionadas.

Tal como ya se mencionó, puesto que las poliolefinas se usan en grandes volúmenes para fabricar películas delgadas, es lógico que estas puedan cortarse en tiras estrechas para usarlas en aplicaciones donde puedan competir con las fibras convencionales. Pero las poliolefinas también han hecho posible el proceso de películas hendidas para producir fibras. Esto se basa en su capacidad para moldearse en películas que, al estirarse, se vuelven altamente cristalinas y se orientan en la dirección del alargamiento. La baja resistencia en la dirección perpendicular al eje de orientación, causa que la película se rasgue al hendirse y fibrilarse. La estructura tipo red que resulta y que tiene fibrilos interconectados con una alta resistencia longitudinal, puede transformarse en hilos al retorcer el material o cortarlo en fibras.

FIBRAS DE VIDRIO Y DE CARBÓN

Entre las fibras inorgánicas artificiales, la de mayor volumen de producción es la de vidrio. El uso de fibras de vidrio grado textil ha tenido un incremento muy rápido. Además de las aplicaciones textiles, la fibra de vidrio se usa para filtros de aire, aislamiento térmico y refuerzos plásticos.

El vidrio fluye con facilidad cuando está fundido y puede estirarse en filamentos cuya delgadez sólo está limitada por la velocidad de la hilatura. En las operaciones comerciales, el vidrio fundido se mantiene a una temperatura uniforme en un tanque cuyo fondo tiene un forro con una gran cantidad de orificios pequeños. El vidrio fundido fluye por estos orificios formando corrientes delgadas que se estiran en filamentos a velocidades hasta de 3000 m/min, se recubren con un lubricante, se retuercen en conjunto para formar hilos y se embobinan.

Debido al módulo del vidrio, los requerimientos de los materiales textiles se satisfacen con filamentos muy finos. El diámetro de los filamentos es del orden de 3.8 a 7.6 micras, mientras que el diámetro promedio de las fibras orgánicas más finas es de casi el doble.

El método de fabricación de las fibras cortas es diferente al que se utiliza para producir los materiales orgánicos, todos se basan en cortar el filamento continuo. En la industria del vidrio se usan chorros de aire en la misma línea de flujo del vidrio emergente, que lo adelgazan y lo rompen en las longitudes deseadas para su procesamiento. Estas fibras se recolectan en un tambor al vacío y se empacan en forma de esterillas, o torzales. Para producir las fibras más gruesas y menos uniformes que se usan para la fabricación de filtros, recubrimientos o aislamiento térmico, las corrientes de vidrio fundido se soplan perpendicularmente con aire caliente, vapor o gas en combustión.

Tal como era de esperarse sobre la base de la naturaleza del vidrio, la conversión de las fibras de vidrio en los productos finales requirió el desarrollo de nuevos lubricantes, acabados y técnicas de procesamiento. Por ejemplo, puesto que las telas de vidrio no pueden teñirse directamente ni estamparse con los colores aceptables para utilizarlas como cortinas, el colorante tiene que aplicarse con un recubrimiento de resina. Pero antes de aplicar el recubrimiento, es necesario eliminar el lubricante que se utilizó con las fibras para poderlas tejer. Esto se hace con un proceso de combustión. Las altas temperaturas que resultan de esta operación, también relajan los esfuerzos internos desarrollados por las fibras durante las etapas textiles y fija los filamentos con la geometría requerida. Después, la tela se trata con la resina, se cura y se tiñe o se estampa.

Otra propiedad inherente del vidrio es la tendencia de sus superficies no protegidas a destruirse por fricción mutua, aunque la acción mecánica sea muy leve. Además, tiene una adherencia baja al caucho de los adhesivos intermedios que se usan entre las cuerdas de neumáticos y el caucho. Durante muchos años, estas limitaciones frustraron los esfuerzos de los fabricantes para aprovechar las ventajas de una resistencia a la tensión muy alta, un comportamiento completamente elástico, un módulo elevado y la insensibilidad a la humedad de las fibras de vidrio. Si embargo, se logró modificar la superficie de las fibras para lograr una adherencia satisfactoria, y el material impregnante puede aplicarse de tal manera que se evita el contacto mutuo de las fibras. Esto ha propiciado un gran incremento del uso de cuerdas de fibra de vidrio en la fabricación de neumáticos.

El desarrollo de aviones a reacción y proyectiles provocó una gran demanda de fibras de alta resistencia térmica, gran resistencia mecánica y un módulo superior a los que podían lograrse con las fibras orgánicas existentes. La mayor parte de esta demanda se centraba en materiales de refuerzo que pudieran incrustarse en diversos tipos de matrices. Como resultado, se desarrollaron técnicas para la preparación de fibras con muchos metales y compuestos inorgánicos refractarios.

Las fibras de carbón y de grafito, con las limitaciones económicas típicas, se pueden producir a partir de las fibras orgánicas comunes. En los procesos comerciales actuales, se usa una fibra orgánica, por lo

general rayón viscosa o un acrílico, que se somete a un tratamiento en ausencia de aire para evitar la oxidación, mediante el cual todos los elementos excepto el carbón se volatilizan y se desprenden.

