

Capítulo II

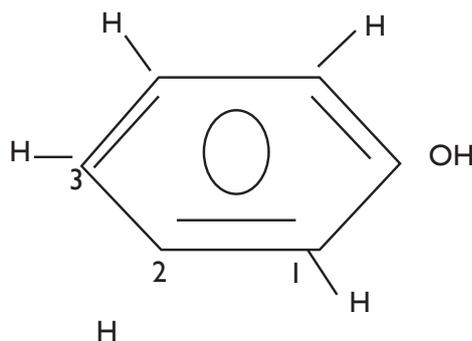
Materiales poliméricos

Durante siglos, los materiales poliméricos (polímeros naturales), como el algodón, lana, madera, textiles y cueros, han sido utilizados por el ser humano. Otros polímeros naturales, como las enzimas, proteínas, celulosa, almidón, etc., son integrantes de los procesos biológicos. Desde comienzos del siglo XX, la moderna investigación científica ha hecho posible la determinación de las estructuras moleculares de estos materiales y la síntesis de numerosos nuevos polímeros, a partir de pequeñas moléculas orgánicas llamadas monómeros, los cuales dan lugar a estas estructuras que se repiten en los polímeros (los *meros*) y que sólo existen dentro de la estructura polimérica.

Todos los polímeros están formados por moléculas gigantescas, conocidas como macromoléculas y cuyos pesos moleculares alcanzan valores de 10^4 grs/mol. Cuando las unidades o meros, repetidos en la macromolécula, son de la misma naturaleza, el resultado es un homopolímero (polietileno), mientras que si la cadena se compone de dos o más monómeros diferentes nos encontramos frente a un copolímero (ABS, formado por acrilonitrilo, butadieno y estireno). Si el monómero tiene dos posibilidades de enlace, como el etileno ($-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$), se dice que es bifuncional y dará origen a largas cadenas. En el caso del fenol, tiene hasta tres posibilidades de enlace, según las posiciones: *orto* (1), *meta* (2) y *para* (3), respecto de su grupo hidroxilo ($-\text{OH}$), lo cual hace que pueda dar origen a redes moleculares tridimensionales. Se dice que este monómero es trifuncional; el cual se puede apreciar en la siguiente imagen:

Red molecular trifuncional

FIGURA 2.1



La clasificación de polímeros más práctica a los diseñadores sería la siguiente: elastómeros, plásticos, textiles y cuero. Las maderas y sus derivados, en cambio, son estudiados aparte, dada su composición y estructura tan complejas.

Los polímeros plásticos se subdividen, además, en termoplásticos y termoestables. Los *termoplásticos* se ablandan al calentarlos y endurecen cuando se enfrían, mientras los *termoestables* son más duros, resistentes y frágiles que los anteriores, pues, los primeros presentan mayor estabilidad dimensional que estos últimos.

1. Propiedades y estructura de los polímeros

1.1. Peso molecular (PM) y Grado de polimerización (GP)

Dado que, durante el proceso de polimerización, no todas las cadenas alcanzan la misma longitud, el polímero resultante contiene cadenas de diferente peso molecular. Normalmente, se toma un peso molecular promedio \bar{M} , el cual se determina por medida de viscosidades y de presión osmótica.

Cuando la cadena contiene diferentes tipos de meros, se define el peso molecular promedio como $\bar{M} = \sum f_i M_i$, en el que f_i es la fracción molar de meros que poseen un peso molecular de M_i . En el caso de que se produzca polimerización por condensación, hay que restar el peso correspondiente al producto que se elimina en la reacción.

Otra manera de expresar el tamaño promedio de la cadena es mediante el grado de polimerización (GP), que representa el número promedio de meros que conforman una cadena:

$$GP = \frac{\bar{M}}{\bar{m}}$$

\bar{M} = peso molecular promedio del polímero
 \bar{m} = peso molecular promedio de los meros

En el caso de copolímeros, \bar{m} se determina mediante la expresión:

$$\bar{m} = \sum f_j m_j$$

f_j = fracción molar del mero
 m_j = peso molecular del mero

1.2. Configuraciones moleculares

En las cadenas que llevan diversos grupos laterales, su disposición puede afectar considerablemente las propiedades del polímero. De esta manera, la configuración isotáctica del cloruro de polivinilo se representaría con los átomos de cloro situados en el mismo lado. En la configuración sindiotáctica, estos grupos ocupan posiciones en los lados opuestos de manera regular, mientras que la configuración atáctica supone una ordenación al azar de éstos:

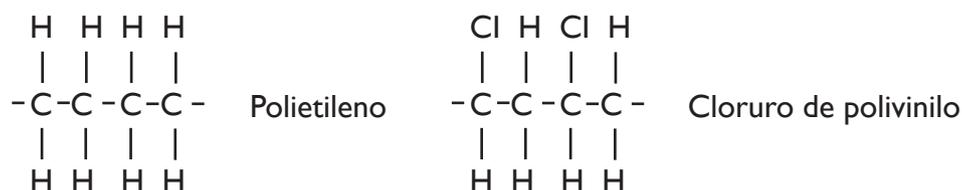
1.3. Polaridad

Al comparar la resistencia y rigidez de dos polímeros, tales como el polietileno y el cloruro de polivinilo (Figura 2.4), se observa que es más resistente el cloruro de polivinilo, lo cual se puede interpretar en el sentido de que este polímero tiene fuerzas interiores superiores a las del polietileno.

En efecto, al ser el elemento cloro más electronegativo que el hidrógeno, no coincidirán los centros de carga positiva con los de carga negativa, por lo que se originan dipolos eléctricos, los cuales se alinean con mayor intensidad a las cadenas de cloruro de polivinilo entre sí y dan como resultado un material de mejores propiedades mecánicas.

Configuración molecular del polietileno y el cloruro de polivinilo

FIGURA 2.4



1.4. Cristalinidad

Como consecuencia del tamaño y complejidad de sus moléculas, los polímeros presentan regiones cristalinas (ordenadas) dispersas en otras amorfas (desordenadas). El grado de cristalinidad de los polímeros puede extenderse desde cero (completamente amorfo) hasta 95% (casi totalmente cristalino).

La densidad de un polímero cristalino es siempre mayor que la del mismo material en estado amorfo, debido al empaquetamiento más compacto de las cadenas de la estructura cristalina. Debido a esta propiedad, se puede determinar el grado de cristalinidad de un polímero si se conoce su densidad (d), la densidad del polímero totalmente amorfo (d_a) y la del que es totalmente cristalino (d_c), si se aplica la siguiente expresión:

$$\% \text{ cristalinidad} = \frac{d_c (d_p - d_a)}{d_p (d_c - d_a)} \times 100$$

1.5. Comportamiento de los polímeros termoplásticos

Al someter a estos polímeros a un esfuerzo, experimentan deformación elástica y plástica. La capacidad de deformación plástica está relacionada con la viscosidad del material, el cual, a su vez, depende de la temperatura, según se puede apreciar en la siguiente expresión:

$$n = n_0 \exp (E_n/RT)$$

n = viscosidad a la temperatura T ($^{\circ}\text{K}$)

n_0 y E_n = dependientes del polímero

Para cada polímero termoplástico, existen tres temperaturas de interés:

T_d = temperatura de degradación en la que un material puede ser conformado

T_f = temperatura de fusión en la que el polímero se vuelve rígido

T_v = temperatura de transición vítrea, cuyos valores suelen oscilar entre 0,50 y 0,75 veces a la temperatura de fusión.

(Por debajo de ella, el polímero se vuelve duro y frágil)

Aparte de ello, si el polímero experimenta deformación en el intervalo de las temperaturas T_f a T_v , puede incrementarse su grado de cristalinidad.

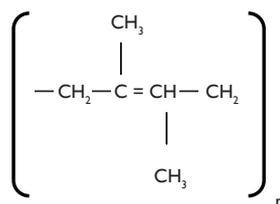
2. Generalidades de los elastómeros: cauchos

Los elastómeros son materiales poliméricos que muestran un comportamiento elástico. Son polímeros amorfos hallados sobre la temperatura de *transición vítrea*, término medio entre el estado rígido y el fundido. De estas características, se deriva la considerable capacidad de deformación. La elasticidad de estos materiales proviene de la habilidad de las cadenas para cambiar su posición por sí mismas y distribuir cierta tensión o esfuerzo aplicado. Los enlaces covalentes, en estos polímeros, aseguran que los elastómeros vuelvan a su forma original una vez que cesa la acción sobre ellos. Sin estos enlaces o en pocos de ellos, la tensión aplicada puede provocar una deformación permanente. Otro factor importante en cuanto a la elasticidad de un elastómero es la temperatura, pues, los elastómeros que han sido enfriados, al ser llevados a una fase vítrea o cristalina, tendrán menos movilidad en las cadenas, lo cual tendría como consecuencia una menor elasticidad en comparación a cuando se les utiliza por encima de la temperatura de transición vítrea.

El más representativo de los elastómeros es el caucho o cis-isopreno, del cual ya conocemos su estructura representativa y que estudiaremos de manera particular. Este elastómero es un hidrocarburo polietilénico de fórmula $(C_5H_8)_n$, metil-1,3 butadieno. El monómero $(CH_2=C-CH=CH_2)$ se polimeriza de esta manera:

Polimerización del caucho

FIGURA 2.5



Entre 27-40%, se encuentra un líquido de aspecto lechoso denominado *látex*, extraído de determinadas plantas, con características específicas (Cuadro 2.1 y 2.2). De estas plantas, la más importante es la *Hevea Brasiliensis*, árbol de unos 20 m de altura, de hojas anuales, del que se extrae el látex por medio de incisiones realizadas en su tronco (Figura 2.6), hasta cortar los vasos lactíferos que se comunican entre sí y forman un gran depósito independiente del sistema vascular por donde circula la savia (Figura 2.7). El rendimiento de *Hevea Brasiliensis* obtenido es de 500 a 600 kg de caucho seco por hectárea al año.

Plantas cauchíferas

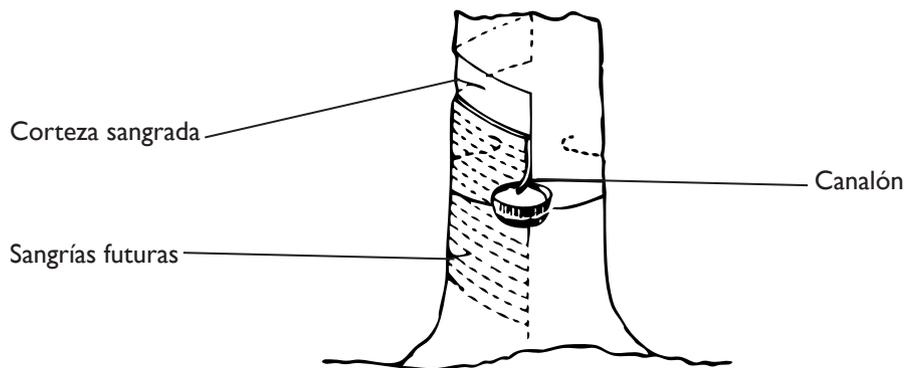
CUADRO 2.1

ESPECIE BOTÁNICA	ZONA DE CULTIVO	PORTE
<i>Hevea Brasiliensis</i>	Cuenca del río Amazonas y afluentes	Árbol
<i>Hevea Guianensis</i>	Cuenca del río Amazonas y afluentes	Árbol
<i>Manihot Glaziovii</i>	Brasil	Árbol
<i>Manihot Dichotoma</i>	Brasil	Árbol
<i>Sapium Thompsonii</i>	Colombia	Árbol
<i>Euphorbia Intisy</i>	Madagascar	Árbol
<i>Euphorbia Resinifera</i>	Marruecos	Planta cactiforme
<i>Castilloa Ulei</i>	Curso alto del Amazonas	Árbol
<i>Castilloa Elástica</i>	América Central	Árbol
<i>Ficus Elástica</i>	Birmania peninsular, Malaya e Indonesia	Árbol
<i>Funtumia Elástica</i>	Costa de África (Guinea, hasta Congo Belga)	Árbol
<i>Landolphia Heudelotii</i>	Costa de África (Guinea, hasta Congo Belga, Sudán francés)	Liana
<i>Landolphia Owariensis</i>	África Occidental	Liana
<i>Landol Madagascariensis</i>	Madagascar	Liana
<i>Parthenium Argentatum (Guayule)</i>	México (Norte)	Arbusto
<i>Scorzonera Tau-Saghyz (Tau-Saghyz)</i>	Thian-Chan (Turquestán)	Planta semejante a la escorzonera
<i>Taraxacum Kok Saghyz (Gok-Saghyz)</i>	Thian-Chan (Turquestán)	Planta semejante al diente de león
<i>Taraxacum Megalorhizon (Krim-Saghyz)</i>	Crimen	Planta semejante al diente de león
<i>Crystostegia Grandiflora</i>	Madagascar	Arbusto

Constitución del látex

CUADRO 2.2

CONSTITUYENTE	PORCENTAJE
Agua	52 a 70%
Caucho	27 a 40%
Prótido	1,5 a 2,8%
Resinas	1 a 1,7%
Azúcares	0,5 a 1,5%
Materias minerales	0,2 a 0,9%

Disposición de las sangrías de látex en el tronco de Hevea Brasiliensis**FIGURA 2.6****Sección longitudinal de una haz de vasos lactíferos de Hevea Brasiliensis****FIGURA 2.7**

El látex coagula espontáneamente algunas horas después de ser sangrado; por esto, es preciso tratarlo con dos fines: *acidificarlo*, para precipitar el caucho y separarlo, o *estabilizarlo*, para su transporte y utilización como látex.

Durante muchos años, más de 90% del látex se coagulaba para extraer el caucho, pero, en tiempos recientes, el crecimiento de las aplicaciones del látex, convenientemente acondicionado, ha hecho que el porcentaje de látex estabilizado haya aumentado en mayor medida.

2.1. Composición y propiedades del látex

El látex es una dispersión de caucho en un suero acuoso que contiene diversas sustancias orgánicas o minerales en solución. Su aspecto es blanco, opaco, análogo al de la leche. Su densidad está comprendida entre 0,973 y 0,979 g/cm³ y su viscosidad, cuando está fresco, comprende entre 12 y 15 cent-poise (P).

2.2. Estabilización del látex

Para evitar que coagule el látex, se utiliza el amoníaco, añadido en proporción de 5 a 7 gr/l. El amoníaco actúa como estabilizante, cuando disminuye la acidez, y como desinfectante, cuando destruye los microorganismos que colaborarían en la coagulación del látex.

En la actualidad, el procedimiento más utilizado es la centrifugación, con dispositivos similares a las de la industria lechera y con los que se eleva la concentración de 38-40% de materias sólidas de látex hasta 60-64%. Como el látex contiene 60% de agua, se ha pensado concentrarlo, a fin de evitar un transporte inútil.

