



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

ESCOLA
D'ENGINYERIA
DE TERRASSA

EET

MATERIALS PEL DISSENY DE
PRODUCTES TÈXTILS

POLIAMIDA

DR.F.J.CARRION FITE

1. POLIAMIDA o NYLON	
1.1 Definición	3
1.2 Historia de su descubrimiento	
1.3 Fabricación del Nylon 6.6	
1.31 Proceso químico del Nylon 6.6	
1.32 Hilatura del Nylon 6.6	
1.4 Fabricación del Nylon 6	9
1.41 Hilatura del Nylon 6	10
1.5 Oligómeros	11
1.6 Aditivos	14
1.7 Diferencias entre el Nylon 6.6 y el Nylon 6.....	14
1.8 Propiedades físicas.....	16
1.81 Densidad	16
1.82 Propiedades de tracción y alargamiento a la rotura del Nylon 6.6 y el Nylon 6	16
1.83 Resistencia a la abrasión	18
1.84 Propiedades eléctricas.....	18
1.85 Higroscopicidad	19
1.86 Comportamiento térmico.....	19
1.861 Comportamiento a la llama.....	19
1.862 Tratamientos térmicos del nylon... ..	19
1.8621 Termofijado	20
1.9 Propiedades químicas	20
1.91 Identificación	21
1.10 Toxicología y resistencia a los insectos y al moho.....	22
1.11 Productos comerciales.....	22
1.12 Aplicaciones típicas.....	23

1.1 Definición

Tal como se define en la Norma Une 40-286-79, las fibras de poliamida o nylon son las fibras químicas formadas a partir de un polímero de macromoléculas lineales sintéticas en cuya cadena se suceden grupos amida, de los que un mínimo del 85% están unidos a agrupaciones alifáticas o cicloalifáticas.

Según la Compañía Dupont en nombre de Nylon se aplica a toda amida polimerizada (poliamida) de larga cadena y obtenida sintéticamente a partir de grupos amidos, integrantes de la cadena total del polímero, y que es capaz de ser puesta en forma de filamento, tal que los elementos que lo forman, estén orientados en la dirección del eje.

De acuerdo con las definiciones indicadas, no existe una sola clase de Nylon, sino que según sea la poliamida que lo constituya, el Nylon tendrá propiedades y características que, algunas veces, llega a ser considerablemente distintas de un tipo a otro.

En la Tabla 1 contiene diversos polímeros de poliamidas alifáticas, cicloalifáticas y aromáticas que se han comercializado en forma de fibras.

TABLA I

Fibras de poliamidas alifáticas, cicloalifáticas y aromáticas.

Polímero	Denominación
$\text{H} \left[\text{HN}-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}-\text{CO}-(\text{CH}_2)_4-\text{CO} \right]_n \text{OH}$	Poli(exametilen-adipamida) (Poliamida 6.6)
$\text{H} \left[\text{HN}-(\text{CH}_2)_5-\text{CO} \right]_n \text{OH}$	Policapromida (Poliamida 6)
$\text{H} \left[\text{HN}-(\text{CH}_2)_{10}-\text{CO} \right]_n \text{OH}$	Poliundecanamida (Poliamida 11)
$\text{H} \left[\text{HN}-\text{C}_6\text{H}_{10}-\text{CH}_2-\text{C}_6\text{H}_{10}-\text{NH}-\text{CO}-(\text{CH}_2)_{10}-\text{CO} \right]_n \text{OH}$	Poliamida PACM 12
$\text{H} \left[\text{HN}-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}-\text{CO}-(\text{CH}_2)_8-\text{CO} \right]_n \text{OH}$	Poli(exametilen-sebacamida) (Poliamida 6.10)
$\text{H} \left[\text{HN}-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}-\text{CO}-(\text{CH}_2)_{10}-\text{CO} \right]_n \text{OH}$	Poli(exametilen-dodecanamida) (Poliamida 6.12)
$\text{H} \left[\text{HN}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{NH}-\text{CO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CO} \right]_n \text{OH}$	Poli(m-fenilen-isoftalamida) (Nomex)
$\text{H} \left[\text{HN}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{NH}-\text{CO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CO} \right]_n \text{OH}$	Poli(p-fenilen-tereftalamida) (Kevlar)

1.2 Historia de su descubrimiento

El Nylon fue descubierto por el Doctor Wallace Hume Carothers. En 1928, cuando contaba sólo 31 años de edad ya era un prestigioso Profesor de Química Orgánica, Física y Analítica en su Laboratorio de la Universidad de Harvard, en Cambridge, Massachussets de U.S.A.

y fue contratado por la firma E.I. Du Pont, de Nemours, en Wilmington, Delaware (U.S.A.). Este trust de la química americano, nació, tal como indicamos anteriormente al describir la

Historia de la lana, de una modesta fábrica de pólvora que fue fundada en 1802 por Mr. Eleuterio Irenée Du Pont, un fugitivo de la revolución francesa que emigró a América en los años 80 del siglo XVIII con cuatro corderos merinos machos.

La Firma Du Pont aseguró a Carothers un equipo de colaboradores muy cualificados y le dio libertad para organizarse sus investigaciones. Los polímeros habían fascinado a Carothers y se mostraba muy interesado por los enlaces que se formaban cuando las diminutas moléculas, en determinadas condiciones y de acuerdo con ciertas leyes químicas, se encadenaban en macromoléculas de forma circular o alargada, ordenadas en estructuras lineales.

Carothers quiso averiguar el mecanismo de reacción de la polimerización, estudiando así un tipo perfectamente determinado, la poli condensación. De acuerdo con este principio de

enlace, construye la Naturaleza con maestría inigualable de materias como la celulosa o la albúmina. Los trabajos de Cartothers se encaminaban, pues, en la misma dirección que

Staudinger, cuyos revolucionarios descubrimientos seguía el primero con extraordinario interés.

En el curso de sus experiencias, Carothers sintió atraída su atención por una sustancia de elevada polimerización obtenida sintéticamente y que en estado viscoso permitía la obtención de fibras que las llamó "superpoliester". Estas fibras, ante el asombro del científico, admitían, en estado sólido y frío, un alargamiento de hasta cuatro veces su longitud original sin que, al concluir la tensión, volvieran a su estado primitivo tal como lo hacen las fibras de goma. Las fibras, así largadas en frío, mostraban una extraordinaria resistencia sin perder por ello su elasticidad, Los motivos de este fenómeno eran los siguientes:

En las fibras sin estirar las largas macromoléculas estaban agrupadas de manera bastante irregular. Al experimentar la tensión, se colocaban de forma paralela a un eje de la fibra imaginario. La fuerza de tensión alcanzaba en este sentido su máxima efectividad y condicionaba la extraordinaria resistencia de las fibras. Un análisis de rayos X dio como resultado que estas fibras cumplían las características de auténticas fibras. En las pruebas de tecnología textil la excluyeron como materia prima textil. El problema principal era que estas fibras fundían a una temperatura demasiado baja para ser interesantes como fibras

comerciales. Pero estos estudios básicos permitieron a Carothers en: la primavera de 1935, a base de la hexametildiamina y del ácido adípico, una poliamida, especialmente adecuada para la obtención de fibras textiles. Esta era la sustancia que cinco años más tarde causó gran sensación con el nombre de "nylon". La

hexametildiamina, se obtenía del fenol, un derivado del alquitrán de hulla y del ácido adípico, que son cristales blancos obtenidos del benzol después de efectuar una serie de reacciones o bien directamente del alquitrán de hulla. En la actualidad el petróleo suministra ambas sustancias, de 50 a 100 moléculas de hexametildiamina y ácido adípico se enlazan en una autoclave a temperaturas de 275° C, formando, de acuerdo con el principio de poli condensación, macromoléculas. El polímero que resulta se le llama polihexametilenadipamida, o, más popularmente, nylon poliamida, que tiene la fórmula siguiente:

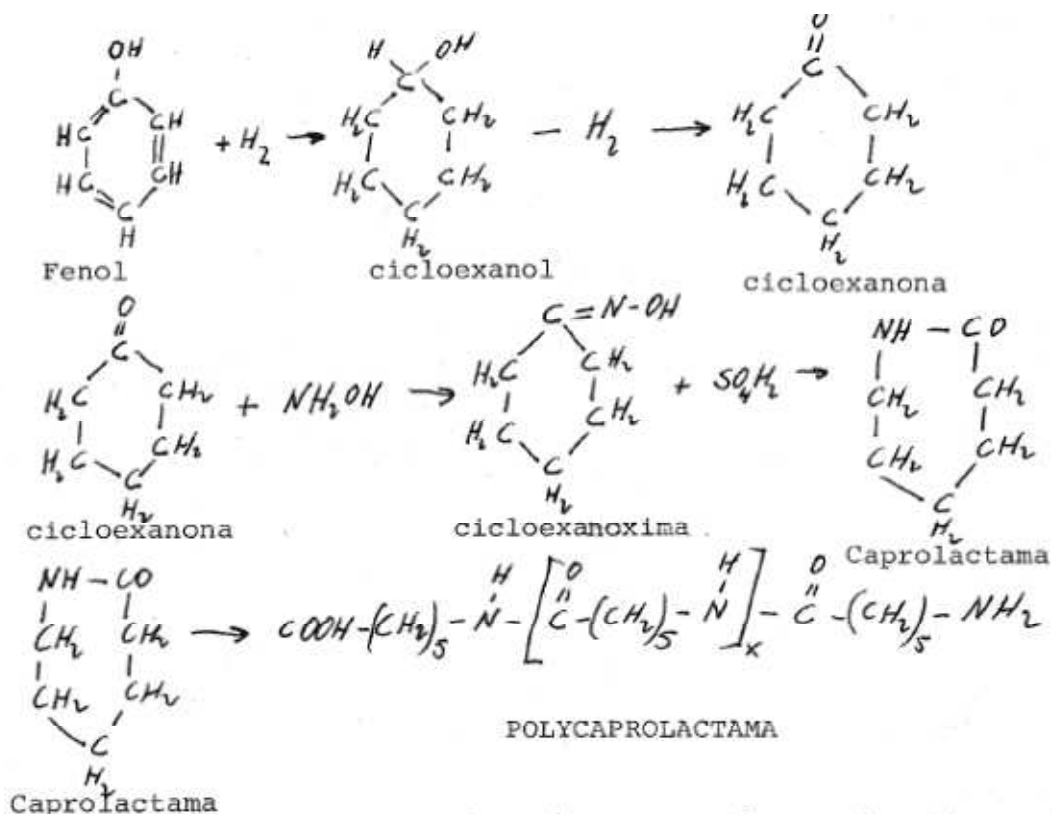
.+ hexametildiamina+ácido adípico + hexametildiamina +ácido adípico +
 -NH- (CH₂)₆ -HN-CO- (CH₂)₄ -CO-NH- (CH₂)₆ -NH-CO- (CH₂)₄ -CO-.....
 Polyhexametilenadipamidá

Puesto que la hexametildiamina y el ácido adípico tienen cada uno seis átomos de carbono en su molécula, la nueva sustancia se llamó "poliamida 6.6", obteniéndose de la misma la llamada "fibra 6.6". Esta fue su denominación hasta que se encontró el nombre de "nylon".

Sin embargo, desde el primer y prometedor producto de laboratorio y la primera media de nylon existió un largo camino, y hubieron de resolverse arduos problemas. Así por ejemplo, hubo de nacer una nueva técnica de hilado, puesto que la poliamida 6.6 ofreció ciertas peculiaridades. Por último, en 1938, se habían recogido suficientes experiencias, y el proceso de hilado se había perfeccionado lo bastante para que Du Pont pudiera comenzar con la producción, dando a conocer al público en general la existencia de una nueva fibra. En los años siguientes la empresa en la Feria de Primavera de San Francisco se exhibió los primeros artículos de nylon. En 1940, las mujeres americanas pudieron comprar las primeras medias de nylon.

Hay que indicar que el Dr. Wallace Hume Carothers, no llegó a conocer el nombre de "nylon" ni asistió a los principios de la producción de su fibra, puesto que se suicidó el 27 de abril de 1937. Su voluntaria muerte según declaró la empresa Du Pont, fue debida a una grave depresión que padecía que le impulsó a tomar la decisión fatal.

Cuando el 1940 se inició en Du Pont la producción de nylon, se había obtenido también en la IG Farbenindustrie AG, de Alemania, la síntesis de una poliamida textil: Perlón. Su descubrimiento se debe al Dr. Paul Schlack. Este investigador realizó una prueba con caprolactama fundida introducida en un tubo de ensayo que al mantenerlo en un pequeño secador durante toda la noche de 230 a 250 grados centígrados. Cuando Paul Schalack destapó el tubo a la mañana siguiente, su contenido que era en un principio una masa líquida y viscosa se convirtió en una masa sólida, que NO era dura y quebradiza sino elástica y flexible y cuando introdujo una varilla dentro de ella y estiró el polímero adherido a la misma comprobó que podía estirarse en frío y mantenía una extraordinaria consistencia. Su resistencia a la rotura resultó superior a la de la seda natural, había nacido el Perlón (se llamó primeramente perluran). Así pues doscientas moléculas de caprolactam, sometidas durante una noche a elevadas temperaturas y con el concurso de catalizadores, se había enlazado en forma de macromoléculas fibrosas formando el polímero. Este polímero fue llamado, puesto que la molécula de caprolactam tiene 6 átomos de carbono, "Poliamida 6".



En 1939 se puso a la venta la primera y rudimentaria fibra de perlón, y en 1940 apareció ya la seda de perlón. Dado que era la época de la guerra, el perlón fue un material idóneo para la confección de paracaídas dada su resistencia. Esta fibra sintética ganó mercado en el período posbélico.

Los fabricantes de perlón de Alemania Occidental se unieron a la "Asociación de la Industria Textil de la República Federal de Alemania", representante de la industria del perlón, constituyendo la "Perlon-Warenzeichenverband E.V.". Esta sociedad, con sede en

Frankfurt, es una institución para la protección de la marca "perlón". Los productos perlón, a consecuencia de esta medida protectora, sólo pueden utilizar la marca "perlon" cuando están

fabricados por alguna industria miembro de la asociación y cuando su calidad corresponde a las rigurosas normas de la misma.

De estas dos primeras fibras poliméricas (nylon y perlón) se derivaron una serie de fibras de características parecidas.