El uso de fibras orgánicas como material inicial para las fibras de carbón y grafito, hace posible determinar la morfología de las fibras finales y su conformación geométrica. Las fibras continuas pueden transformarse haciéndolas pasar por un horno que opera con una atmósfera inerte o al vacío. Las telas tejidas, las películas y las estructuras de tipo cinturón que no pueden procesarse con carbón debido a su fragilidad, pueden obtenerse con operaciones textiles previas a la carbonización *in situ*.

FIBRAS RESISTENTES A ALTAS TEMPERATURAS

En la actualidad sólo se fabrica una fibra con resistencia a altas temperaturas en volúmenes del orden comercial. La necesidad de estas fibras tiene su origen tanto en la economía general como en los programas espaciales, donde se desean las características usuales de las fibras orgánicas pero se requiere la alta resistencia a la temperatura de las inorgánicas. Se espera de ellas que retengan su integridad estructural a temperaturas de 300° C o más durante tiempos prolongados, pero que sus propiedades sean similares a las de las fibras artificiales comunes en la industria textil.

Esta fibra se introdujo en 1962 como nylon HT-1, pero hoy se le conoce como Nomex. En los medios industriales se cree que se forma por polimerización en solución de *m*-feniléndiamina y el cloruro del ácido isoftálico. Puesto que no se funde, sino que se descompone a temperaturas muy superiores a 300° C, es necesario hilarla en solución. Las poliamidas de este tipo se estiran en caliente y se relajan para lograr la estabilidad dimensional deseada en su uso posterior a temperaturas elevadas.

Se han desarrollado otras fibras para aplicaciones a altas temperaturas. Una de ellas, el Kynol se basa en una resina fenólica, no se ha revelado su método de fabricación.

Por otra parte, se conocen bastantes detalles de la fabricación de otro tipo de fibra desarrollada para usos a temperaturas elevadas. El Air Force Materials Laboratory patrocinó el desarrollo del poli-2,2'-(*m*-fenilén)-5,5'-bibenzimidazol, que se conoce con la abreviatura de PBI. Se trata de un polímero de condensación obtenido por la reacción de la 3,3'-diaminobencidina con isoftalato de difenilo, en una atmósfera de nitrógeno a temperaturas que pueden llegar hasta 450° C en las etapas finales. El polímero se disuelve en dimetilacetamida usando temperaturas elevadas y nitrógeno a presión, añadiendo una pequeña cantidad de cloruro de litio para aumentar la estabilidad de la solución. Se hila en seco en una atmósfera de nitrógeno caliente (200° C), del cual se recupera el disolvente, se estira ligeramente con vapor de agua, se lava para eliminar el cloruro de litio y las últimas trazas de disolvente, se seca y se empaca. El alargamiento y el relajamiento se llevan a cabo en una atmósfera inerte.

El filamento final es de color amarillo dorado y debido a que parece ser que este color es una propiedad intrínseca del polímero, esto podría constituir una limitación para el mercado civil. No obstante, y puesto que es capaz de retener casi la mitad de su resistencia original (más o menos 5 g/denier) al exponerse al aire durante 18 horas a 350° C o una hora a 425° C, podría tener aplicaciones de gran importancia en campos especializados.

El *denier* de una fibra o un filamento define su densidad lineal, esto es, el peso en gramos de una longitud de 9000 m del material en condiciones normales de 25° C y 65% de humedad relativa. Aunque el *denier* es de hecho una medida de densidad lineal, en la industria textil significa el tamaño del filamento. Las fibras suelen variar entre 1 y 15 deniers y los filamentos entre 15 y 1650. Las fibras simples de 15 o más deniers reciben el nombre de monofilamentos. Las áreas de las secciones transversales de fibras de deniers idénticos son inversamente proporcionales a sus densidades, que varían entre 0.92 para el polipropileno y 2.54 para las de vidrio. Puesto que el *denier* se define en condiciones normales, esta medida describe la

cantidad de material completamente seco más la absorción de humedad, que fluctúa entre cero para el vidrio y el polietileno y 13% para el rayón. Conviene mencionar que hace algunos años, varias organizaciones científicas internacionales adoptaron el término *tex*, equivalente al peso de un kilómetro de material, pensando que se trata de un parámetro más útil que el *denier*, pero este término dista mucho de ser aceptado universalmente. Además, los taños del algodón, la lana y el estambre, así como de las madejas que contienen fibras artificiales pero que se fabrican con los métodos tradicionales de estos filamentos, todavía se expresan con el sistema de conteo inverso que se ha venido usando desde hace siglos.

La tenacidad de la ruptura, o simplemente la tenacidad, es la resistencia a la ruptura de una fibra o madeja expresada en fuerza aplicada por unidad *denier*, por ejemplo en gramos por *denier*, calculados en base al *denier* del espécimen original sin estirar. La longitud de ruptura expresa la longitud teórica del filamento que se rompe bajo la acción de su propio peso y es una unidad muy común en Europa. El alargamiento significa alargamiento de ruptura y se expresa en unidades de longitud calculadas como porcentaje de la longitud original del espécimen.

Enero del 2002
Jaime Mondragón Aguilar