2.3. Fabricación de artículos de látex

La fabricación de artículos directos del látex, y no del caucho obtenido de él, es seguramente la más antigua, pues los indígenas, según observaron los españoles al llegar a América, fabricaban pelotas y demás objetos directamente del látex obtenido de los árboles. No obstante durante muchos años, como este material, cuando se transporta no conserva sus cualidades iniciales, se ha utilizado exclusivamente el caucho extraído del látex.

Este material (el látex), sin embargo, tiene dos ventajas sobre el caucho: en primer lugar, conserva las cualidades del producto natural, al no sufrir una degradación comparable a las plastificaciones mecánicas del caucho, ni elevación de temperatura importante en el proceso de su manufactura; en segundo lugar, existe gran cantidad de artículos cuya fabricación es más sencilla a partir del uso del látex y resultan poseer mejores propiedades.

Este material tiene el inconveniente de que su transporte es más oneroso, debido a la cantidad de agua que queda siempre en disolución de la materia prima y, además, no soporta la adición de cargas inertes, como el caucho, que abarata el valor del artículo. A pesar de todo, las ventajas superan a los inconvenientes y cada día se encuentran mayores aplicaciones en las fabricaciones que surgen del látex como objetos por: inmersión, impregnado, moldeo y formación de espuma.

2.3.1. Fabricación por inmersión

Consiste en sumergir una o varias veces hormas adecuadas al objeto que se desea obtener. Para la fabricación de guantes, por ejemplo, se utilizan hormas de la forma de las manos. Una vez obtenido el espesor deseado, se seca la capa de caucho a temperaturas entre 50-60 °C y después se vulcaniza.

2.3.2. Fabricación por impregnado de tejidos

Consiste en pasar una banda de tejidos por un baño de látex al que se han añadido aceites sulfonados para reducir la tensión superficial del látex. Este procedimiento se utiliza para la impregnación de cuerdas y cables de materias textiles, a fin de engomar la parte interna de las alfombras y la tapicería de los muebles, entre otros.

2.3.3. Fabricación por moldeo

Consiste en emplear nitrato amónico como agente coagulante al látex, además de los ingredientes de carga, coloración, vulcanización, etc. Después, se lleva el producto obtenido a los moldes, se calienta hasta una temperatura de 70° C y se obtiene la pieza coagulada, hasta tener la suficiente consistencia para retirarla de los moldes.

Seguidamente, se lava con agua tibia, durante el tiempo necesario, a fin de eliminar el nitrato amónico, se seca y, por fin, se vulcaniza con aire caliente.

2.3.4. Fabricación por formación de espuma

Actividad realizada mediante dos procedimientos: (a) *adición de un agente hinchante*, el cual forma gases que quedan aprisionados en forma de células en la masa del látex, o (b) *insuflación de aire*, que produce el mismo efecto. Una vez formado el caucho espumoso, se vulcaniza. A través de este proceso, se fabrican colchones, revestimientos insonoros, etc.

2.4. Extracción del caucho

El caucho se extrae del látex cuando se emplean, como acidificantes, el ácido acético a 1% o el ácido fórmico a 0,5%, que lo coagula y deja en depósitos especiales, hasta formar una lámina continua, de la que se obtienen dos tipos de cauchos, denominados: *hoja ahumada* y *crepé*.

2.4.1. La hoja ahumada

Se obtiene al pasar la lámina de caucho coagulado por un secador-ahumador, donde se impregna de sustancias creosotadas, las cuales desempeñan el papel de antioxidantes y antisépticos, en una operación que dura de 2 a 4 días a temperaturas de 45° a 60°C.

2.4.2. El crepé

Se prepara al pasar la lámina de caucho laminado por unos laminadores que se denominan *crepedores*, compuestos de cilindros estriados que giran a velocidades diferentes, mientras estiran y desgarran el caucho sometido, además, de un intenso lavado en corriente continua de agua, que arrastra los constituyentes del látex indeseables; lo que hace innecesario el ahumado del caucho para su conservación. Después de pasar por los crepedores, se seca la lámina de crepé en corriente de aire a temperaturas comprendidas entre 40° y 45° C. El material para suelas de crepé se fabrica por superposición de hojas delgadas de crepé sometidas a presión.

2.5. Composición y propiedades del caucho natural

La fórmula atribuida al caucho es $(C_5H_8)_n$, lo que aparentemente lo define como un polímero del isopreno, cuya fórmula es C_5H_8 . Sin embargo, la polimerización artificial del isopreno, si bien ha dado un producto elástico, sus cualidades son inferiores a las del caucho natural. El caucho tiene una densidad de 0,91 g/cm. Su conductividad calorífica es baja: 0,00034 calorías $seg^{-1}cm^2cm^{-1} °C$. Su conductividad eléctrica es también muy baja. Asimismo, posee dos defectos fundamentales: carece de plasticidad suficiente para modelarlo y es sensible a los agentes atmosféricos; se oxida con el oxígeno del aire, envejece con la luz, se hace pegajoso y blando con el calor y se endurece con el frío.

La plasticidad del caucho se consigue cuando se somete a una operación descubierta por Hancock, denominada *masticación*, que consiste en desmenuzar el caucho en una alaxadora compuesta de un cilindro erizado de puntas que gira en el interior de otro cilindro, también con puntas, las cuales se entrecruzan con las del cilindro interior. Una vez moldeado, se aumenta su elasticidad mediante la vulcanización, operación más importante de la elaboración del caucho industrial, con la que se logra, además, hacerlo prácticamente insensible al oxígeno, al calor y a la luz.

2.6. Vulcanización del caucho

Operación destinada a aumentar la elasticidad del caucho a costa de su plasticidad. Fue descubierta casualmente por Goodyear, en 1839, cuando experimentaba aditivos para quitar la adherencia del caucho. Uno de los productos utilizados era el azufre y, a consecuencia de un accidente, cayó un trozo de caucho azufrado en una sartén, donde empezó a calentarse hasta que se inflamó. Cuando Goodyear se dio cuenta de ello, lo arrojó de inmediato a la calle, «donde hacía tanto frío que se helaban hasta las piedras».

A la mañana siguiente, encontró la muestra que habría resistido el calor y el frío conservándose blanda, elástica y completamente seca, es decir, no pegajosa. Sin embargo, el uso del término *vulcanización* se debe a Hancock, inventor inglés, que redescubrió la vulcanización y le dio este nombre, por sugerencia de su amigo Brockedon, en recuerdo de Vulcano, dios griego del fuego y los volcanes, en los que se encuentra fuego y azufre.

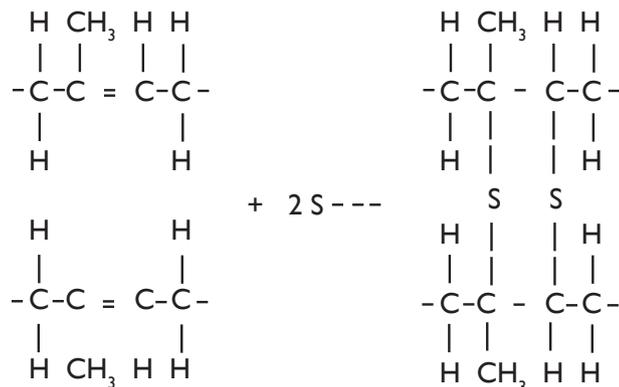
Aunque, con los años, se han ido descubriendo otros agentes vulcanizantes (Cuadro 2.3), el azufre sigue siendo el principal agente:

Agentes vulcanizantes

CUADRO 2.3

FECHA	INVENTOR	AGENTES VULCANIZANTES
1839	Goodyear	Azufre
1842	Hancock	Azufre
1846	Parkes	Cloruro de azufre (vulcanización en frío)
1847	Burke	Pentasulfuro de antimonio
1912	Ostromislensky	Derivados nitrados (polinitrobencenos)
1913	Klopstock	Halogenuros de selenio y telurio
1915	Ostromislensky	Peróxido de benzoilo
1918	Peachey	Azufre naciente (SO ₂ + H ₂ S)
1918	Boggs	Selenio
1921	Buizov	Diazoaminobenceno y derivados
1921	Romani	Disulfuros y tetraalcoiltiouranos
1925	Le Blanc y Kroger	Tiocianatos de azufre
1931	Fisher	Quinonas halogenadas
1932	Edland	Telurio
1933	Fisher	Fenoles o aminas más agentes oxidantes
1934	Midgley, Henne y Shepard	Compuestos organometálicos
1936	Fisher	Quininas-iminas
1939	Rubber-Stichting	Resinas fenolformol activas
1940	Dufraise Compagnon	Vulcanización por prótesis-sínesis

El vulcanizado se realiza al amasar caucho con azufre en una proporción mínima de 0,15%. Una vez que la mezcla es homogénea, se calienta la masa hasta 110°C, temperatura de fusión del azufre, con lo que éste se disuelve parcialmente en el caucho y reacciona químicamente; de modo que se producen uniones cruzadas entre las cadenas del polímero que mejoran sus propiedades mecánicas. El producto final obtenido depende del porcentaje de azufre empleado en la vulcanización.

Configuración molecular, mediante el vulcanizado**FIGURA 2.8****2.7. Ingredientes que componen el moderno caucho vulcanizado**

Un producto de caucho moderno, como por ejemplo, una cubierta de automóvil, no está compuesto solamente de caucho y azufre, sino de otros ingredientes que la experiencia ha aconsejado para mejorar sus propiedades y así facilitar su manufactura o algunos para disminuir el precio de su fabricación (Cuadro 2.4).

El caucho vulcanizado puede componerse de los siguientes ingredientes: caucho crudo, plastificantes, acelerantes, activadores, retardadores, antioxidantes, cargas e ingredientes diversos. La incorporación de estos ingredientes se verifica en el orden expuesto; el último es el agente vulcanizante, en general el azufre, pues la vulcanización es la operación final que sufre el caucho ya con su forma definitiva. Después de vulcanizado, no puede realizarse ningún otro procedimiento.

2.7.1. El caucho crudo

Constituyente principal de la mezcla, el cual se incorpora en forma de hojas ahumadas o de crepé.

2.7.2. Los plastificantes

Tienen por objeto aumentar la plasticidad de la mezcla para facilitar el modelado, así como aumentar las propiedades adhesivas del caucho y ser más aglutinante. Los plastificantes más empleados son los aceites vegetales o minerales, como ceras, parafinas, breas, alquitranes, resinas, ácidos grasos, el ácido esteárico, la brea de pino y los productos denominados mineral-rubbers, que son asfaltos naturales. Se emplean en proporciones pequeñas, de 0,5 a 5%. Modernamente, se tiende a sustituir los plastificantes por los pectizantes como el naftilmercaptan.

2.7.3. Los acelerantes

Ingredientes que se añaden a la mezcla para acelerar la vulcanización, a medida que se reduce la duración del calentamiento necesario. Comercialmente, se clasifican en cuatro grupos, según el tiempo que reduzcan la vulcanización (Cuadro 2.5). Los acelerantes se añaden en proporción de 1%.

Fórmulas de mezclas para caucho natural y para propiedades mecánicas elevadas
CUADRO 2.4

BANDA DE RODAMIENTO DE NEUMÁTICOS (TURISMO DE PRIMERA CLASE)	
Hoja ahumada	100
Oxido de zinc	3
Acido esteárico	2
Brea de pino o aceite mineral	3
Negro de carbón (Tipo ISAF)	47
Azufre	2,5
Acelerante (sulfenamida tipo Santocure)	0,7
Antioxidantes	
Fenil-β- naftilamina	0,75
Adol-α- naftilamina	0,75
Fenilciclohexil-g-fenilenodiamina	0,75
Vulcanización: 40 minutos, a 143°C	
CUBIERTAS DE CAMIÓN (NEUMÁTICOS PARA GRAN PESO)	
Hoja ahumada	50
Crepé pardo	50
Aceite mineral	5
Acido esteárico	2,5
Oxido de zinc	12
Negro de carbono (tipo FEF o SRF)	25
Azufre	2,5
Acelerantes	
Disulfuro de dibenzotiazilo	0,3
N-oxidietileno-2, sulfenamida (Santocure MOR)	0,8
Antioxidantes	
Fenil -g- naftilamina	0,7
Defenil -g- fenilenodiamina	0,8
Vulcanización: 60-90 minutos, a 150°C	
MEZCLAS PARA ESPONJAS	
Caucho peptizado	100
Oxido de zinc	5
Acido esteárico	3
Aceite mineral	5
Creta	50
Azufre	3
Disulfuro de dibenzotiazilo	1
Difenilguanidina	0,2
Dinitrosopentametenotetramina	3
Glicol	1
Urea	1
Vulcanización: 20 minutos, a 125°C	

Tipos de acelerantes**CUADRO 2.5**

CLASIFICACIÓN COMERCIAL	DURACIÓN DE LA VULCANIZACIÓN (140°C)	EJEMPLOS
Acelerantes lentos	90 a 120 minutos	Anilina Tiocarbanilida
Acelerantes moderados	50 a 60 minutos	Difenilguanidina Hexametileno-tetramina
Acelerantes rápidos	20 a 30 minutos	Mercaptobenzotiazol Disulfuro de dibenzotiazilo
Ultra-acelerantes	Unos minutos	Tiuramos Ditiocarbamatos Xantatos

2.7.4. Los activadores

Los aceleradores se acentúan al máximo en presencia de ciertas sustancias denominadas *activadores*, como el óxido de zinc, añadido en una proporción de 5%, o el ácido esteárico, empleado en la dosis de 0,5 a 3%.

2.7.5. Los retardadores

Sustancias empleadas para evitar el tostado del caucho; el más corriente es el ácido salicílico, no obstante, el más empleado, en la actualidad, es el N-nitrosodifenilamina.

2.7.6. Los antioxidantes

Catalizadores negativos que retardan la oxidación del caucho, al prolongar la duración de sus buenas cualidades. Los antioxidantes más empleados son los fenoles y aminas aromáticas, usadas en proporciones de 1 a 2%.

2.7.7. Las cargas

Existen dos clases: (a) *las cargas reforzantes o activas*, que tienen por objeto mejorar la resistencia a la rotura, desgarro y abrasión del caucho. El producto más empleado es el negro de humo de un tipo especial. Se usa en proporciones hasta de 50% de la mezcla en algunas aplicaciones del caucho; (b) *las cargas inertes* tienen por objeto disminuir el precio de los productos de caucho, porque aumentan su cuerpo, aun a costa de empeorar sus propiedades mecánicas. Se emplean la creta, el sulfato de barita, el talco, el litopón, etc., en proporciones variables, que pueden llegar hasta 50% en artículos como las esponjas.

2.7.8. Ingredientes secundarios

Además de los ingredientes citados, se añaden a las mezclas otros en pequeñas cantidades, que no son imprescindibles, pero que proporcionan al caucho mejoras de determinadas cualidades. Entre éstas, se hallan *los pigmentos*, para darle color; *los odorantes*, para quitarle el olor desagradable; *los hinchantes*, para aumentar su volumen en la fabricación de esponjas de caucho; *los abrasivos*, que se incorporan a los cauchos destinados a producir trabajos de abrasión o pulimentación; *los ignífugos*, para hacer el caucho incombustible, necesario en algunas aplicaciones, etc.