1.3 Fabricación del Nylon 6.6

La fabricación de Nylon tiene lugar en cuatro etapas:

1° Obtención de la sal de Nylon

2° Polimerización de la sal de Nylon

3° Hilatura del Nylon en estado de fusión

4° Estiraje del hilo de Nylon.

Las dos primeras etapas son primordialmente químicas y la 3° y 4° corresponden a transformaciones de tipo físico.

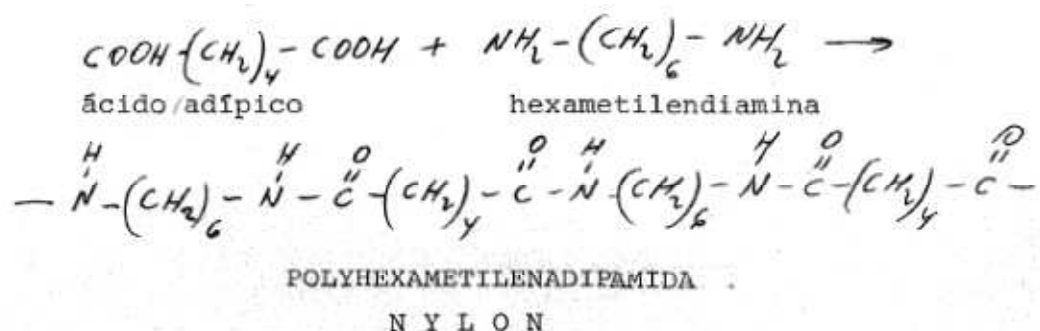
1.31 Proceso químico del Nylon 6.6

El proceso químico de preparación del nylon 6.6 por polimerización continua es el siguiente:

Se inicia el proceso con la obtención de la sal de Nylon constituida por pequeñas moléculas no polimerizadas, se parte de mezclas equimoleculares de exametilendiamina y de ácido adípico, con un contenido de sólidos del 45-50%, que se introducen en unos tanques de mezclado (Fig.1)

De los tanques de mezclado se pasa a un evaporador que trabaja a la presión atmosférica a 105-115°C de forma que en un tiempo de 20-30 minutos el contenido de sólidos pasa a ser del 65-75%. Para impedir reacciones secundarias se añade a los evaporadores una pequeña cantidad de ácido acético.

Seguidamente la solución concentrada de sal de Nylon pasa a un reactor de alta presión (240-260 psi) con una temperatura de 235°C y un tiempo de permanencia de 2 horas. En Este reactor se acaba de evaporar el agua y tiene lugar la reacción de polimerización siguiente:



El producto final es el Nylon, el peso molecular del cual, según la clase del mismo, llega a estar comprendido entre 10.000 y 20.000. Entre la evaporización y la polimerización se añade a la masa una fina suspensión de óxido de titanio en agua. Durante

el tratamiento en masa, en el interior del autoclave, la atmósfera tiene que ser inerte, por lo que se inyecta nitrógeno en el mismo, expulsando previamente el aire.

A la salida del reactor una temperatura de 260°C-290°C se produce una disminución de la presión en un equipo de destilación súbita. Seguidamente, se bombea el polímero formado a un evaporador de película fina en la que se mantiene a 260-290°C durante 5-10 minutos, tras lo cual se procede a la descarga cuando se ha alcanzado la viscosidad adecuada para un nylon 6.6 que se ha transformado en fibras.

El Nylon en estado de fusión es expulsado por medio de nitrógeno a presión y obligado a salir por una abertura situada en la parte inferior de la autoclave. La masa siruposa en forma de cinta cae sobre un tambor de fundición enfriado interiormente y que gira con lentitud. La cinta de Nylon, por su parte interior, es enfriada por el mismo tambor, mientras que en la parte exterior es también enfriada por el agua procedente de unos pulverizadores y luego, por una corriente de aire que evapora el agua remanente en la superficie de la cinta.

Una máquina desgarradora, tritura la cinta reduciéndola a pequeñas virutas o astillas, que pasan seguidamente a un recipiente donde se regulariza la mezcla, y en el cual, por medio de aire, se acaba el secado de las mismas.

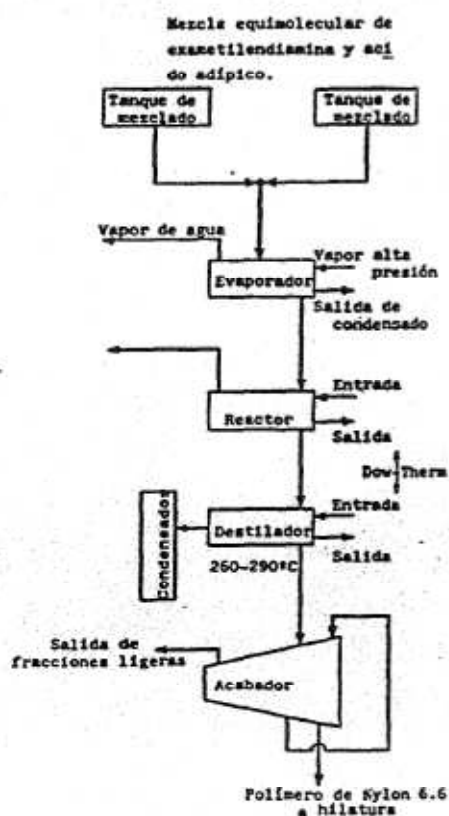


Fig.1 Preparación del Nylon 6.6 por polimerización continua.

El hilo obtenido no tiene mucha resistencia a la tracción, pues si bien está formado por macromoléculas lineales, éstas no están orientadas en el sentido del eje. Es necesario un estiraje del orden de 4 a 7, para que dichas moléculas se coloquen ordenadamente en sentido longitudinal, haciendo que actúen fuerzas intermoleculares que aumentan la tenacidad del hilo de Nylon hasta los grandes valores que daremos más adelante, mejorándose también su elasticidad, dureza y brillo. La forma de realizar este estiraje se indica en la figura 3.

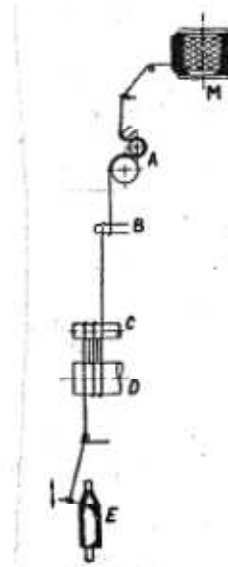


Fig.3 Estiraje de los filamentos de nylon

En la figura 3 el hilo se desarrolla de la bobina de hilatura M y pasa entre un par de cilindros de presión A y seguidamente envuelve a base de unas cuantas espiras una clavija de retención B, a partir de la cual es estirado por el par de cilindros C,D, que tienen una velocidad superior a la de entrega del hilo. El hilo se bobina finalmente sobre una husada E. Un tratamiento con vapor aumenta la estabilidad de la fibra estirada. El rizado se consigue haciendo pasar un cable de filamentos entre dos ruedas de engranajes y ocasionalmente con ácido sulfúrico o fenoles diluidos.

1.4 Fabricación del nylon 6

En la polimerización de la caprolactama (CL) a nylon 6 concurren reacciones de adición y de condensación, cuya importancia relativa depende de varios factores.