2.8. Derivados químicos del caucho

Los cuatro derivados químicos más importantes del caucho son: el caucho dorado, el clorhidrato del caucho, los cauchos oxidados o rubbones y los thermoprenes.

2.8.1. El caucho dorado

Se obtiene al tratar al caucho con cloro y se presenta en forma de polvo blanco. Es insoluble en la gasolina, petróleo, alcoholes, aceites minerales, agua y resiste perfectamente la humedad. Se emplea en la fabricación de pinturas, pues, una vez evaporados los disolventes con que se fabrica, queda una película transparente en contacto con la superficie pintada, que la protege de la oxidación y corrosión de los ácidos, además de no ser inflamable.

2.8.2. El clorhidrato de caucho

Se forma al hacer burbujear ácido clorhídrico anhidro en una solución de caucho. Obtenido este producto en forma de película transparente, con el nombre de plio-films, tiene análogas aplicaciones que el celofán, al emplearse en la fabricación de bolsas, impermeables, etc., por causa de su buena impermeabilidad, su resistencia al desgarro y la posibilidad de soldarse a sí mismo debido al calor. Su densidad es 1,16, inferior al celofán, que tiene 1,5.

2.8.3. Los cauchos oxidados o rubbones

Se obtienen por oxidación catalítica del caucho por el oxígeno del aire. Se utilizan en la fabricación de barnices, como aislantes eléctricos y como adhesivos en las tintas de artes gráficas.

2.8.4. Los cauchos cilizados o thermoprenes

Se obtienen al calentar el caucho a unos 250°C, en atmósfera inerte y bajo la acción de efluvios eléctricos o de numerosos agentes químicos. Los productos obtenidos son de dos tipos: los thermoprenes y las resinas del tipo pliolite o plio-form. Los primeros se utilizan para pegar el caucho a los metales, sobre todo al hierro y al acero, además, tienen aplicación en el revestimiento anticorrosivo de cubas y aparatos de la industria química. Los segundos son resistentes a los ácidos, a los álcalis y a la humedad; tienen propiedades eléctricas excelentes, por lo que a veces sustituyen a la ebonita, porque resisten mejor el calor y se pueden colorear fácilmente.

2.9. Aplicaciones del caucho y sus derivados

Existen actualmente más de 40 000 clases de artículos fabricados con caucho como materia prima. Sólo en un automóvil moderno se cuentan más de 500 piezas de caucho y cada día son mayores las aplicaciones que se encuentran al caucho y sus derivados.

Su principal aplicación, sin embargo, sigue siendo la industria del neumático, la cual, en Estados Unidos absorbe 64% del consumo total y, en España, 35%.

A los neumáticos les siguen en importancia las fabricaciones de uso industrial, como las correas de transmisión, correas transportadoras, juntas, acoplamientos elásticos, etc., lo que representan un total de 10%.

En tercer lugar, figuran los artículos de espuma de látex, con 6%. Después, la industria del calzado con 5,5% y el resto de las fabricaciones que representa 15 %, aproximadamente (Cuadro 2.6).

Distribución de las aplicaciones del caucho en el mundo

CUADRO 2.6

Fabricación y reparación de neumáticos	35 %
Calzados de caucho y artículos para el mismo	30 %
Fabricación de artículos en general	20 %
Fabricación de artículos moldeados de caucho	6 %
Otras industrias	5 %
Cauchutaje de tejidos	2 %
Disolución de caucho	1 %
Fabricación de artículos de caucho por inmersión	1 %

2.10. Fabricación de artículos de caucho

Este proceso comprende cuatro operaciones fundamentales: (a) la plastificación, (b) el mezclado, (c) el modelado y (d) la vulcanización:

2.10.1. Plastificación

Las balas de caucho, una vez *desheladas* (después de haber sido sometidas a un calentamiento hasta de 500 °C, durante algún tiempo), se cortan y trocean en pedazos de 10 a 15 kg. Luego, se someten a una operación de amasado o, mejor dicho, de malaxado, para dar plasticidad al caucho. Esta operación se realiza en malaxadores de cilindros, los cuales giran en sentido opuesto a diferente velocidad (el caucho se desgarrar, se comprime y se calienta por el trabajo mecánico hasta 60 °C), con lo que el caucho, que era duro, se transforma en plástico.

2.10.2. Mezclado

Se realiza en malaxadores análogos a los utilizados en la plastificación. En esta operación, se añaden todos los ingredientes que ha de llevar el caucho.

2.10.3. Modelado

Realizado con todos sus ingredientes perfectamente mezclados. Esta operación se hace en calandrias, especie de laminadoras de cilindros, que dan a la lámina de caucho un espesor constante, o budinadoras, en donde se perfila el caucho por extrusión, al obligarle a salir a presión por un orificio de la forma adecuada para el perfil que se desee obtener, sea macizo o hueco.

2.10.4. Vulcanización

Última operación que consiste en colocar la mezcla, cruda o modelada, en moldes o estufas donde se calientan a temperaturas comprendidas entre 100 °C y 150 °C, durante un tiempo que varía entre segundos y horas, según los productos tratados.

Finalmente, se deja enfriar el artículo obtenido, se desbarba con tijeras o muelas, se lleva al almacén, al abrigo de la luz, y se mantiene a una temperatura de 18 °C, a ser posible.

2.11. Cauchos sintéticos

La fabricación de los cauchos sintéticos se ha impulsado en las dos guerras mundiales. En la de 1914, al quedarse bloqueada, Alemania se vio obligada a fabricar caucho sintético para sustituir al caucho natural. Después, en la guerra de 1939, Estados Unidos impulsó la industria del caucho sintético en su país, al perder el suministro del caucho natural del Extremo Oriente, bajo dominio de los japoneses. Entre los cauchos sintéticos, se encuentran:

2.11.1. El GR-S (Government Rubber Styrene)

Es el copolímero butadieno-estireno, que en Alemania se conoce como BUNA-S (BUtadieno-NAtrium, catalizador Styrene). Está formado aproximadamente por 76,5% de butadieno y 23,5% de estireno. Es un caucho sintético de uso general, que reemplaza muchas veces al natural en las mezclas y resiste bien el envejecimiento, el calor y la abrasión. Su peso específico es 0,94. Su producción representa 84% de la producción total de caucho sintético, mientras existen 28 variedades adecuadas para aplicaciones especiales.

2.11.2. El GR-A (Government Rubber Acrilnitrilo)

Es el caucho nitrilo, copolímero butadieno-nitrilo acrílico, que en Alemania se denomina BUNA-N (BUtadieno- NAtrium, Nitrilo acrílico). Es un caucho resistente a los disolventes, de peso específico 0,971. Se emplea en la fabricación de mangueras de gasolina, correas que han de funcionar contaminadas de aceite, juntas, etc. Su producción representa 3% del total del caucho sintético.

2.11.3. El GR-M o Neopreno

Es un poli-cloropreno (butadieno dorado), cuyas características mecánicas son análogas a las del caucho natural, pero resiste mejor los aceites, aunque no tan bien como el GR-A. Es también resistente al envejecimiento por el calor y la luz, al desgarro y a la abrasión. Su peso específico es 1,25. Se emplea en la fabricación de correas, etc.

2.11.4. El GR-I (Government Rubber Isobutylene)

También se conoce como caucho butilo, es un copolímero del isobutileno e isopreno, que posee gran inercia química, una elasticidad excelente y gran impermeabilidad para los gases; resiste bien el oxígeno, el calor y la acción de muchos productos químicos. Tiene el inconveniente de que no puede mezclarse con el caucho natural ni con el GR-S. Su peso específico es 0,92. La principal aplicación de este caucho es la fabricación de cámaras para neumáticos de automóvil, debido a su impermeabilidad para el aire y su buena elasticidad. También se emplea en la fabricación de bolsas de aire o agua, mangueras de vapor, membranas, juntas de parabrisas, etc. (Cuadros 2.7, 2.8 y 2.9).

Producción de caucho sintético por toneladas largas (1016 kg), en Estados Unidos**CUADRO 2.7**

TIPO DE CAUCHO	1941	1943	1945	1949	1953	1955
GR-S (Copolímero de butadieno-estireno)	227	182 259	719 404	295 166	669 210	791 197
GR-M (Neopreno)	5692	33 603	45 672	35 215	80 495	91 357
GR-I (Butil)	—	1373	47 426	52 237	78 538	55 291
GR-A (Buna N)	2464	14 487	7871	11 072	20 198	32 623
TOTAL	8383	231 722	820 373	393 690	848 441	970 468

Propiedades de las mezclas industriales de caucho natural y de cauchos sintéticos**CUADRO 2.8**

NATURALEZA DEL CAUCHO	UNIDAD	CAUCHO NATURAL	GR-I	GR-S	GR-A	GR-M
Resistencia a la rotura (25 °C)	kg/cm ²	200-300	120-200	130-300	150-220	190-250
Alargamiento a la rotura 25 °C)	%	450-650	550-950	380-650	300-500	280-620
Resistencia media al desgarro (20 °C)	kg/cm	100	70	50	60	80
Deformación remanente después de 32 días de estiramiento a 25 °C (alargamiento 100%)	%	14	-	14	15	40
Deformación retardada después de 48 horas de cizallamiento a 100 °C (carga de 1,9 kg/cm ²)	%	32	-	29	32	120
Deformación retardada después de 22 horas de compresión a 70 °C (carga de 15,4kg/cm ²)	%	10,15	20	6,10	10	20
Resistividad	Ohm/cm	10 ¹⁶	10 ¹⁶	10 ¹⁵	10 ¹⁰	10 ¹²
Peso específico del caucho crudo	g/cm ³	0,95	0,91	0,92	0,95-1	1,23
Hinchamiento después de 2 días en benceno a 20 °C	%	300	160	300	100-250	250
Hinchamiento después de 2 días en gasolina a 25 °C	%	170	340	145	10-45	95
Hinchamiento después de 7 días en aceite a 70 °C	%	170	220	95	0,3	25

Fórmulas de mezclas en diversos tipos de cauchos sintéticos

CUADRO 2.9

1. MEZCLA DE GR-S PARA BANDA DE RODAMIENTOS	
GR-S	100
Acido esteárico	1
Oxido de zinc	5
Negro de carbón	45
Plastificante, tipo resina de cumarona	4
Aceite de parafina	5
Antioxidante	1
Azufre	1,75
N- ciclohexil2- 2benzotiazilsulfenamida (Santocure)	1,1
Vulcanización : 60 minutos a 143 °C	
2. MEZCLA GR-A PARA MANGUERAS DE GASOLINA	
Perbunán	100
Negro SRF	125
Ftalato de dióctilo	30
Acido esteárico	0,5
Oxido de zinc	5
Azufre	1,5
Disulfuro de dibenzotiazilo	1,5
Vulcanización: 50 minutos a 145 °C	
3. MEZCLA DE GR-M (NEOPRENO) PARA MANGUERA DE RIEGO (RESISTENCIA A LA INTEMPERIE)	
Neopreno GN	100
Acido esteárico	0,5
Aceite parafinico	18
Petrolatum	2
Oxido de zinc	5
Caolin duro	130
Heliozone	2
Flectol H	1,5
Magnesia calcinada extraligera	4
Colorante	Ad limitum
Vulcanización : 20 minutos a 153 °C	
4. MEZCLA GR-I PARA CÁMARAS DE AIRE	
GR-I 18	100
Oxido de zinc	5
Negro HMF	25
Negro SRF	35
Acido esteárico	2
Aceite parafinico	5
Azufre	2
Mercaptobenzotiazol	0,5
Disulfuro de tetramiltiuramo	1
Dietilditiocarbamato de telurio	0,75
Vulcanización: 8 minutos a 150°C	

2.12. Caucho regenerado

El caucho regenerado es un caucho vulcanizado, en general de desecho, al que, por medio de tratamientos adecuados, se hace reutilizable como materia prima con características comparables a las del caucho bruto.

La regeneración consiste esencialmente en transformar el caucho vulcanizado, el cual es elástico pero no plástico, en una sustancia plástica y, por tanto, moldeable, susceptible, luego de vulcanizarse y volverla elástica. Existen diversos procedimientos para regenerar el caucho; entre los más empleados está el cocimiento de los desechos de caucho, triturados, en una solución de sosa cáustica de 4 a 10% de concentración, a temperaturas comprendidas entre 175 °C y 200 °C. Se añaden también plastificantes como breas de pino, en proporción de 10% del peso de los desechos. La operación dura de 10 a 12 horas.

El caucho regenerado, una vez vulcanizado, tiene una dureza y elasticidad similares al caucho bruto vulcanizado, pero su resistencia mecánica, alargamiento y resistencia a la abrasión es inferior. A pesar de esto, se usan cantidades, en artículos que no son de mucha responsabilidad, como por ejemplo, en la fabricación de calzado. Las bandas de rodamiento de los neumáticos no conviene que contengan caucho regenerado.

Igualmente, se regeneran los cauchos sintéticos, sobre todo el GR-S, con análogas características de su regenerado al del caucho natural. En cambio, el GR-M (neopreno) y el GR-A son difíciles de regenerar; pero, como los desechos de estas dos clases de cauchos sintéticos son poco importantes, su regeneración apenas se practica.

2.13. Ebonita

Otro producto que es derivado del caucho por vulcanización con azufre en proporciones comprendidas entre 24 y 32%. El descubridor de la ebonita fue también Nelson Goodyear, quien la patentó en 1891, al darle el nombre inglés de *ebony*, que significa ébano, por su color.

Este material se fabrica de una manera similar al caucho vulcanizado. Las mezclas de la ebonita contienen caucho bruto, que necesariamente no debe ser de buena calidad como para el caucho vulcanizado. Además, estas mezclas contienen plastificantes, acelerantes, antioxidantes, cargas minerales activas (como negro de humo) y cargas inertes (como creta o ebonita en polvo, preparado de desechos). Se añaden también colorantes y, finalmente, azufre en la proporción de 30 a 50 partes por cada 100 de caucho. La vulcanización se efectúa a temperaturas comprendidas entre 140°-180° y tiene una duración aproximada de 6 a 8 horas.

La ebonita es una materia dura, resistente a la tracción ($R = 500$ a 800 kg/cm^2) y a la compresión (llega a los 700 kg por mm^2). Su resiliencia, con el péndulo de Charpy, es de 20-25 kg; es poco higroscópica, tiene excelentes propiedades dieléctricas y es un material fácilmente mecanizable; aunque es sensible al calor, por lo que no conviene someterla a temperaturas superiores a 80 °C. Además, tiene fuerte resistencia a los agentes químicos corrosivos, excepto al ácido nítrico y ácido sulfúrico, por lo que se utiliza bastante en el revestimiento de aparatos destinados a la industria química, porque se adhiere perfecta y fuertemente al hierro.

3. Generalidades de los plásticos

Se consideran *plásticos* a un extenso número de productos de origen orgánico y de alto peso molecular, sólidos en su estado definitivo, pero que, en alguna etapa del proceso de su fabricación, son suficientemente fluidos para moldearlos por calor y presión. La mayoría de ellos son relativamente modernos, puesto que, hasta principios de este siglo, sólo se empleaban los siguientes productos de origen orgánico moldeables por calor y presión, que pueden ser considerados como los antecesores de los plásticos actuales:

- *Goma laca*: de origen natural, que se empleaba en la fabricación de discos gramofónico.
- *Caseína*: derivada de la leche, que se empleaba en la fabricación de botones, plumas estilográficas, entre otros.
- *Ebonita*: derivada del caucho, la cual encontró amplia aplicación en la construcción de accesorios eléctricos, a pesar de su elevado precio.
- El *celuloide*: derivado de la celulosa, que se utilizaba para la fabricación de multitud de objetos de tocador, juguetes, entre otros, a pesar de su inflamabilidad.

Fue, en 1908, cuando Baekeland obtuvo industrialmente el fenol-formaldehído, lo que dio inicio a la denominada era de los plásticos, pues, a partir de ese instante se han multiplicado el número y aplicaciones industriales de estos materiales. Como el objeto de las investigaciones de Baekeland era encontrar un sustituto de la goma laca, que era una resina natural, denominó resina artificial al producto obtenido y desde entonces se aplica por extensión la denominación de resinas a los productos básicos que constituyen los plásticos.

3.1. Constitución de los plásticos: resina base

Los plásticos están constituidos por una resina básica, que es la verdadera sustancia plástica, a la que se añaden una serie de compuestos químicos denominados aditivos, los cuales modifican o refuerzan las propiedades de la resina.

Las resinas básicas de los plásticos se componen de grandes moléculas formadas por la reunión de cientos de moléculas más pequeñas, que deben poseer por lo menos un enlace doble de ciertos compuestos químicos denominados *monómeros*. Esta agrupación molecular modifica fundamentalmente sus propiedades. De esta manera, por ejemplo, el estireno, que es líquido, con la agrupación de sus moléculas, se convierte en poliestireno, que es sólido y resistente. La reunión de las moléculas de los monómeros puede llevarse a cabo a través de tres procedimientos: (a) polimerización, (b) copolimerización y (c) policondensación.

3.1.1. Polimerización

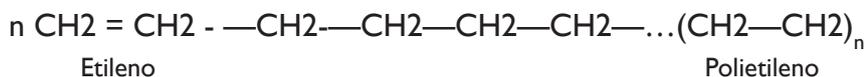
Consiste en el encadenamiento de las moléculas de los monómeros por uno o más de los enlaces de éstos, bajo la influencia del calor o, generalmente, de algún cuerpo que actúa de catalizador¹.

¹ Los catalizadores son sustancias cuya presencia acelera una reacción química.

Un ejemplo de reacción de polimerización es la obtención de polietileno, a partir del monómero etileno:

Proceso de obtención de polietileno

FIGURA 2.9

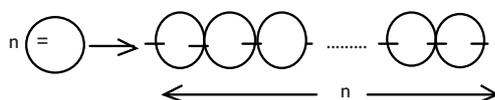


Según Mark, es necesario llegar a cierto grado de polimerización para obtener un plástico sólido. La polimerización mínima puede fijarse en unas 60 u 80 moléculas, con lo que crece la rigidez y la resistencia del polímero hasta las 250 moléculas. Pasado este número, aumenta lentamente la resistencia mecánica y, por encima de las 700 moléculas, no varían las propiedades mecánicas del polímero, por mucho que se aumente el grado de polimerización, la cual puede realizarse en una sola dimensión, al obtenerse polímeros filamentosos con macromoléculas hasta de 100 000 Å (0,01 mm).

Los plásticos termoplásticos, los que se ablandan cuantas veces se calientan, son generalmente polímeros filamentosos (Figura 2.10).

Polimerización lineal o filamentososa

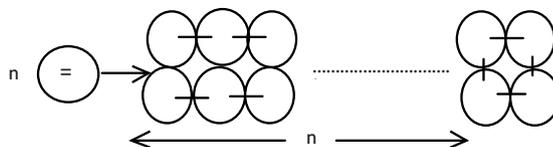
FIGURA 2.10



La forma ramificada es otro tipo de polimerización, la cual es producida en monómeros con moléculas de enlaces múltiples (Figura 2.11). Los plásticos termoestables, es decir, aquéllos endurecidos con el calentamiento, están generalmente constituidos por moléculas con polimerizaciones ramificadas en las tres dimensiones que forman un conjunto muy sólido.

Polimerización ramificada

FIGURA 2.11



3.1.2. Copolimerización

Los plásticos obtenidos por polimerización de un solo monómero tienen a veces defectos que limitan el campo de su aplicación. Por ejemplo, el acetato de polivinilo, obtenido por polimerización del acetato de vinilo, se ablanda a baja temperatura, de 39-40 °C, y es poco resistente a la luz y a los disolventes corrientes. En cambio, el cloruro de polivinilo, obtenido de la polimerización del cloruro de vinilo, tiene un alto punto de reblandecimiento, lo que dificulta su conformación y es muy resistente a los disolventes. Se pensó mezclar los plásticos para obtener un producto de características medias, pero no se llegó a ningún resultado satisfactorio. Entonces, se ensayó mezclar los monómeros, o sea, el acetato de vinilo con el cloruro de vinilo, y polimerizar la mezcla, de la cual obtuvo un copolímero de acetato y cloruro de vinilo de excelentes cualidades.

Polimerización de dos monómeros

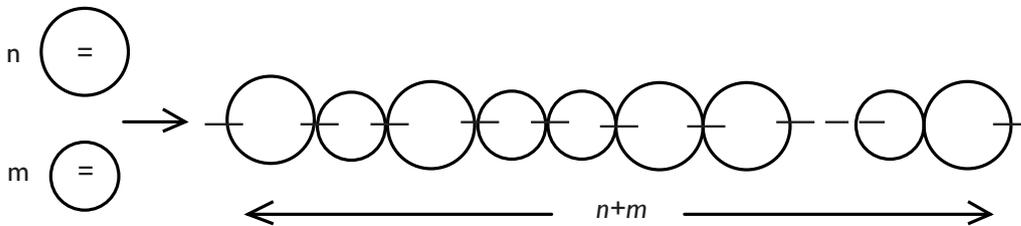
FIGURA 2.12



A la operación de polimerizar dos monómeros previamente mezclados se le ha denominado *copolimerización* y *copolímeros* de los plásticos obtenidos. La copolimerización puede ser lineal (Figura 2.13) y ramificada (Figura 2.14).

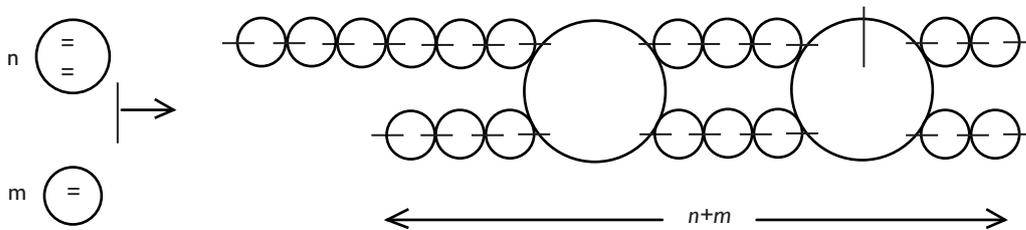
Copolimerización lineal

FIGURA 2.13



Copolimerización ramificada

FIGURA 2.14



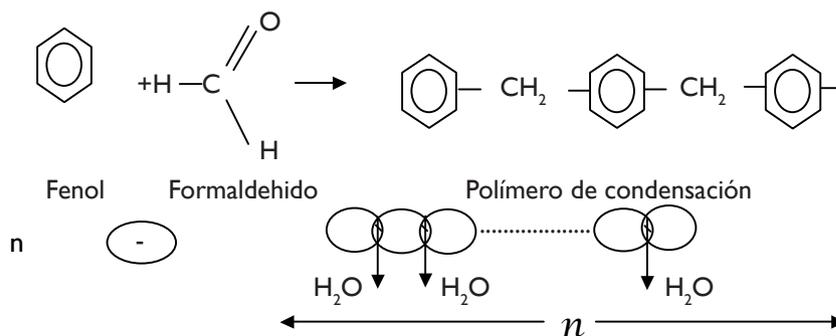
La copolimerización es uno de los procedimientos más empleados en la tecnología de los plásticos, pues permite obtener materiales de características sobresalientes. Bayer lo ha comparado con la aleación de los metales.

3.1.3. Policondensación

Algunos compuestos químicos, como el fenol o el formaldehído, no polimerizan aisladamente, pero al hacerlos reaccionar entre sí polimerizan de forma fácil. A este proceso se ha denominado *policondensación*, porque en la operación se desprenden algunas moléculas, generalmente de agua. De igual manera que la copolimerización, la policondensación puede ser lineal (Figura 2.15) y en red o ramificada (Figura 2.16).

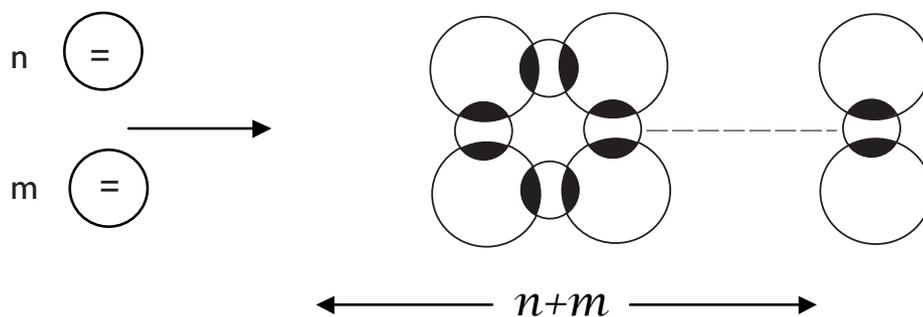
Policondensación lineal

FIGURA 2.15



Policondensación ramificada

FIGURA 2.16



3.2. Aditivos de los plásticos

Las resinas base de los plásticos se utilizan en algunas aplicaciones, pero de forma general, se les añaden ciertas sustancias naturales y artificiales que modifican o refuerzan sus propiedades. Estas sustancias reciben el nombre de *aditivos*, entre los cuales destacan: los plastificantes, los estabilizadores, las cargas, los colorantes y los lubricantes.

3.2.1. Los plastificantes

Son compuestos orgánicos de baja tensión de vapor que forman, junto a las resinas, unas soluciones estables en frío y aumentan su plasticidad en caliente. Entre ellos, destacan: la parafina, glicerina, glicol, etc.

3.2.2. Los estabilizadores o catalizadores

Son compuestos químicos o mezclas de compuestos que se añaden a la resina para dificultar su polimerización o policondensación y asegurar así sus propiedades iniciales.

3.2.3. Las cargas

Son sustancias minerales como talco, mica, sílice, amianto, fibra de vidrio o vegetales, como la harina de madera, el papel, algodón, etc., que mejoran algunas propiedades de las resinas y bajan su precio de costo.

3.2.4. Los colorantes

Son compuestos minerales u orgánicos utilizados para dar color a la resina base.

3.2.5. Los lubricantes

Son compuestos, en general orgánicos, destinados a facilitar el desmolde de los plásticos. Se emplean en cantidades pequeñas, inferiores a 2%.

3.3. Propiedades de los plásticos

La más destacada propiedad de los plásticos es la plasticidad tan elevada adquirida a la temperatura de moldeo, que permite obtener piezas perfectas por complicadas que sean. Otra cualidad de la mayoría de los plásticos es la facilidad con que pueden colorearse, así como el buen aspecto de las piezas moldeadas, que hace innecesaria alguna operación de acabado, en la mayoría de los casos.

Los plásticos son, en general, ligeros y buenos aislantes de la electricidad y del calor. Reblandecen entre los 70 °C y 200 °C y se descomponen entre los 300 °C y 500 °C. Su coeficiente de dilatación es elevado, de 1 a 30 veces más alto que el del acero (12×10^{-6}); lo que debe tenerse en cuenta para el proyecto de piezas que deben ir ajustadas con las de otros materiales.

Su resistencia mecánica a la tracción es más bien modesta, de 4 a 10 kg/mm², pero más que suficiente en la mayoría de las aplicaciones. Los plásticos resisten bien los agentes atmosféricos y el ataque de los ácidos.

3.4. Materias primas de los plásticos

Las materias que pudiéramos denominar *primarias*, obtenidas de los plásticos son: el petróleo, la hulla, la cal, el aire, el agua, la sal, el azufre y una extensa cantidad de productos agrícolas que cada día se amplía, entre los que se encuentran: la leche, la madera, la soja, la paja de cereales, entre otros.

Actualmente, el petróleo es el principal proveedor de materias primas para plásticos. La industria del aprovechamiento de sus subproductos constituye, entonces, una rama importantísima de la química, llamada *petroquímica*.

No obstante, no puede darse definitivamente la primacía a algún producto como materia prima fundamental para la fabricación de los plásticos, pues, con el transcurrir del tiempo, se descubren materiales de los que se obtienen compuestos intermedios adecuados para la producción de alguna resina plástica. Puede, por tanto, decirse que la moderna industria de los plásticos está capacitada para utilizar, como materia prima, cualquier subproducto industrial o residuo agrícola que no tenga aprovechamiento y se le ofrezca en cantidad y precio aceptable.

De las materias primas citadas se obtienen productos intermedios, como el fenol, el formaldehído, la urea, la melanina, la caseína, la celulosa, de los cuales se obtienen las resinas plásticas.

Estos productos intermedios no se consiguen exclusivamente de una sola materia prima, sino que a veces provienen de varias de ellas, como el fenol, extraído principalmente de la hulla, y como la producción era insuficiente, se inició su fabricación del petróleo, del que se obtiene ahora la mayor parte.

Cada plástico se adquiere por diversos procedimientos y cada país selecciona el que conviene a sus disponibilidades de materias primas o al precio que puedan adquirirlas.

Esta flexibilidad de los procedimientos de fabricación de los plásticos y la facilidad del aprovechamiento de las materias primas disponibles más dispares, son dos de las más importantes características que han impulsado esta industria a uno de los primeros lugares de la fabricación industrial de todos los países.

3.5. Clases de plásticos

Los plásticos se clasifican en los siguientes grandes grupos:

- *Los termoestables*: aquéllos que, una vez moldeadas las piezas, ya no se reblandecen por el calor. En esta clasificación, forma parte, casi sin excepción, el formaldehído.
- *Los termoplásticos*: aquéllos que se reblandecen con el calor cuantas veces se calientan. En esta clasificación, hay dos grupos bien definidos: los derivados de la celulosa y los plásticos vinílicos.
- Hay una tercera clasificación de los plásticos que no encaja en los grupos anteriores; algunos de ellos pueden ser *termoplásticos* o *termoestables*, según sus condiciones de obtención.