La caprolactama puede sintetizarse de diferentes maneras siendo la más clásica la que parte del ciclohexanol como materia prima. A su vez, el ciclohexanol se obtiene con altos rendimientos del ciclohexano, fenol o anilina, en algunos casos vía benceno. El esquema industrial de fabricación de la caprolactama se indica en la Figura 3.

1.32 Hilatura del Nylon 6.6

El Nylon en virutas, pasa ahora a unas tolvas móviles que lo sirven a unos depósitos fijos, de los cuales se ha eliminado previamente el aire, en evitación del oxígeno, y de ellos a unas

cámaras de paredes calentadas, a base de una camisa de vapor, por encima del punto de fusión del material, al mismo tiempo que una parrilla situada en el interior de dichas cámaras y también calentada a vapor funde definitivamente el Nylon, que en estado siruposo es tomado por las bombas de hilar, que lo llevan a unos filtros de arena que impiden el paso de cualquier impureza.

Seguidamente el Nylon fundido, pasa por hileras de sección circular de uno a varios filamentos, endureciéndose al ponerse en contacto con el aire frío que se le dirige de forma transversal al chorro de polímero que sale de la hilera. A la salida de la hilera, la fibra se encuentra en estado totalmente anhidro y si se arrollase en estas condiciones absorbería humedad del aire, su longitud aumentaría algo y las bobinas se deformarían. Para evitarlo, los filamentos pasan, después de enfriarlos, por un tubo de acondicionamiento por el que circula una corriente de vapor. Finalmente se aplica un ensimaje y se arrollan en una bobina a velocidades de 800-1200 m/min. (Figura 2).

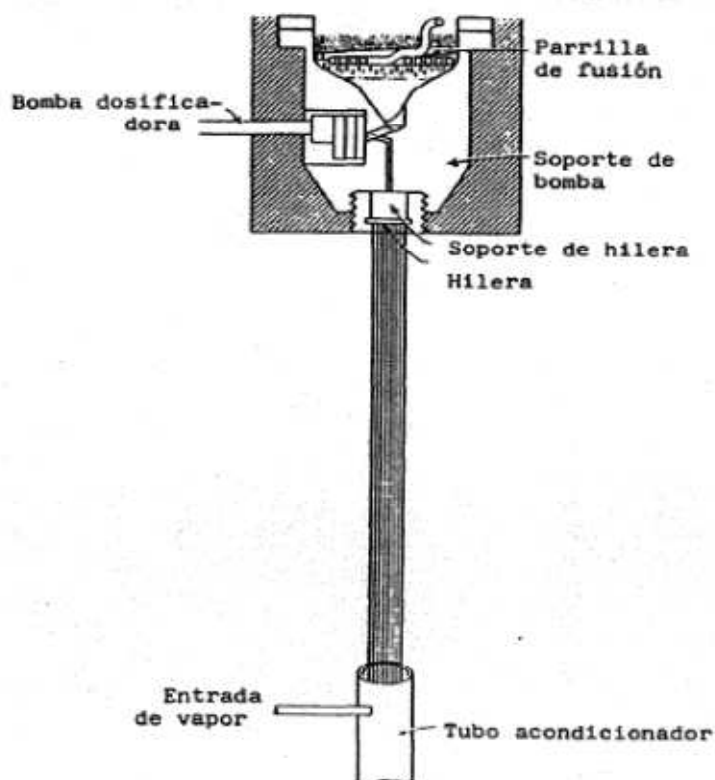


Fig.2 Hilatura del nylon 6.6

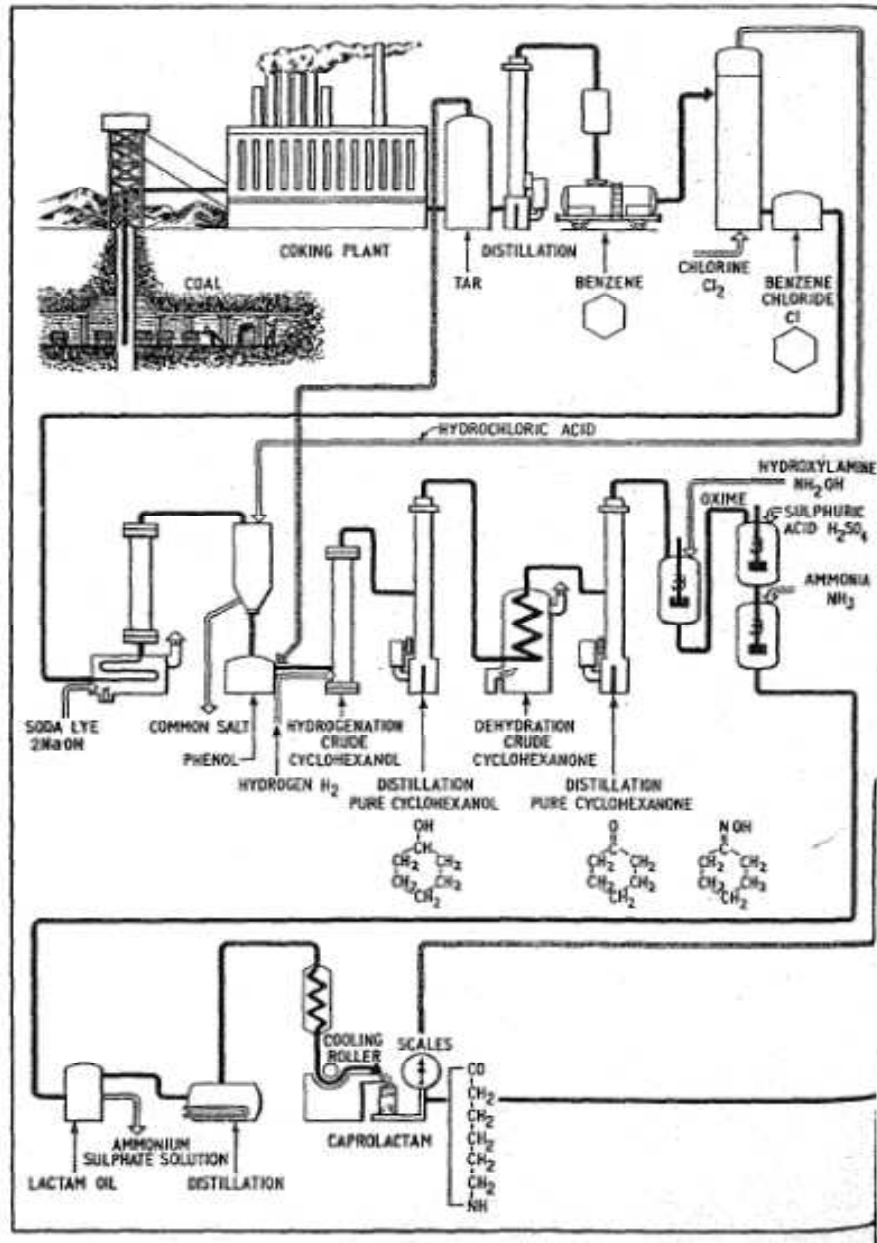


Fig. 3 Esquema de flujo de la fabricación de caprolactama.

De la destilación del alquitrán de hulla se obtiene el fenol, que por hidrogenación pasa a ciclohexanol. El ciclohexanol se oxida a ciclohexanona, la cual da ciclohexanoxima por reacción con la hidroxilamina. Finalmente esta oxima se convierte en caprolactama al tratarla con ácido sulfúrico concentrado, por transposición de Beckman.

Existen otros procesos para fabricar la caprolactama como son el Snia Viscosa y el Kanebo.

La caprolactama es seguidamente polimerizado, de tal forma que aproximadamente 200 moléculas se unen para formar una sola el perlón (nylon 6) mediante una iniciación, adición, condensación y terminación que se presentan simultáneamente. El resultado es un polímero de peso molecular entre "20000 y 36000 (Grado de polimerización 177-318).

Actualmente la producción a gran escala de nylon 6 se recurre al proceso continuo conocido como tubo VK. cuyo esquema se indica en la Figura 4.

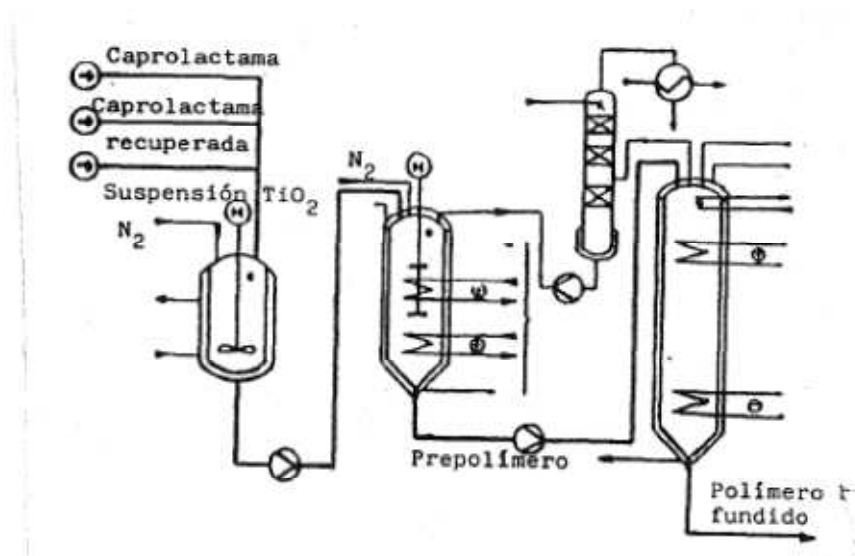


Fig.4 Preparación del nylon 6 en Tubo VK (dos etapas) Tal como se indica en el esquema de la anterior Figura 4, al monómero líquido de caprolactama se le añade agua, que actúa como iniciador, estabilizadores y agentes mateantes. Esta mezcla es alimentada sin interrupción a un prepolimerizador que trabaja a

240-250°C y 2-3 bar de presión absoluta. El pre polímero que se forma pasa a la parte superior de un tubo VK que se encuentra a 250-260°C y presión atmosférica. En la base del tubo se recoge un material polimérico altamente viscoso que es extruido para formar cables que son enfriados con agua fría y cortados en granza o chips.

1.41 Hilatura del nylon 6

La transformación del nylon en fibra por el procedimiento convencional puede realizarse a partir de granza de polímero lavada (hilo continuo) o de la masa contenida en la polimerización (fibra cortada).

En la producción de hilo continuo, (Figura 5), los chips o granza de polímero exentos de monómero procedentes del tanque de almacenamiento pasan a la zona de fusión del equipo de hilatura. Esta zona consiste en una parrilla eléctricamente calentada y

mantenida a unos 250-260°C. A medida que la granza va fundiendo, fluye el polímero a través de una parrilla a un sumidero conectado a una bomba. Esta bomba abastece el polímero que pasa a través de unos filtros formados por capas de arena de finura creciente y finalmente a la hilera. El diámetro de los capilares suele oscilar entre 0.2 y 0,3 mm y su altura es de 1 a

3 veces mayor que el diámetro. Cuando los chorros de polímero procedentes de las hileras entran en contacto con el aire se solidifican. Hay que indicar que se evita la oxidación del

polímero, durante y después de la fusión, mediante una atmósfera de nitrógeno muy puro o vapor recalentado.

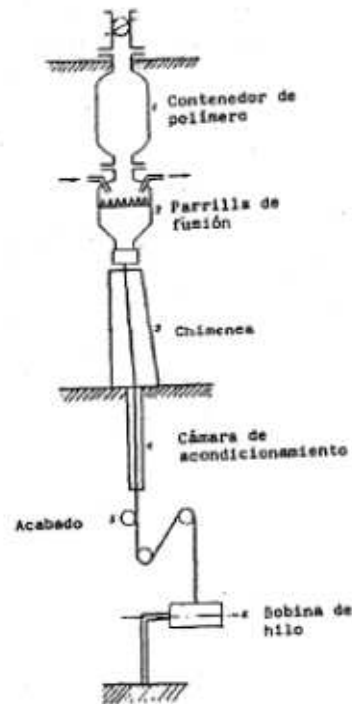


Fig. 5. Hilatura del nylon 6

Después de haberse solidificado, los filamentos pasan por una emulsión que contiene agentes antiestáticos y lubricantes (acabado de hilatura o avivado) Esta etapa tiene como misión la de disminuir la generación de electricidad estática y los coeficientes de fricción; también facilita la absorción de humedad y el equilibrio higrotérmico de la fibra. Una humedad ambiental de 45-55% y una temperatura de 18-20°C permiten conseguir una buena estabilidad de las bobinas de los hilos, los cuales se arrollan en el mecanismo de recogida a velocidades de 600-1100 m/min.

Los filamentos deben estirarse a 3.5 a 4 veces la longitud no estirada. (alargamiento de 250-300%) ,pasando por dos series de rodillos que giran a diferente velocidad de arrollado que pueden alcanzar los 700 m/min.

1.5 Oligómeros

Un aspecto muy importante en la evaluación de las propiedades de las poliamidas consiste en el control o eliminación de los oligómeros formados durante la polimerización.

El nylon 6 contiene una pequeña cantidad de oligómeros lineales y una proporción de oligómeros cíclicos, de los que el más importante es la caprolactama. Al monómero le siguen en interés el dímero, el trímero y el tetrámero cíclicos. La totalidad de los oligómeros puede ser extraída con metanol anhidro a ebullición.

En el nylon 6.6 la bibliografía señala que la cantidad de extractables es de 0.2 % de monómero y del 1-2% la totalidad de materia que puede ser extraída.

1.6 Aditivos

Antes o durante la polimerización, se pueden añadir aditivos cuya misión es la de modificar las propiedades del polímero obtenido.

Cabe citar los siguientes aditivos:

a) Mateantes. La adición de estos productos disminuye la transparencia, aumenta la blancura y evita un brillo desfavorable en los tejidos acabados. El producto más utilizado es el dióxido de titanio dispersado en la fibra (tamaño de partícula de 0.1-0.5 μ). Los hilos de nylon brillante pueden contener el 0.05% de dióxido de titanio, los semi-mates contienen del orden del 0.3% y los mates (full dull) alrededor del 2%.

b) Colorantes o pigmentos. Estos productos que suelen ser pigmentos orgánicos se pueden incorporar en la masa de polímero antes de la hilatura, lo que constituye una tintura en masa. Esta forma de tintura tiene una variedad de matices limitada, cada color requiere una manipulación separada y debe procederse a una limpieza a fondo entre partidas, lo que supone aumentar la cantidad de desperdicios.

c) Blanqueantes ópticos. Estos productos también pueden ser añadidos a la masa de polímero antes de la hilatura.

d) Productos estabilizadores. Productos para proteger las poliamidas de la formación de peróxidos, tales como el ácido hipofosforoso, hipofosfitos, fosfatos, etc. Para la protección de las fibras de poliamida de tipo industrial de la acción del calor y de la luz, los estabilizadores principales son las sales de cobre.