En conjunto, se pueden clasificar los plásticos conocidos como se presenta en el siguiente cuadro:

Clases de plásticos

CUADRO 2.10

TERMOESTABLES	}	Fenol-formaldehído Fenol-furfural Urea-formaldehído Melamina-formaldehído Caseína-formaldehído Amilina-formadehído
TERMOPLÁSTICOS CELULÓSICOS	}	Nitrocelulosa Acetato de celulosa Acetobutirato de celulosa Etilcelulosa
TERMOPLÁSTICOS VINÍLICOS	}	Polietileno (R) Poliestreno (R) Policloruro de vinilo (R) Policloruro de vinilideno Poliacetato de vinilo Polialcohol de vinilo Acetal, formal y butiral de polivinilo Polimetacrilato de metilo



R = Reciclables

3.5.1. Termoestables

Las resinas termoestables se obtienen, salvo el fenol-furfural que es el menos importante, de la reacción de policondensación del formaldehído con otro compuesto químico, como el fenol, la urea, etc.

El formaldehído (HCHO) es un gas a temperatura ordinaria que también se presenta en solución acuosa con la denominación de formalina. Éste se obtiene por hidrogenación del óxido de carbono (CO) y, actualmente, en mayor cantidad por oxidación del metano, que es el principal componente del gas natural que acompaña siempre al petróleo. El formaldehído actúa como estabilizador en las resinas de las que forma parte, ya que, por ejemplo, en el fenol-formaldehído basta variar, en su obtención, la proporción de formaldehído por debajo o por encima de la de fenol a fin de que la resina resulte termoplástica o termoestable. Otro ejemplo notable es la caseína, resina termoplástica, que, con adición de formaldehído, resulta termoestable. Las principales resinas se clasifican a continuación:

3.5.1.1. Resinas de fenol-formaldehído

El fenol-formaldehído es el primer plástico producido industrialmente y es bien conocido en el mundo con el nombre de *baquelita*. Está formado por la reacción del fenol (ácido fénico), que es un compuesto blanco cristalino que colorea de rosa en el aire, con el formaldehído, gas a temperatura ordinaria, y con la ayuda de un catalizador, en general alcalino, como el amoníaco, aproximadamente en las siguientes proporciones:

94 partes de fenol
100 partes de formaldehído
9,4 partes de amoníaco de 0,88 g/cc³

Las resinas del fenol formaldehído son de color amarillo rojizo (color miel). En su estado original, se denomina resol (o resina A) y son solubles en alcohol y acetona, por lo que se utilizan en la fabricación de barnices, lacas, entre otros.

Calentadas ligeramente, las resinas originales (las resol) se convierten en resitol (o resina B), el cual ya no es soluble en los disolventes citados, pero todavía es termoplástico y se ablanda cuantas veces se calienta hasta cierta temperatura.

Si las resinas B o resitol se calientan a temperaturas más elevadas, se transforman en resit (o resina C), que es ya termoestable, es decir, no se ablanda cuando se vuelve a calentar. La resina C o resit es un producto duro y brillante, el cual resiste temperaturas hasta de 300°C y es un buen aislante del calor, la electricidad e inatacable por la mayoría de los ácidos.

Para producir resinas en polvo para el moldeo, de mejor manipulación, se emplean proporciones de formaldehído inferiores a las del fenol, con lo que se obtiene una resina denominada novolaca, que es termoplástica. Para dar a esta resina la calidad termoestable, o sea, de la resina C, se le añade la cantidad de formaldehído que le faltaba, corrientemente condensada con amoníaco en forma de exametilenotetramina.

El fenol-formaldehído es todavía una de las resinas con más aplicaciones. Se emplea en forma de:

- *Barnices disueltos en alcohol*: para el recubrimiento de aparatos químicos, expuestos a ataques de productos corrosivos, para impregnación de bobinas eléctricas, etc.
- *Cementos*: parecidos a los barnices, pero más viscosos y generalmente con cargas, como sílice, empleados para fijar los casquillos de las lámparas eléctricas, etc.
- *Colas*: para la fabricación de tableros contraenchapados de madera y colas de fraguado en frío (pega).
- *Polvos de moldeo*: con cargas de negro de humo, harina de madera, amianto, mica, para la fabricación por moldeo de infinidad de artículos de enorme aplicación en electricidad (pequeñas piezas, como interruptores), en automóviles, en aviones, en radio, en televisión, entre otros.

3.5.1.2. Resinas de fenol furfural

Se puede sustituir el formaldehído por el furfural, lo que resulta en unas resinas parecidas a las de fenol-formaldehído, que solidifican lentamente y fluyen peor. En cambio, tienen poca contracción y, por consiguiente, pocas deformaciones por el calor; por lo que se emplean para hacer piezas con medidas exactas, planchas tipográficas, tapas para distribuidores, entre otros.

3.5.1.3. Resinas de urea-formaldehído

Descubiertas al buscar plásticos de colores claros o transparentes, ya que los fenólicas son de color oscuro. Están formadas por la reacción de la urea, que es un producto sólido, con el formaldehído. Son incoloras, inodoras, duras, tenaces y buenos aislantes de la electricidad. Las soluciones acuosas se emplean en la impregnación de papel, tejidos, amianto, como adhesivos, en la fabricación de tableros contrachapados y como colas, barnices, lacas, entre otros. Los polvos de urea formaldehído, con carga generalmente celulosa, se utilizan en la fabricación de vasos, platos, etc., material eléctrico y pantallas transparentes para alumbrado.

3.5.1.4. Resinas de melamina-formaldehído

Resinas termoestables más modernas, pues hasta 1939 no se generalizó su fabricación y utilización. En España, se conoce con el nombre comercial de *melopas*. La melamina-formaldehído se produce por la reacción del formaldehído sobre la melamina, que es un compuesto blanco y cristalino obtenido del carburo de calcio y del nitrógeno. Ésta es una resina termoestable presentada en forma de polvos incoloros e insípidos. Resiste al calor mejor que otros termoplásticos, admite cualquier coloración y tiene excelentes propiedades eléctricas. En Venezuela, no se produce este plástico y se importa para la fabricación de vajillas, útiles de cocinas y laminados decorativos como los de fórmica, fantasit, utilizados en la industria de muebles.

3.5.1.5. Resinas de caseína-formaldehído

La caseína es uno de los plásticos naturales más antiguos; su fabricación fue patentada en 1885, aunque no ha llegado a tener importancia, debido a las dificultades de su fabricación a gran escala. Ésta se obtiene principalmente de la leche desnatada, aunque también se produce modernamente de las semillas de la soja. Es termoplástica, pero se transforma en termoestable al hacerla reaccionar con el formaldehído. La resina de la caseína-formaldehído, conocida comercialmente como *galalita*, se presenta en color cuerno; pulimentada adquiere un brillo notable y admite bellas coloraciones. Tiene el inconveniente de que es muy higroscópica. La galalita, además, se emplea en la fabricación de botones y actualmente tiene pocas aplicaciones.

3.5.1.6 Anilina-formaldehído

Resina obtenida por condensación de la anilina por el formaldehído. Esta anilina es un plástico termoestable de color amarillo rojizo o marrón, con un alto punto de reblandecimiento y escasa fluidez. Posee gran rigidez dieléctrica y bajas pérdidas en corriente de alta frecuencia, por lo que se emplea en aislantes eléctricos, soportes para tubos de televisión, entre otros.

En el Cuadro 2.11, se destacan las propiedades del plástico:

Propiedades de los plásticos

CUADRO 2.11

	Densidad g/cm	Índice de Refracción	Absorción de agua %	Calor específico en cal/g °C x g	Coefficiente de dilatación, x10 ⁻⁶ /cm/°C	Resistencia a la compresión kg/cm ²	Resistencia a la tracción, kg/cm ²	Alargamiento %	Constante dieléctrica 60 c/s	Poder dieléctrico kV/mm	Temperatura de reblandecimiento, °C	Contracción de moldeo cm/cm
Acetato de celulosa	1.27-1.33	1.46-1.50	1.9-3.3	0.3-0.4	8.16	910-2.500	220-560	12-50	5.3-5.8	11.6-14.6	49-190	0.002-0.007
Acetobutirato de celulosa	1.15-1.22	1.47-1.48	1.2	0.3-0.4	11-16	500-1.500	150-500	8-80	3.5-6.5	---	60-120	0.002-0.009
Alcídicas	1.25-1.41	1.57-1.61	0.2-0.6	---	---	1.400-2.100	550-735	---	7.5	---	---	---
Anilina	1.25-1.35	1.7	0.01-0.1	0.4	5.6	1.400-1.900	600-800	2.5-3	3.4	---	100-160	0.2-0.3
Caseína	1.3-1.4	1.5-1.6	7.15	0.36	4-8	700-1.200	700-900	25	6-7	28.000	93	---
formaodehído	1.07-1.30	1.60-1.65	0	---	---	---	---	---	3	20	120-160	---
Cumarona indoneo	1.1-2	1.47-1.52	0.15-0.75	---	4.5-9.5	1.000-1.200	300-900	---	3.7-4.5	---	---	0.5-2
Epoxy	1.1-1.2	1.47	1.2	0.25-0.40	10-14	700-840	420-600	10-40	2.6-2.7	60.000	100-130	0.004-0.007
Etil-celulosa	1.25-1.36	1.50-1.70	0.1-0.2	0.3-0.4	2.0-5.5	1.050-2.100	420-700	1.0-1.5	5.0-6.5	12-18	100-170	0.009-0.011
Fenol- formaldehído	1.32-2	---	0.002-10	0.25-0.4	1.5-1.6	700-2.500	280-600	---	5-20	8-16	110-160	0.005-0.1
Fenol- furfural	1.45-1.8	1.5-1.6	0.1-0.6	0.4	4-6	2.800-3.000	420-500	1-1.2	7.10	---	150-165	---
Melamina-	1.35-1.65	1.46-1.50	0.6-3.0	0.34-0.38	12-16	1.400-2.100	340-700	20	6.5-9.0	---	71-91	1
Formaldehído	1.18-1.20	1.46	2	---	---	---	350	---	2.7-6.1	---	45-125	---
Nitrato de celulosa	1.2-1.3	1.51	>30	---	7-12	---	150-500	300-600	---	---	90-150	---
Poliacetato de vinilo	1.06-1.19	1.53	0.5-3.5	-0.43-0.45	1.0-1.4	1.000-1.300	320-740	50	4.1	---	232	---
Poliálcohol vinílico	1.2	1.6	0.3-0.4	0.28	6	790-840	630-740	60-100	3.1	16	150	---
Poliámidas	1.6-1.7	1.6	<1	19	19	500-600	250-280	10-40	4-6	30-100	38-163	0.5-2
Policloruro de vinilideno	1.20-1.60	1.54	0.02-0.05	0.32-0.51	---	800	350-630	200-500	6.5-12	16-26	150-200	0.001
Policloruro de vinilo	1.6-2.0	1.5	0.2-0.5	---	---	2.000-4.800	1.700-3.800	---	3.8-6	---	100-270	---
Poliéster	1.05-1.07	1.5-1.6	0.05	0.3	6.8	800-1.100	350-600	1.5	---	16.26	88-110	0.002-0.008
Poliestireno	0.92-0.96	1.52	0.01-0.02	0.53-0.55	17-20	100-200	110-375	300-500	2.2-2.3	40	105-132	12.5
Poliuretano	1.16-1.20	1.49-1.51	0.2-0.4	0.35	7-9	700-1.000	500-800	2-10	3-4.5	16-20	60-100	0.2-0.6
Siliconas	0.90-0.91	---	0	0.46	11	600-700	500	400-700	2-2.1	30-32	100-110	2
Polimetacrilato de metilo	2.1-2.3	---	0	0.25	5.5	100-200	140-320	100-400	2	19.2	370	2.5
Poliuretanos	1.77-1.21	1.50	0.3-1.0	---	11	---	400-650	9	3-4.2	---	160-180	---
Urea-formaldehído	0.8-1.2	---	0	---	0.9-1.6	---	---	70-115	3-3.5	56-88	---	---
	1.45-1.55	1.54-1.56	0.4-0.8	0.4	3	1.700-2.100	350-500	0.5-1	7-10	10-18	126-138	0.6-1.4

3.5.2. Termoplásticos celulósicos

Los plásticos derivados de la celulosa son termoplásticos, es decir, reblandecen con el calor cuantas veces se calientan y constituyen el grupo más antiguo de esta clase de plásticos. Éstos se producen a partir de la celulosa, como materia prima fundamental, obtenida generalmente de los linteres de algodón, que son las fibrillas adheridas a las cáscaras de los frutos de algodón y están compuestos por 94% de celulosa. A estos plásticos no es necesario polimerizarlos para alargar sus moléculas, porque la celulosa está formada por macrocélulas constituidas por cadenas de 2000 a 3000 moléculas de glucosa. Los plásticos derivados de la celulosa más importantes son:

3.5.2.1. La nitrocelulosa

La nitrocelulosa (o nitrato de celulosa) es la resina base de un plástico conocido con el nombre de *celuloide*, fabricado desde 1870 y, durante muchos años, ha sido producto insustituible en la fabricación de películas cinematográficas y otros artículos. Se prepara al tratar los linteres de algodón con ácido nítrico concentrado, en presencia de ácido sulfúrico como catalizador. Las proporciones de los ácidos y la forma de conducir la reacción deben cuidarse para que el contenido de nitrógeno de la celulosa esté entre 10 y 11%, pues, en proporciones superiores, resultan demasiado inflamable.

Una vez obtenida la nitrocelulosa en forma de polvo blanco, se plastifica al amasarla con alcanfor (aceite natural), con lo que se elabora una masa transparente ligeramente amarillenta que puede colorearse con pigmentos añadidos. El celuloide es un material tenaz, de considerada resistencia a los choques y a la tracción. Se moldea fácilmente a temperaturas de 80°C-130°C, y se puede reducir a láminas finísimas.

El celuloide tiene el inconveniente de ser bastante inflamable; lo que ha reducido su empleo en cuanto se ha dispuesto de otros materiales plásticos que pudieran sustituirlo. A pesar de esto, se emplea como material de revestimiento de mangos, de depósitos y en la fabricación de numerosos artículos, mientras se sigue usando en la fabricación de películas fotográficas y cinematográficas, pues no se ha encontrado todavía algún material más adecuado, a pesar de su inflamabilidad.

3.5.2.2. Acetato de celulosa

Es el más importante de los plásticos derivados de la celulosa, el cual se obtiene al tratar los linteres de algodón con ácido acético y anhídrido acético, en presencia de un catalizador como el ácido sulfúrico. Este acetato es un material termoplástico transparente, incluso a la luz ultravioleta. Es tenaz, resistente y tiene, en cambio, el inconveniente de ser ligeramente higroscópico. Como es menos inflamable que el celuloide, sustituye a este material en la fabricación de películas, aunque es menos flexible.

3.5.2.3. Acetobutirato de celulosa

Producto similar al acetato de celulosa, pero menos higroscópico, porque admite menos de la mitad de agua, en inmersión prolongada. Se prepara igualmente al partir de los linteres de algodón tratados con ácido acético y una mezcla de anhídrido acético y ácido butírico.

Es una resina termoestable, blanca y escamosa. Se emplea en la fabricación de piezas de automóviles, como volantes, etc.

3.5.2.4. La etilcelulosa

Es el plástico celulósico más moderno, pues su fabricación no se inicia hasta 1936, cuando comienza a adquirir destacado desarrollo. Se prepara al tratar los linteros de algodón con hidróxido sódico. Después, la celulosa alcalina obtenida se hace reaccionar con cloruro de etilo, cuyo radical etílico reemplaza al sodio y se forma la etilcelulosa, la cual es una resina termoplástica de color blanco, la más ligera de todas las derivadas de la celulosa, pues su densidad es 1,14. Su propiedad más notable es su resistencia a las bajas temperaturas, pues conserva íntegramente sus propiedades mecánicas, elásticas y resiste al choque a temperaturas de 50 °C bajo cero. Se emplea bastante por su resistencia y poco peso en las fabricaciones aeronáuticas.

3.5.3. Termoplásticos vinílicos

Los plásticos basados en las resinas vinílicas son todos termoplásticos y forman una larga serie en constante aumento en número e importancia. Todos estos plásticos son ligeros, transparentes y dan películas claras, elásticas y tenaces. Actualmente, las resinas de este grupo son las siguientes:

3.5.3.1. Polietileno

El polietileno o politeno es un material moderno. En 1939, se inició su fabricación en Inglaterra. Se prepara por la polimerización del etileno (C_2H_4), que es un gas obtenido de la depuración de gases naturales y de la deshidratación de alcohol etílico, por lo que puede conseguirse en grandes cantidades en el campo de la agricultura. La polimerización se logra a presiones de 1500 atmósferas a temperaturas entre 50 °C-250 °C, con lo que se extrae el polímero con un peso molecular de 20 000. Éste es un material blanco, ligero, de densidad 0,93, flexible, con propiedades eléctricas excelentes e inatacables por los ácidos o álcalis e insensible a la corrosión atmosférica y a la humedad. Tiene el inconveniente de ser blando y se raya con la uña. Se utiliza en la fabricación de utensilios de cocina, piezas industriales y revestimiento de cables eléctricos.

3.5.3.2. Poliestireno

Es una de las resinas más antiguas, conocida desde el siglo pasado. Sin embargo, su desarrollo comercial no tuvo lugar hasta la segunda guerra mundial, cuando se abarató su producción, debido a que se necesitó el estireno en grandes cantidades para la fabricación del caucho sintético GR-S.

El estireno es un líquido blanco que deriva del etilbenceno, el cual se obtiene por síntesis directa del benceno y del cloruro de etilo. La polimerización se realiza por calentamiento. Además, es un material incoloro de densidad 1,05.

Es el plástico de mejores características eléctricas y sería perfecto si no fuese relativamente frágil y poco aconsejable su utilización a temperaturas superiores a los 80 °C.

El producto comercial denominado *poliestireno expandido* se obtiene con la adición de compuestos químicos que producen alto volumen de gases, quedados en la masa del poliestireno, a medida que disminuye la densidad aparente de éste a cifras bajísimas. Se utiliza en embalajes de material delicado, como cámaras fotográficas, tomavistas, aparatos de radio en miniatura y en el aislamiento térmico, pues, tiene un peso aparente de 30 kg/m^3 y una conductividad térmica de $0,022 \text{ kcal/hm}^\circ\text{C}$.

3.5.3.3. Policloruro de vinilo

El policloruro de vinilo o cloruro de polivinilo es la materia plástica de mayor consumo en el mundo. Se calcula que, en 1956, se produjeron unas 500 000 toneladas de este plástico. Se fabrica al hacer una mezcla de acetileno y ácido clorhídrico en presencia de un catalizador como el cloruro de mercurio. Después, el cloruro de vinilo, que es gaseoso, se polimeriza con la ayuda del calor y un catalizador.

Las resinas de cloruro de polivinilo son termoplásticas, transparentes o blancas, de densidad 1,33. Son pocos estables al calor y a la luz. Sus propiedades mecánicas no son buenas, aunque son prácticamente inatacables a los ácidos y álcalis ordinarios, por lo que se emplean para revestir depósitos de la industria química o cables eléctricos y para fabricar tuberías flexibles y rígidas.

3.5.3.4. Policloruro de vinilideno

El policloruro de vinilideno o cloruro de polivinilideno es un plástico de fabricación moderna (año 1939), designado, a veces, con la abreviatura de CV². Se produce al clorar el etileno y después tratar el tricloroetileno formado con cal. El cloruro de vinilideno obtenido se polimeriza fácilmente a temperaturas superiores a 0°C , en forma de polvo blanco.

Es extraordinariamente resistente a los agentes químicos o disolventes, además de ser poco higroscópico como el poliestireno; aunque tiene el inconveniente de su elevada temperatura de reblandecimiento, entre 85°C y 200°C , con poco margen de trabajo, pues a 225°C se descompone. Además, es incompatible con los plastificantes corrientes. Estos inconvenientes se corrigen al copolimerizar el cloruro de vinilideno con otros monómeros, como el cloruro de vinilo, con lo cual baja su punto de reblandecimiento a temperaturas entre 120°C y 140°C , con un peso molecular de 20 000.

El copolímero de cloruro de vinilideno y cloruro de vinilo son denominados comercialmente como *sarán*: plástico de fuerte inercia química y excelentes propiedades mecánicas, empleado en la fabricación de cuerdas, tejidos gruesos, tejidos filtrantes, correas e incluso para reemplazar piezas mecánicas en la industria del rayón, dado a su resistencia a la corrosión.

3.5.3.5. Policetato de vinilo

El poliacetato de vinilo o acetato de polivinilo es una de las materias plásticas más importantes, a pesar de que se emplea poco, debido a su bajo punto de reblandecimiento y la aplicación de sus copolímeros, como el copolímero de acetato de vinilo y el cloruro de vinilo y sus derivados, como el polialcohol de vinilo, el poliformal de vinilo y el polibuterol de vinilo.

El acetato de vinilo se obtiene de la reacción del acetileno con el ácido acético glacial, en presencia de un catalizador, que suele ser el sulfato mercúrico. Después, se polimeriza fácilmente en presencia de peróxido de benzoilo.

El poliacetato de vinilo es un líquido incoloro, inodoro, insípido, de densidad 1,18, usado principalmente como adhesivo, para pegar tejidos de papel, porcelana, metales, cuero, entre otros. Como se ha indicado, no se utiliza como materia plástica, por su bajo punto de reblandecimiento, a pesar de que sus características mecánicas y eléctricas son aceptables.

El copolímero de acetato de vinilo y cloruro de vinilo es un material bastante elástico y resistente, que ha resistido, en ensayos, hasta 3 millones de flexiones y alargamientos, incluso más de 500%. Se emplea para impermeabilización de tejidos, para revestimientos de conductores y para fabricación de tubo flexible.

3.5.3.6. Polialcohol de vinilo

Esta resina procede del poliacetato de vinilo, obtenido por hidrólisis en presencia de un catalizador como ácido sulfúrico. El polialcohol de vinilo o alcohol de polivinilo se presenta en forma de polvo blanco ligeramente amarillento, de densidad 1,2, el cual tiene dos notables propiedades: (1) es extraordinariamente resistente a los aceites, grasas y a la mayoría de los disolventes y (2) los tubos fabricados con este material transmiten el sonido sin absorberlo y, por tanto, sin apenas distorsión. Este material se utiliza para la fabricación de membranas, para la industria del automóvil, tubos flexibles, para el transporte de petróleo, etc.

3.5.3.7. Poliacetal, poliformal, polibutiral de vinilo

Del acetato de polivinilo, además del alcohol, se obtiene el *poliacetal* (que tiene muy poca importancia), el poliformal y el polibutiral, que es el más importante de todos.

El *poliformal de vinilo* se emplea en el revestimiento de hilos conductores y sustituye al antiguo esmaltado, al darle protección eficaz con menos espesor de recubrimiento. Se emplea también como cola en el pegamento de los contraenchapados de madera con que fabrican las hélices de los aviones.

El *polibutiral de vinilo* se emplea como capa intermedia de cristales de seguridad, en los que las capas exteriores son de vidrio y sustituye, con ventaja, al nitrato de celulosa o al acetato de celulosa que se empleaba antes.

3.5.3.8. Polimetacrilato de metilo

El polimetacrilato de metilo, popularizado con la denominación de *plexiglás*, se empezó a fabricar en 1935, cuya industrialización se desarrolló con rapidez, por su aplicación en las construcciones aeronáuticas.

El metacrilato de metilo se obtiene de la acetona, que es un derivado del acetileno, tratado con ácido cianhídrico. Después, la cianhidrina de acetona formada se deshidrata, saponifica y esterifica con ácido sulfúrico y alcohol metílico, de lo que se obtiene el metacrilato de metilo en forma de líquido incoloro. La polimerización se logra por calentamiento y con ayuda de un catalizador.

El polimetacrilato de metilo es un plástico de densidad 1,16, transparente; con un índice de transmisión de la luz de 92% y con un peso de 1/3 del que tiene el vidrio. Además, es indiferente a los cambios de temperaturas. Por otra parte, tiene excelentes propiedades mecánicas, con una resistencia al choque superior 10 veces a la del vidrio. Tiene también buenas propiedades dieléctricas. Es fácil de moldear y trabajar con sierra, taladro, etc.; sólo tiene el inconveniente de que se raya con facilidad, pero se restaura al pulirlo.

Su principal aplicación es la sustitución del vidrio de las cabinas de los pilotos de aviones, en las vitrinas, en la fabricación de piezas ópticas, lentes de todo tipo, etc.

3.5.4. Otros plásticos

3.5.4.1. Poliamidas

La poliamida, conocida por el nombre comercial de *nylon*, se empezó a fabricar en 1938 en Norteamérica y se obtiene por la reacción del ácido adípico derivado del fenol y la hexametildiamina. Se presenta en escamas blancas de densidad 1,06, que se funden a 250°C. Tiene una constitución parecida a las proteínas naturales. Sus propiedades eléctricas son excelentes, al igual que sus propiedades mecánicas y su resistencia a la corrosión. El nylon se puede estirar en frío hasta siete veces su longitud. Ordinariamente y en el curso de su fabricación, se estiran los filamentos de nylon cuatro veces su longitud, con lo cual se ordenan sus fibras y aumenta su flexibilidad, elasticidad y su resistencia a la tracción. El nylon se emplea en la fabricación de cuerdas, tejidos de gran resistencia al desgaste y en el aislamiento de cables eléctricos, etc.

3.5.4.2. Poliuretanos

Fueron desarrollados en Alemania, en los laboratorios de la I.G Farbenindustrie, por los químicos Wurt y Hoffman, cuando buscaban resinas no patentadas por la Du Pont de Norteamérica.

Las aplicaciones más destacadas de los poliuretanos son en forma de espumas rígidas y flexibles. Las rígidas tienen 90% de sus celdas cerradas, lo que les confiere excelentes condiciones para aislantes térmicos, con un peso aparente de 35 kg/m³ y un coeficiente de conductividad térmica de 0,020 kcal/m°C. En cambio, las flexibles tienen 80% de sus celdas abiertas, lo que les otorga buenas condiciones como aislantes para las vibraciones. Las espumas rígidas se utilizan en la construcción de sillas, mesas etc., como sustitución de la madera; además, en la construcción de embarcaciones ligeras y salvavidas, por su pequeña densidad aparente y su resistencia a la humedad, sobre todo en el aislamiento térmico de cámaras frigoríficas y edificios. Las espumas flexibles se utilizan en la fabricación de colchones, cojines, embalajes, en el aislamiento de vibraciones, etc.

3.5.4.3. Poliéster

Las resinas de poliéster son relativamente modernas. Se utilizan en forma de copolímeros, con estireno y otro monómero vinílico, lo que genera un material termoestable, que se lamina y refuerza con fibra o tejido de vidrio.

Los poliésteres se emplean en la fabricación de carrocerías de automóviles, cascos de embarcaciones ligeras, estuches de aparatos, bandejas de uso doméstico, o también mezclados con otras fibras para la fabricación de tejidos como el Tergal y el Terylene.

3.5.4.4. Resinas alclídicas

Se denominan también, según su origen, resinas alquílicas, alquides, gliceroftálicas y griptales. Se obtienen principalmente de la glicerina y del anhídrido ftálico y se emplean en la fabricación de pinturas.

3.5.4.5. Cumarona e indeno

La cumarona y el indeno son dos compuestos químicos obtenidos en la destilación del alquitrán de hulla. Estos compuestos sólo polimerizan juntos, lo que genera unas resinas termoplásticas de color entre marrón y negro, cuyo estado puede variar de semifluido al sólido, según las condiciones de su obtención.

3.5.4.6. Siliconas

Polímeros semiorgánicos en los que el silicio ha venido a sustituir al carbono en los compuestos orgánicos. Algunos autores las consideran como puentes entre la materia orgánica y la inorgánica. Las siliconas son insolubles en los disolventes corrientes, repelen la humedad, tienen resistencia a los ácidos, excelentes propiedades eléctricas y son extraordinariamente estables al calor y a la luz. Pueden ser termoestables, termoplásticas, líquidas, pastosas y sólidas; además de una amplia gama para su mejor adaptación a cada aplicación específica. Son incoloras y tienen variación de viscosidad con la temperatura. Su punto de inflamación es más alto que el de los aceites lubricantes minerales. Son de baja tensión superficial y son resistentes a los agentes corrosivos y a la oxidación. Se emplean para adicionarlas a los lubricantes, impregnar estoperas de bombas de productos químicos, en flúidos de mandos hidráulicos y amortiguadores. También se preparan a base de siliconas líquidas, para el barnizado de motores y material eléctrico que tenga que soportar temperaturas hasta de 200 °C, en ambientes corrosivos y para adhesivos, fijadores y pastas selladoras. Por último, tienen gran aplicación como antiadherentes para facilitar el desmolde, al evitar el pegado, a los moldes de otros plásticos.

3.5.4.7. Resinas epoxi

Polímeros de condensación termoplásticas que adquieren, al final, el carácter de termoestables. Se presentan como líquidos viscosos o sólidos, según su peso molecular; son de color amarillo oscuro. Estas resinas tienen excepcionales condiciones de dureza, flexibilidad y, en general, propiedades mecánicas y eléctricas. Tienen resistencia a los agentes atmosféricos y multitud de aplicaciones en la industria eléctrica.

3.5.4.8. Policarbonatos

Los policarbonatos constituyen uno de los plásticos más modernos; son el primer material termoplástico que incorpora el radical carbonato como parte integral de la cadena principal de los polímeros.