1.7 Diferencias entre el Nylon 6.6 y el Nylon 6

El nylon 6.6 y el nylon 6 difieren en el agrupamiento de los átomos de los grupos amida. También difieren en los pesos moleculares medios, los cuales para el nylon 6.6 se sitúan entre 15000 y 18000, y para el nylon 6 entre 13500 y 16500.

Las diferencias estructurales y morfológicas de las dos fibras se reflejan en sus propiedades, las cuales son bastante similares por lo que cumplen funciones muy

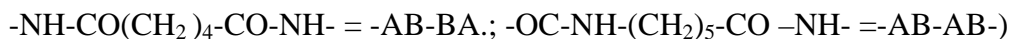
parecidas en industria textil. Algunas diferencias entre el nylon 6.6 y el nylon 6 son las siguientes:

- 1) El nylon 6 funde a menor temperatura que el nylon 6.6 (215° C frente a 256°C).
- 2) El nylon 6 posee mayor afinidad por algunos colorantes que el nylon 6.6. Cuando las dos fibras se tiñen en el mismo baño, el nylon 6 se colorea con una intensidad mucho mayor que el nylon 6.6
- 3) Aunque tanto el nylon 6.6 como el nylon 6 son sensibles a las radiaciones ultravioleta y tienden a degradarse y a amarillear tras una prolongada exposición a la luz solar, el nylon 6.6 se comporta mejor que el nylon 6.
- 4) Por su mayor punto de fusión, el nylon 6.6 posee una mejor resistencia a las altas temperaturas que el nylon 6.
- 5) El nylon 6 posee mejor recuperación elástica y resistencia a la fatiga que el nylon 6.6
- 6) Los filamentos de nylon 6 se mezclan más fácilmente que los de nylon 6.6

La estructura química, la cristalinidad, la orientación molecular y los tratamientos previos a la tinción desempeñan una misión muy importante en la afinidad y grado de tintabilidad del nylon.

El nylon 6.6 y el 6 difieren en el acoplamiento de los grupos carbonilo y amido entre las cadenas hidrocarbonadas del polímero.

En el nylon 6.6 se presenta una ordenación alternadamente invertida, de *forma* que la secuencia es la misma desde cualquier extremo de la cadena (ordenación AB-BA). En el nylon 6 estos grupos funcionales se suceden con un orden uniforme (ordenación AB-AB).



Cuando las moléculas de las porciones no cristalinas de la fibra se orientan por estirado, sucede que las moléculas de nylon 6 se agrupan al azar y con una relación espacial relativa que difiere de la del nylon 6.6. Ello se traduce en que el nylon 6 permite una mayor apertura entre sus moléculas. Esta estructura más abierta significa que la velocidad de difusión de los colorantes es más rápida, siendo también mayor la oportunidad de que el colorante se fije sobre la fibra por haber menos puentes de hidrógeno. Así pues, el nylon es generalmente más teñible que el nylon 6.6 también más sensible a la penetración de productos capaces de interaccionar con las poliamidas.

1.8 Propiedades físicas

Las propiedades del Nylon son extraordinarias en lo que se refiere a la: resistencia a la tracción; elasticidad; resistencia al frote; inarrugabilidad (después de termofijado); resistencia a los agentes químicos, a la putrefacción a los insectos; facilidad de lavado y secado (dada su poca higroscopicidad); ininflamabilidad.

1.81 Densidad

La densidad del Nylon 6.6 y del Nylon 6 es muy pequeña, tiene el valor de 1.14 g/cm³.

1.82 Propiedades de tracción y alargamiento a la rotura del Nylon 6.6 y Nylon 6

El Nylon es la fibra más resistente conocida hoy en día, los parámetros De tracción del Nylon 6.6 y Nylon 6 se indican en las tablas 2 y 3 respectivamente.

TABLA 2 Propiedades de tracción del nylon 6.6

Parámetros	Hilo continuo regular	Hilo continuo alta tenacidad	Fibra cortada
Tenacidad(g/dtex)			
Acondicionado	4.2 - 5.3	8.2	3.7 - 4.1
Húmedo	3.6 - 4.6	7	3.3 - 3.6
Elongación (%)			
Acondicionado	26 - 32	19 - 24	37 - 40
Húmedo	30 - 37	21 - 28	42 - 46
Módulo inicial (g/dtex)	36 - 54	-	-
Rigidez media (g/dtex)	16	29	10
Aguante medio	0.98	0.7	-
Resistencia al nudo	90 - 95% de la normal		
Resistencia al lazo	85% de la normal		

TABLA 3 Propiedades de tracción del nylon 6

Parámetros	Hilo continuo regular	Hilo continuo alta tenacidad	fibra cortada
Tenacidad(g/dtex)			
Acondicionado	4.1 - 5.3	6.8 - 7.5	3.4 - 5
Húmedo	3.7 - 4.6	4.9 - 6.4	3.2 - 4.3
Elongación (%)			
Acondicionado	23 - 42	16 - 19	25 - 30
Húmedo	27 - 34	19 - 22	31 - 55
Módulo inicial (g/dtex)	32 - 45	-	-
Rigidez media	21	40	-
Aguante medio	0.67	0.68	-

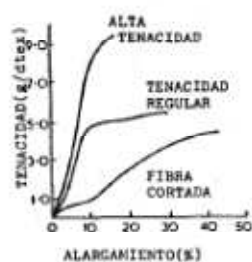


Fig.6 Curvas carga-alargamiento del nylon 6.6

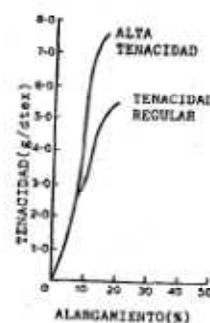


Fig.7 Curvas carga-alargamiento del nylon 6.

Cabe señalar que el nylon tiene una alta tenacidad, su modelo inicial es relativamente bajo, lo que significa que estas fibras son particularmente sensibles a la deformación cuando se las somete a la acción de esfuerzos de baja intensidad.

El módulo inicial del nylon 6 es menor que el del nylon 6.6 lo que significa que aquel se deforma con mayor facilidad cuando se le aplica una carga. Hay que tener en cuenta que la alta tenacidad combinada con un bajo peso específico conduce a que el nylon posea una alta relación resistencia/peso.

El nylon es una fibra altamente elástica en el sentido de que recupera sus dimensiones originales después de haberse deformado por aplicación de un esfuerzo. El hilo continuo estándar de nylon 6.6 presenta una recuperación elástica del 100% cuando la extensión no pasa del 8.

Cuando el nylon 6.6 se estira durante varios días y se le deja relajar después recupera el 50% del alargamiento de forma casi inmediata. El resto de la recuperación se produce con mayor lentitud. Durante las primeras 24 horas, el nylon recupera del orden del 85% del alargamiento total experimentado, pero puede tardar dos semanas en recuperarse totalmente.

1.83 Resistencia a la abrasión

La resistencia a la abrasión del nylon 6.6 y del nylon 6 es excelente.