Estas resinas son termoplásticas, inodoras e insípidas. Totalmente inalterables al calor, la luz, rayos ultravioleta, oxígeno y ozono. Poseen excelentes propiedades eléctricas, que mantienen hasta 140 °C bajo cero. Son resistentes a los agentes químicos. Se utilizan en la fabricación de cascos protectores de motociclistas, mineros, ventanillas a prueba de balas en los bancos, parabrisas náuticos, pantallas de alumbrado, etc.

3.5.4.9. Polipropileno

Plástico moderno obtenido de una manera similar al polietileno, al partir del propileno extraído del gas del petróleo. Es un termoplástico incoloro o de coloración clara. Es el plástico más ligero de peso (con densidad 0,9). Es duro y tiene buena resistencia al choque, a la tracción, a los agentes químicos y a los disolventes a temperatura ordinaria. Tiene también excelentes propiedades eléctricas. Debido a su resistencia al calor, se emplea para fabricar artículos sanitarios que precisan esterilización, como jeringuillas. Se utiliza, además, en la fabricación de utensilios de cocina, de engranajes que han de funcionar sin lubricación, como aislante eléctrico, etc.

3.5.4.10. Politetrafluoretileno

Este material fue descubierto en 1941 y, aunque sus propiedades son excelentes, se fabrica en poca cantidad, debido a su elevado precio, 50 veces superior al polietileno. Su nombre comercial más conocido es *teflón*. Es el primer plástico producido por un halógeno distinto al cloro. Se prepara por la acción del ácido fluorhídrico sobre el cloroformo.

Es traslúcido, blanco o grisáceo, repele la humedad, inalterable entre -75 °C y 327 °C, es buen aislante eléctrico, incluso a alta frecuencia; además, con extraordinaria inercia química, pues no lo atacan ni los ácidos ni los disolventes orgánicos, aun a temperaturas elevadas.

Se emplea en el aislamiento de motores que han de funcionar a temperaturas hasta de 300 °C, en atmósferas corrosivas, en revestimientos de recipientes en tintorerías, industrias alimenticias, etc. También, se emplea para amortiguar el calentamiento de los vehículos espaciales a la entrada en la atmósfera, por causa de la absorción de calor que produce su descomposición y gasificación, etc.

3.6. Conformación de los plásticos

Extensa parte de la producción de plásticos se destina a la fabricación de barnices, lacas, pinturas, cementos, colas, como hemos visto al exponer las aplicaciones de cada resina. No obstante, el mayor consumo de los productos plásticos lo hace la fabricación de los artículos más diversos. Esta fabricación puede hacerse al partir de semiproductos, como películas, hojas, planchas, etc., o bien por moldeo directo de las resinas.

3.6.1. Fabricación de los semiproductos plásticos

Los semiproductos fabricados con los plásticos más corrientes son películas, hojas, planchas, bloques, barras y tubos.

3.6.1.1. Películas

Pueden obtenerse por: (a) laminado sobre un cilindro receptor, seguido de coagulación ulterior en un baño o evaporación sobre el tambor; (b) pulverización sobre un soporte no adherente de una solución o de una suspensión de un plástico. La película, en este último caso, se separa del soporte una vez seca.

3.6.1.2. Las hojas plásticas

Se preparan por: (a) superposición de películas más delgadas; (b) corte de bloques; (c) laminado entre cilindros calientes o moldeo caliente o frío entre placas de vidrio mineral o vidrio orgánico antes de la polimerización o policondensación.

3.6.1.3. Las planchas

Se obtienen por: (a) prensado en caliente entre placas de resina en polvo; (b) tejidos impregnados; (c) láminas de madera impregnadas en una solución de resina.

3.6.1.4. Las barras y los tubos

Suelen ser obtenidos por extrusión, uno de los procedimientos sobre el moldeo.

3.6.2. Conformación de los semiproductos plásticos

Los termoplásticos, como el celuloide, el acetato de celulosa y los vinílicos pueden, mediante el calor, deformarse y adaptarse a un molde; si la temperatura es adecuada, pueden soldarse perfectamente. Los termoestables, en principio, no son deformables ni soldables por el calor. Pueden, sin embargo, pegarse por medio de colas adecuadas. También, pueden mecanizarse mayor parte de las materias plásticas, que parten de barras o bloques, con máquinas herramientas utilizadas con los metales. No obstante, la mecanización de piezas plásticas se hace excepcionalmente, pues la conformación adecuada de los plásticos es el moldeo.

3.6.3. Conformación de los plásticos por moldeo

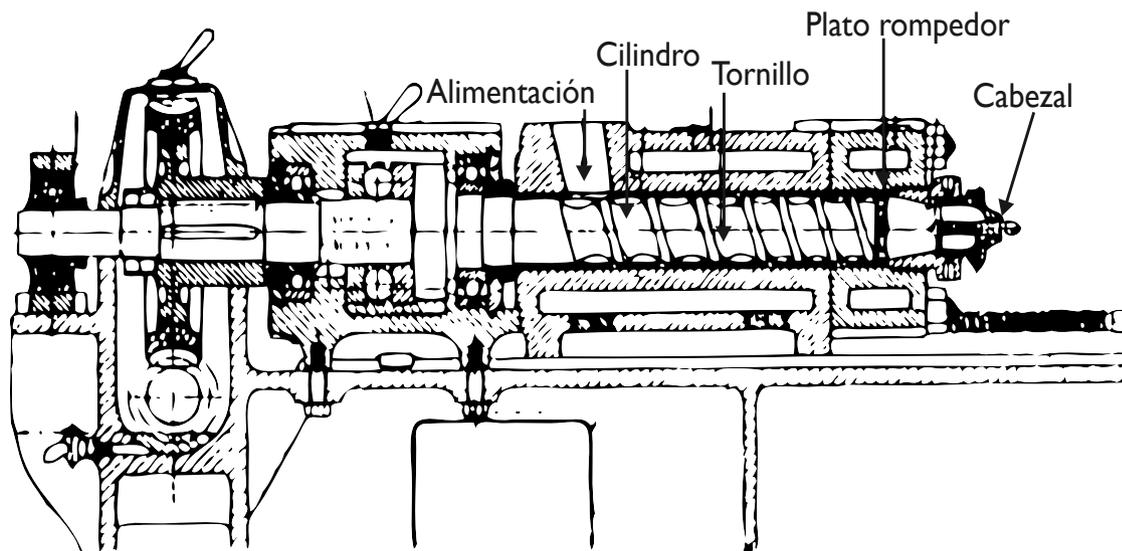
Gran parte de los artículos fabricados con plásticos se obtiene por moldeo de las resinas, generalmente en forma granulada, a las que, a veces, se añade la carga en polvo cuando se realiza su conformación. Las principales técnicas empleadas son la *extrusión*, el moldeo por *compresión*, el moldeo por *transferencia*, el moldeo por *inyección* y el moldeo por *colada ordinaria*.

3.6.3.1. Conformación por extrusión

Se realiza cuando se obliga salir a la masa calentada a temperatura adecuada del plástico, por una boquilla de sección igual a la del tubo o barra que se desea obtener. Mediante este procedimiento, se recubren de plástico cables metálicos que pasan concéntricamente por una boquilla cilíndrica (Figura 2.17).

Máquina para la conformación por extrusión de los plásticos

FIGURA 2.17

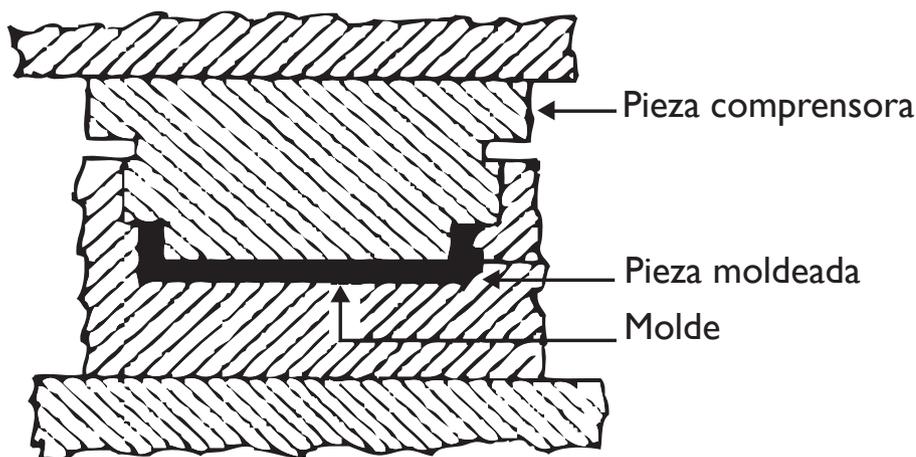


3.6.3.2. El moldeo por compresión

Se realiza al comprimir a $300-500 \text{ kg/cm}^2$ el plástico en polvo, caliente, en el instante de la operación de $150-170^\circ\text{C}$, o en pastilla previamente calentada fuera de la prensa. Este procedimiento se aplica sólo a piezas pequeñas, pues, haría falta una prensa de 1000 toneladas métricas para una pieza de $0,5 \text{ m}^2$ de superficie (Figura 2.18).

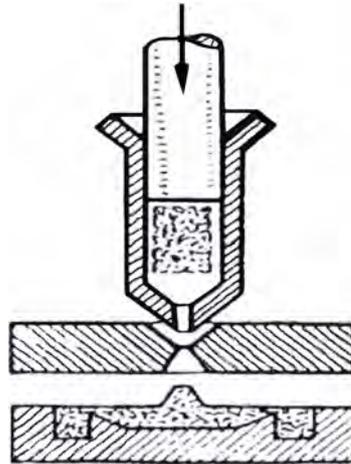
Moldeo a compresión de plástico

FIGURA 2.18

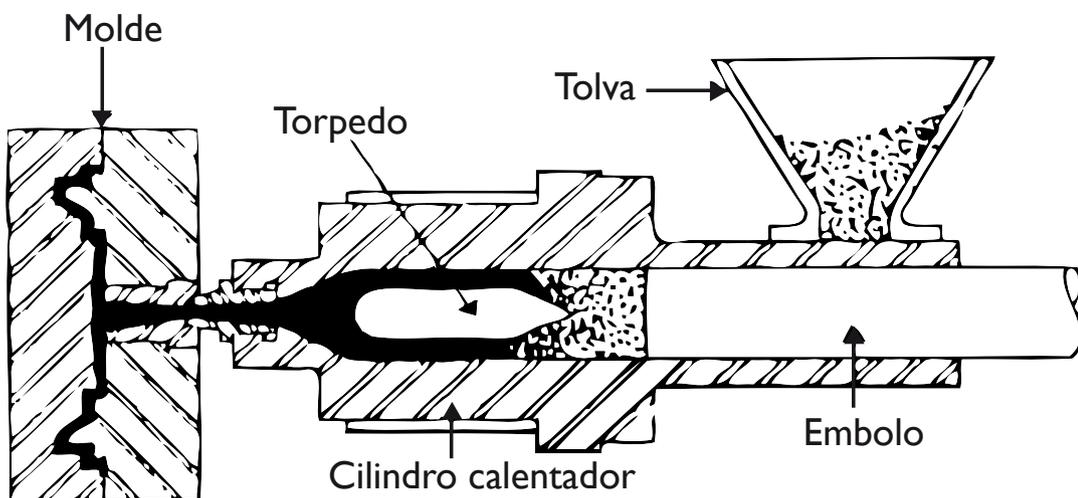


3.6.3.3. El moldeo por transferencia

Se realiza al calentar a 80°C , en un cilindro, el plástico que después es empujado por un pistón, a través de un orificio, a un molde situado debajo, calentado también a temperatura adecuada. Este procedimiento mejora notablemente las propiedades de los plásticos con suficiente carga (Figura 2.19).

Moldeo por transferencia de plásticos**FIGURA 2.19****3.6.3.4. El moldeo por inyección**

Consiste en inyectar, en el molde metálico, a una presión de 1000 kg/m^2 , el plástico reblandecido por el calor en la misma máquina. Se emplea en la conformación de los plásticos celulósicos y vinílicos en piezas de hasta 750 gr y 300 mm de diámetro (Figura 2.20).

Moldeo por inyección de los plásticos**FIGURA 2.20****3.6.3.5. El moldeo por colada ordinaria**

Proceso similar al de los metales, el cual se emplea para el moldeo en estado líquido (fundido) de los fenolformaldehidos (bakelitas). Este procedimiento tiene la ventaja de que es más barato que los anteriores, porque éstos exigen máquinas de elevado precio y moldes de aceros especiales.

3.6.3.6. El soplado de cuerpos huecos

Se realiza al soplar una proforma obtenida por extrusión o por moldeo de inyección, colocada en el interior de un molde hueco y cuando todavía está caliente.

3.7. Aplicaciones de los plásticos

El consumo de los plásticos ha crecido desmesuradamente en pocos años, como se aprecia en el Cuadro 2.12; esto es debido a la universalidad de las aplicaciones de los plásticos en los campos más variados, en algunos de los cuales han desplazado definitivamente a otros materiales.

Consumo de materiales plásticos en kg/habitante

CUADRO 2.12

PAÍS	1960	1965	1970	1975	1980
Alemania Occidental	16	29	55	72	95
Estados Unidos	16	27	39	56	73
Japón	6	15	36	50	48
Francia	8	14	28	38	48
Italia	5	12	27	34	48
Inglaterra	9	15	29	31	41
España	1	3	18	26	30

Las aplicaciones generales de los plásticos son las siguientes:

3.7.1. Artículos domésticos

Agujas de punto, piezas de tocador, utensilios de cocina, manteles, suelos, alfombras, cortinas, bandejas, etc.

3.7.2. Artículos eléctricos

Interruptores, portalámparas, enchufes, cables revestidos, tubos de canalizaciones, armaduras de reflectores, piezas de neveras, cajas de receptores de radio y televisión, soportes de lámparas de radio, tubos de televisión, armaduras de bobinas, etc.

3.7.3. Artículos de automóviles, aviones y barcos

Carrocerías de automóviles, cabinas de avión, cascos de barcos de pequeño tonelaje, parabrisas, volantes, piezas de baterías, tapicerías, etc.

3.7.4. Demás artículos

Gafas, juguetes, lapiceros, plumas, teléfonos, paraguas, bolsos, carteras, maletas, mangos de herramientas, barnices, colas, cementos, aislantes térmicos, etc.

Los principales materiales plásticos y sus aplicaciones se sintetizan en los Cuadros 2.13 y 2.14.