En la resistencia a la abrasión de los tejidos de nylon intervienen otros muchos factores, tales como la contextura de los mismos, clase de hilo, etc. pero siempre en Nylon, en igualdad de condiciones, resiste mucho más que cualquiera otra fibra. Una aplicación muy importante de esta propiedad consiste en mezclar la fibra cortada de Nylon con algodón o lana. La resistencia al desgaste del tejido aumenta entonces enormemente, con solo pequeños porcentajes de Nylon en la mezcla.

1.84 Propiedades eléctricas

El nylon es un producto mal conductor de la electricidad, es decir, aislante, y como tal se electriza estáticamente con facilidad, con todos los inconvenientes que ello representa en la manufactura textil del mismo. Estas cargas estáticas pueden generarse sobre la superficie del nylon cuando las fibras se deslizan sobre superficies diversas.

La escasa conductividad de los hilos de nylon secos impide una rápida disipación de la electricidad estática, lo cual, unido a la facilidad con que se genera, constituye una de las desventajas más serias de las fibras de nylon y de otras fibras de baja tasa legal de humedad. Por tal motivo la utilización de agentes antiestáticos previene la acumulación de electricidad estática, incidiendo en el mismo sentido una alta humedad en el procesado.

El desarrollo de electricidad estática por parte de las fibras de nylon varía considerablemente con el contenido de humedad, siendo tanto más alta la cantidad de cargas generadas cuanto menor es la humedad del ambiente y la absorción de agua por parte de la poliamida.

1.85 Higroscopicidad

La humedad adsorbida por el Nylon es muy pequeña en comparación con otras fibras, tanto es así, que en un ambiente de 65 por 100 de humedad, sólo experimenta un aumento de peso de un 4 por 100 debido al agua que absorbe (en iguales condiciones la seda llega a un 11 por 100 y la lana a un 16 por 100). Esto hace que el Nylon se seque rápidamente.

La absorción de humedad por el nylon depende también de la cristalinidad de la fibra, de la presión de vapor del agua y de la temperatura. La tasa legal de humedad del nylon 6.6 y del nylon 6 se sitúa entre 3.5 y 4.5. En tanto que la tasa comercial es igual a 5.75 (hilo continuo) o 6.25 (fibra discontinua). Por su parte la retención de agua por imbibición es del 10-15%

1.86 Comportamiento térmico

La temperatura de fusión cristalina del Nylon 6.6 es de 265° y la del Nylon 6 es de 228°, antes de la fusión se reblandecen.

El Nylon 6.6 puede permanecer a temperaturas de hasta 150°C durante muchas horas sin que se produzca una excesiva pérdida de resistencia. Después de 6 horas a 150° C experimenta un ligero amarilleamiento.

El Nylon 6.6 empieza a ser termoplástico a la temperatura de 195° y el Nylon 6 a la temperatura de 160°, mientras que las temperaturas de reblandecimiento son 235° y 170° respectivamente.

En igualdad de condiciones, el nylon 6 tiende a encogerse más en agua a ebullición que los hilos similares de nylon 6.6, lo cual debe tenerse en cuenta en el procesado de los hilos de nylon 6, como por ejemplo en la fabricación de medias.

1.861 Comportamiento a la llama

Los hilos de Nylon, libres de toda clase de apresto o tintura, al aplicarles una llama funden pero no arden. El Nylon fundido se endurece inmediatamente después de separar la llama y desde luego no la propaga al resto del material, como ocurre con otras fibras, como el algodón, rayón, etc. (La materia fundida tiende a separarse en forma de gotas). Las dos fibras, el nylon 6.6 y el nylon 6, se comportan de modo muy similar.

Si bien el tejido no suele mantener la combustión por sí mismo, pero su flamabilidad puede aumentar en presencia de algunos acabados químicos y colorantes.

1.862 Tratamientos térmicos del nylon

El encogimiento de relajación es el que se experimenta cuando el hilo de nylon es retirado de las bobinas y se deja relajar sin tensión con lo cual tiende a contraerse el 2-2.5%.

El encogimiento residual del hilo de nylon no relajado es el que tiene lugar al hervirlo en agua inmediatamente después de retirar el hilo de las bobinas. Este encogimiento presenta valores del 8-12% y habitualmente del 9-10% (incluye el encogimiento de relajación anterior).

El nylon posee un excelente comportamiento en cuanto a la resistencia a las arrugas y retención en forma (con buen termofijado).

El nylon 6.6 requiere un mínimo grado de planchado, que se puede hacer con una plancha seca, con una plancha de vapor o con una prensa de vapor. La temperatura de planchado del nylon 6.6 es de 205°C y el del nylon 6 es de 150°C. (Temperatura de plisado en el nylon 6.6 es de 210° y en el nylon 6 es de 180°).

Cuando se calienta en una atmósfera de oxígeno, la fibra de nylon 6 pierde resistencia a la tracción y adquiere una coloración amarillenta, con la particularidad de que puede detectarse una banda de absorción en el ultravioleta antes de que el amarilleamiento pueda ser percibido por el ojo humano.

1.8621 Termofijado

El fijado, y en su caso el termofijado, es un tratamiento aplicado a los artículos textiles para mejorar su estabilidad dimensional y de forma al uso y al entretenimiento.

El fijado del nylon se puede realizar con agentes hinchantes a baja temperatura, con agentes hinchantes a alta temperatura, con vapor saturado y con calor seco.

El fijado de las fibras de nylon se realiza mediante una acción conjunta del calor y del agua como agente hinchante. También se puede realizar con calor seco y con agua caliente.

Las temperaturas óptimas para el fijado del nylon 6 son 105°C con agua, 130°C con vapor saturado y 180-190°C con calor seco.

El nylon 6.6 se termofija a 205-225°C con calor seco y en presencia de agua a unos 120QC.

1.8 Propiedades químicas

El Nylon no es atacado o muy poco los siguientes agentes: agua, agua de mar, jabón, detergentes variados, álcalis, hidrocarburos, hidrocarburos halogenados, alcoholes, aldehídos, etc. Cetonas, y productos para el lavado en seco.

Tanto el nylon 6.6 como el 6 pueden tratarse a ebullición en soluciones concentradas de sosa cáustica sin que se produzca un castigo importante.

Las poliamidas son mucho más sensibles a los ácidos, especialmente a los ácidos minerales y a los ácidos orgánicos más fuertes como el láctico y el oxálico, de forma que unos y otros en soluciones diluidas ocasionan una hidrólisis lenta de las poliamidas.

En cambio los ácidos clorhídrico, sulfúrico y nítrico concentrados disuelven el Nylon.

El ácido fórmico concentrado disuelve el nylon hidrolizándolo.

El ácido acético glacial en frío actúa debilitándolo y en caliente las disuelve.

Son buenos disolventes de esta fibra, la solución saturada de cloruro cálcico en metanol, la solución de cloruro cálcico en ácido acético (en caliente).

Otros disolventes son: el alcohol bencílico (hirviendo) y los compuestos fenólicos como el propio fenol, cresoles, xiloles y derivados clorados de fenol. Otros disolventes eficaces son el ácido tricloroacético y el exafluorisopropanol, los cuales las disuelven a temperatura ambiente.

Los agentes oxidantes atacan intensamente a las poliamidas, tanto el ácido (nítrico como las soluciones de permanganato potásico, el peróxido hidrógeno y el hipoclorito sódico las pueden destruir totalmente aunque la resistencia de las poliamidas a estos reactivos varía de unas a otras.

Tal como la suministran las productoras, el nylon es una fibra que raramente requiere que se le blanquee. Sin embargo, el blanqueo puede ser necesario cuando los artículos se han manchado o decolorado (amarilleamiento) a lo largo de las etapas del proceso textil, sobre todo en el termofijado, o cuando el nylon está mezclado con otras fibras que deben ser blanqueadas.

Los tratamientos de blanqueo con oxidantes atacan en cierta medida los tipos ordinarios de nylon. La intensidad depende de ciertos factores como el tipo de oxidante, concentración de agente blanqueante, el pH del baño y temperatura del tratamiento.

El agente de blanqueo más efectivo para los artículos de nylon 100% es el clorito sódico en medio ácido, al cual se recurre cuando se desea la máxima blancura, cuando se han de eliminar coloraciones sobre los hilos y cuando se han de blanquear tejidos que se han amarilleado por exposición al aire a altas temperaturas.

Los nylons se pueden teñir con todas las familias de colorantes pero, por poseer grupos amino terminales y carácter hidrofóbico, casi siempre se tiñen con colorantes aniónicos o ácidos, con colorantes dispersos y, de menor medida, con colorantes reactivos. Los colorantes aniónicos que reaccionan con los grupos amino incluyen los colorantes al cromo, los prematalizados y los directos. Los nylons 6.6 y 6 pueden teñirse también con colorantes catiónicos (básicos) cuando el contenido de grupos amino terminales es inferior a 25 meq/Kg. de fibra.

1.91 Identificación

El Nylon 6 es soluble en ácido clorhídrico 4.4 M

El Nylon 6.6 es soluble en ácido clorhídrico 5 M en 5 minutos.

El Nylon 6 y 6.6 es soluble en m-Cresol a temperatura ambiente.

Según la Norma UNE correspondiente, las mezclas binarias de poliamida 6 ó 6.6 y algodón, viscosa, cupro, modal, poliéster, polipropileno, clorofibra, acrílica o vidrio textil puede resolverse por disolución del componente poliamídico en ácido fórmico del 80% (m/n) a temperatura ambiente, durante 15 minutos y relación de baño 1/100. El lavado del residuo se realiza sobre un crisol de placa filtrante del nº1 con ácido fórmico, agua caliente, amoníaco, amoníaco diluido y finalmente agua fría.

Recientemente, y por razones de seguridad para el operador, se ha propuesto la sustitución del ácido fórmico al 80 % por el ácido clorhídrico al 20% como reactivo para disolver las fibras de poliamida 6.6 o 6 en sus mezclas con otras fibras.

1.10 Toxicología y resistencia a los insectos y al moho

El nylon no teñido ni aprestado no es tóxico en absoluto, tanto es así ,que se emplea como material de sutura en cirugía. Siempre que se ha experimentado algún caso de irritación de la piel debida al uso del Nylon, se ha podido explicar por la asociación del mismo a la tintura o apresto empleados.

El Nylon es un producto, del que ha sido completamente demostrado no es apto como alimento de los más variados insectos, como escarabajos, hormigas, polillas, etc.

El moho no ataca al Nylon o muy poco, aun si las condiciones a que expone son muy duras. Puede ocurrir que la materia de apresto sea apropiada para la producción de moho.

No es atacable tampoco por bacterias ni microbios.

1.11 Productos comerciales

Los más conocidos son los que se citan a continuación:

1) Hilos de multifilamento

El hilo continuo de poliamida se presenta en títulos que suelen oscilar entre 12 y 235 dtex, con filamentos de título individual entre 1.5 y 7 dtex. El número de filamentos o hebras por hilo está comprendido entre 1 y 56.

Los hilos para medias y calcetines oscilan entre 12/1 y 44/13 o similares en semimate. Para el tejido de punto indesmallable los títulos giran en torno al 44/13 en mate. Por su parte, los hilos entre 44/13 y 235/34 con diferentes brillos son los más frecuentes en aplicaciones como calcetines, tejido de punto y tejidos de calada.

Además de los que difieren en el brillo (brillante, mate y semimate), existen tipos teñidos en masa, antiestáticos, POY (preoriented yarn), HOY (high oriented yarn), con sección transversal no circular,etc.

El hilo continuo textil se presenta al mercado en paralelo o torcido con diferentes grados de torsión y con diferentes grados de fijado térmico. Su presentación al mercado se realiza en forma de cops, bobinas conos, tubos o plegadores.

2) Hilo BCF (Bulk continuous filament)

Este hilo destinado fundamentalmente al sector alfombras se presenta al mercado en forma de tubos con títulos que en una productora determinada oscilan entre 1100 y 7800 dtex con secciones transversales de forma tri o tetra-lobulada.

3) Hilo industrial

El hilo continuo industrial de nylon se presenta en títulos que pueden oscilar entre los próximos al hilo textil(33/8) a hilos de título muy superiores (1880/272) que se presentan en forma de cops, tubos y plegadores indesmallables.

En este sector son frecuentes los hilos reunidos semimates con distintas torsiones o brillantes, con títulos que en un caso son de 330,440,770 y 880 dtex.

4) Floca

La poliamida en forma de floca o con destino a su transformación en floca se presenta en títulos que suelen oscilar entre 1.5 y 22 dtex.

Las longitudes de corte más frecuentes oscilan entre 40 y 190 mm y el rizado puede ser nulo, normal o intenso.

La presentación se realiza en forma de borra, cable, peinado o flock.

Existen tipos brillantes, mates y semi-mates , antiestáticos, coloreados en masa y con coloración fluorescente.

1.12 Aplicaciones típicas

Las aplicaciones del Nylon en fibra continua o cortada, derivadas de sus excelentes características (resistencia a la tracción y al frote; extremada finura con que puede obtenerse; inflamabilidad; resistencia al arrugamiento, etc) no tienen límites dentro el ramo textil. Se pueden citar las siguientes:

a) Para géneros de punto, en lo que se refiere a medias, principalmente, ha demostrado no tener rival por la enorme finura y resistencia que éstas pueden alcanzar. El primer mercado del nylon fue el de las medias femeninas como sustituto de la seda natural.

A partir de los primeros años de la década de los 50 se obtuvieron hilos elásticos mediante el proceso de texturación que extendieron el uso del nylon al campo de la calcetería masculina y femenina, leotardos y prendas para ski.

b) Para calcetines, solo o en mezclas con otras fibras.

c) Refuerzos en hilatura de carda y de estambre.

d) Cable seydel para hilos industriales 100% nylon.

- e) Para forros, filtros, fieltros, revestimientos de suelos.
 - f) Hilos para tricotar, mantas, mantas de viaje y echarpes.
 - g) Mezclas para artículos de moda y fantasía
 - h) Filtros industriales.
 - i) Alfombras y moquetas. Dos fueron las circunstancias que influyeron a la penetración del nylon en este sector. Una corresponde al desarrollo de la maquina tufting y la otra a la introducción en el mercado del hilo continuo voluminoso por Du Pont en 1958.
 - j) Terciopelos, velvetones, moquetas e imitación piel por flocado
 - k) Filtros abrasivos industriales y domésticos.
- etc.