Principales materiales plásticos

CUADRO 2.13

NOMBRE	FÓRMULA	PROPIEDADES	APLICACIONES
Polietileno (PE)	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$	Termoplástico, traslúcido en lámina, flexible, permeable a los hidrocarburos, alcoholes y gases, resistente a los rayos X y a los agentes químicos	Láminas, bolsas, tuberías, revestimientos, aislantes, tapones, tapas, envases, juguetes
Polipropileno (PP)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ -\text{CH}_2-\text{CH}- \end{array}$	Termoplástico, de baja densidad, rigidez elevada, resistente a los rayos X, poco permeable al agua, resistente a las temperaturas elevadas (<135 °C) y a los golpes	Artículos domésticos, envases, carrocerías moldeadas, baterías, parachoques, muebles de jardín, jeringuillas, frascos, prótesis
Poliestireno (PS)	$\begin{array}{c} \text{C}_6\text{H}_5 \\ \\ -\text{CH}_2-\text{CH}- \end{array}$	Termoplástico, transparente en lámina, no tóxico por ingestión, buenas propiedades ópticas y eléctricas, fácil de teñir, resistente a los rayos X, a los aceites y a las grasas	Envases, utensilios de cocina, difusores ópticos, revestimientos de muebles, aislamiento térmico, juguetes, artículos de oficina, maquinillas de afeitar desechables
Policloruro de vinilo (PVC)	$\begin{array}{c} \text{Cl} \\ \\ -\text{CH}_2-\text{CH}- \end{array}$	Termoplástico, flexible o rígido, opaco o transparente, resistente a los rayos X, los ácidos, las bases, los aceites, las grasas y los alcoholes	Artículos domésticos, envases, aislamiento de cables eléctricos, conducciones de agua, revestimientos de suelos, contraventanas y puertas plegables, maletas, marroquinería, piel sintética, artículos de deporte y camping, industria química y automoción
Politetrafluoroetileno (PTFE) o teflón	$-\text{CF}_2-\text{CF}_2-$	Químicamente inerte, antiadherente, impermeable al agua y a las grasas, excelente resistencia al calor y a la corrosión	Prótesis, juntas, piezas mecánicas en medios corrosivos, aislamiento eléctrico, revestimiento de sartenes
Polimetacrilato de metilo (PMMA) o plexiglás	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ -\text{CH}_2-\text{C}- \\ \\ \text{OCOCH}_3 \end{array}$	Termoplástico, transparente, con excelentes propiedades ópticas, buena resistencia al envejecimiento y a la intemperie.	Material sustitutivo del vidrio, letreros luminosos, cristalerías, ventanillas, vitrinas, fibras ópticas, odontología, prótesis, lentes de contacto
Poliamidas (PA) (ejemplo: nylon)	Ejemplo: $-\text{NH}-(\text{CH}_2)_a-\text{CO}$ Siendo a un número entero natural	Termoplásticos, excelentes propiedades mecánicas, resistentes a los rayos X y a los carburantes, impermeables a los olores y a los gases	Envases de productos alimenticios, mecanismos de contadores de agua, gas y electricidad, canalización de carburantes, botas y fijaciones de esquí, sillines de bicicleta
Siliconas	$\begin{array}{c} \text{R} \\ \\ -\text{O}-\text{Si}- \\ \\ \text{R} \end{array}$ $\text{R} = \text{CH}_3 \text{ o } \text{C}_6\text{H}_5$	Fluidas, lubricantes, antiadherentes, débilmente tóxicas	Fluidos de transformadores eléctricos, masillas, moldeados complejos, revestimientos, antiadherentes, barnices, ceras, tratamiento de quemaduras, cirugía estética
Poliésteres	$-\text{R}-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{R}'-\text{O}-\text{C}(=\text{O})-\text{R}-$ Siendo R y R' dos grupos de átomos	Termoendurecibles, transparente, con buenas propiedades mecánicas a temperaturas elevadas, propiedades eléctricas, resistentes a los golpes, fáciles de mecanizar	Productos textiles, envases, botellas, interruptores, tomas y fusibles de circuitos de alta tensión, prótesis

Principales materiales plásticos (reciclables)

CUADRO 2.14

<p>1. PET POLIETILENO TEREFTALATO</p>	<p>Se produce a partir del ácido terelálico y etilenglicol por policondensación. Existen dos tipos: grado textil y grado botella. Para el grado botella, se lo debe poscondensar Hay diversos colores para estos usos</p>	<p>Envases de gaseosas, aceites, agua mineral, cosmética, frascos varios (mayonesa, salsas) películas transparentes, fibras textiles, laminados de barrera (productos alimenticios), envases al vacío, bolsas de horno, bandejas de microondas, cintas de video y audio, geotextiles (pavimentación/caminos), películas radiográficas</p>
<p>2. PEAD POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD</p>	<p>El polietileno de alta densidad es un termoplástico fabricado a partir del etileno (elaborado a partir del etano, uno de los componentes del gas natural). Es versátil y se puede transformar mediante las formas: inyección, soplado, extrusión o rotomoldeo</p>	<p>Envases para detergentes, lavandina, aceites automotor, champú, lácteos, bolsas para supermercados, bazar y menaje, cajones para pescados, gaseosas y cervezas, baldes para pintura, helados, aceites, tambores, caños para gas, telefonía, agua potable, minería drenaje y uso sanitario, macetas, bolsas tejidas</p>
<p>3. PVC CLORURO DE POLIVINILO</p>	<p>Se produce a partir de dos materias primas naturales: gas (43%) y sal común* (57%) En su procesado, es necesario fabricar compuestos con aditivos especiales que obtienen productos de variadas propiedades para un gran número de aplicaciones Se obtienen productos rígidos o totalmente flexibles (inyección-extrusión-soplado) (* cloruro de sodio (2 NaCl))</p>	<p>Envases de agua mineral, aceites, jugos, mayonesa, perfiles de marcos de ventanas, puertas, caños de desagües domiciliarios y de redes, mangueras, blíster de medicamentos, pilas, juguetes, envolturas de golosinas, películas flexibles de envasado (carnes, fiambres, verduras), film, cobertura, cables, cuerina, papel vinílico (decoración), catéteres, bolsas de sangre</p>
<p>4. PEBD POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD</p>	<p>Se produce a partir del gas natural. Al igual que el PEAD, es versátil y se procesa de diversas formas: inyección, soplado, extrusión y rotomoldeo Su transparencia, flexibilidad, tenacidad y economía hacen que esté presente en distintos envases, solo o en conjunto con otros materiales y aplicaciones</p>	<p>Bolsas (de supermercado, boutique, panificación, congelados industriales), películas de agro (recubrimiento de acequias), envasamiento automático de alimentos y productos industriales (leche, agua, plásticos), <i>streech film</i>, base de pañales descartables, bolsas de suero, contenedores herméticos domésticos, tubos y pomos (cosméticos, medicamentos y alimentos), tuberías de riego</p>
<p>5. PP POLIPROPILENO</p>	<p>Termoplástico obtenido por polimerización del propileno. Los copolímeros se forman al agregar etileno durante el proceso El PP es un plástico rígido de alta cristalinidad y elevado punto de fusión, excelente resistencia química y baja densidad Al adicionarle distintas cargas (talco, caucho, fibra de vidrio), se potencian sus propiedades hasta transformarlo en un polímero de ingeniería (El PP es transformado en la industria por los procesos de inyección, soplado y extrusión/ termoformado)</p>	<p>Película/film (de alimentos, snacks, cigarrillos, chicles, golosinas, indumentaria), bolsas tejidas (de papas, cereales), envases industriales (big bag), hilos cabos, cordelería, caños de agua caliente, jeringas descartables, tapas en general, envases, bazar y menaje cajones de bebidas, baldes de pintura, helados, potes de margarina, fibras de tapicería, cubrecamas, telas no tejidas (pañales descartables), alfombras, cajas de batería, paragolpes y autopartes</p>
<p>6. PS POLIESTIRENO</p>	<p>PS cristal: polímero de estireno monómero (derivado del petróleo), cristalino y de alto brillo PS alto impacto: polímero de estireno monómero con oclusiones de polibutadieno que le confiere alta resistencia al impacto. Ambos son fácilmente moldeables a través de procesos de inyección, extrusión/ termoformado, soplado</p>	<p>Potes lácteos (yogurt, postres), helados, dulces, envases varios, vasos, bandejas de supermercados y rotiserías, heladeras, contrapuestas, anaqueles. Cosmética: envases, máquinas de afeitar descartables. Bazar platos, cubiertos, bandejas, juguetes, cassetes, blisters, aislantes planchas de PS espumado</p>

4. Textiles

4.1. Generalidades de las fibras textiles

Se denominan fibras textiles a las fibras naturales o artificiales con las que se pueden obtener hilados, tejidos, mallas, cuerdas y otras manufacturas semejantes. Estas fibras son, en general, cortas, de menos de 50 mm de largo, con espesores del orden de las 50 micras.

Antes de utilizar las fibras para fabricar los tejidos, es necesario obtener de ellas hilos continuos de diámetro adecuado para la *urdimbre* (conjunto de hilos paralelos dispuestos en el sentido del largo del tejido) y la *trama* (hilos que cruzan el tejido), clases de hilos que, entrecruzados, forman fundamentalmente los tejidos.

Los *hilos* se forman al agrupar ordenadamente las fibras para que compongan una sección sensiblemente uniforme y, después, al torcer el conjunto para que aumente la fricción entre las fibras y darle así al hilo resistencia a la tracción. Antiguamente, esta operación se realizaba a mano, con el huso y la rueca, pero en la actualidad, el *hilado* se hace a máquina, mediante un proceso bastante complicado, en el que, por medio de estirajes y torsiones sucesivas, se obtienen hilos de diámetros y resistencias suficientemente uniformes.

4.2. Características fundamentales de las fibras textiles

Además de la clase de fibra y de su calidad intrínseca, los textiles se distinguen por tres características fundamentales: la numeración del hilo, el sentido de torsión de las fibras y su resistencia a la tracción.

4.2.1. Numeración de las fibras e hilos en función de su grosor

El grosor de las fibras y de los hilos textiles no es posible valorarlo con sólo medir su diámetro, porque a escala microscópica resultan de secciones irregulares. Por ello, se recurre, para valorar el grosor, a un método indirecto, basado en hallar la longitud de un hilo o fibra que equilibre un peso determinado (método inverso) o el peso de la fibra o hilo de una longitud determinada (método directo). Los valores obtenidos por cualquiera de dos métodos se denominan numeración del hilo.

La magnitud de los pesos, en el método inverso, o de las longitudes de fibra o hilo en el método directo, varían según los países y las clases de fibra. En el Cuadro 2.15, resumimos las principales numeraciones empleadas de los hilos, de las cuales las más importantes son: el número métrico, el denier y el tex.

4.2.1.1. El número métrico (Nm)

Expresa el número de kilómetros del material textil que equilibran un kilogramo. Es una numeración inversa, puesto que los Nm serán más elevados, cuanto más finos sean los hilos.

4.2.1.2. El denier (Td)

Es el peso en gramos de 9000 m de hilo. Es, por tanto, una numeración directa. Se emplea principalmente en seda, rayón, nylon, etc.

4.2.1.3. El tex

Es el peso en gramos de 1000 m de hilo. Es también una numeración directa. La tendencia actual es a utilizar el tex, única y exclusivamente, en cualquier clase de fibras e hilos.

Características de los principales sistemas de numeración de los hilados

CUADRO 2.15

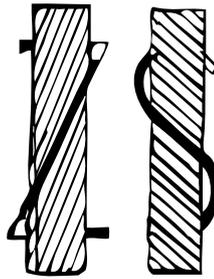
	DENOMINACIÓN Y EMPLEO	CONSTANTES (MADEJA N° 1)		1 M DE HILO DEL NÚMERO	FÓRMULA PARTICULAR DEL SISTEMA *
		PESO BASE (GRAMOS)	LONGITUD BASE (METROS)	1 PESO GRAMOS	
DIRECTOS	TEX (todas las fibras)	1	1000	0,001	T = 1000 P/L
	DENIER (seda, rayón)	1	9000	0,00011	T = 9000 P/L
	LANA CARDADA (español)	1	504	0,002	T = 504 P/L
	ALGODÓN EN CUARTOS (español)	8,33 (1/4 onza)	777,5 (500 canas cat)	0,107	T = 93,337 P/L
INVERSOS	MÉTRICO INVERSO (todas las fibras)	1000	1000	1	T = L/P
	ALGODÓN INGLÉS	454 (1 libra)	768 (840 y)	0,59	T = 0,59 L/P
	ALGODÓN ESPAÑOL	440 (1,1 libra cat)	777,5 (500 canas cat)	0,566	T = 0,566 L/P
	ALGODÓN FRANCÉS	500	1000	0,50	T = 0,50 L/P
	LINO, CÁÑAMO Y YUTE INGLÉS	454	274 (300 y)	1,654	T = 1,654 L/P
	AMIANTO	1000	100	10	T = 10 L/P
* L = longitud en metros P = peso en gramos					

Si denominamos p_e al peso específico del material de la fibra, se obtendrá, evidentemente, $L \times p_e = R$. Si el número métrico (Nm) equilibra 1000 gramos de fibra, la longitud de rotura L equilibrará la carga R_g .

$$L = \frac{R_g \times Nm}{1000}$$

4.2.2. Sentido de la torsión de los hilos

Se expresa por los símbolos normalizados S y Z (Figura 2.21). El trazo oblicuo de estas dos letras indica el sentido de inclinación de las espiras observadas en la superficie del hilo:

Sentido de torsión de los hilos**FIGURA 2.21****4.2.3. Resistencia a la tracción de las fibras y de los hilos**

Se expresa en gramos por milímetro cuadrado (R_g/mm^2) o bien en longitud de rotura en metros (L) o en kilómetros (LKm), que es la longitud mínima de un hilo puesto vertical, el cual se rompe bajo la acción exclusiva de su propio peso.

4.3. Clases de fibras

Las fibras textiles pueden clasificarse en dos grandes grupos: (1) *las fibras naturales*, obtenidas directamente en la naturaleza, con pequeñas manipulaciones mecánicas, y (2) *las fibras artificiales*, producidas por transformaciones químicas.

4.3.1. Fibras naturales

Se pueden subdividir en fibras de origen vegetal, animal y mineral.

4.3.1.1. Fibras de origen vegetal

Se distinguen de las demás por su comportamiento en la combustión: las fibras vegetales arden de un modo continuo aunque se les aleje la llama que dejan pocas cenizas; las fibras animales, cuando arden, producen una ligera crepitación y se apagan si se les aleja la llama, además, desprenden olor a pelos quemados y dejan un residuo esponjoso. La única fibra mineral conocida, que es el amianto, es incombustible. Para su mejor estudio, se clasifican en tres clases: (a) fibras procedentes de los *frutos de las plantas* (algodón, kapoc o miraguano y coco), (b) fibras procedentes de los *tallos de las plantas* (lino, cáñamo, ramio, yute y retama) y (c) fibras procedentes de las *hojas de las plantas* (sisal, esparto y cáñamo de Manila o abacá).

4.3.1.2. Fibras de origen animal

Son las lanas (producidas por las ovejas), los pelos (producidos por las cabras, camellos, vacas) y la seda natural (producida por los gusanos de seda, que es la única fibra natural continua).

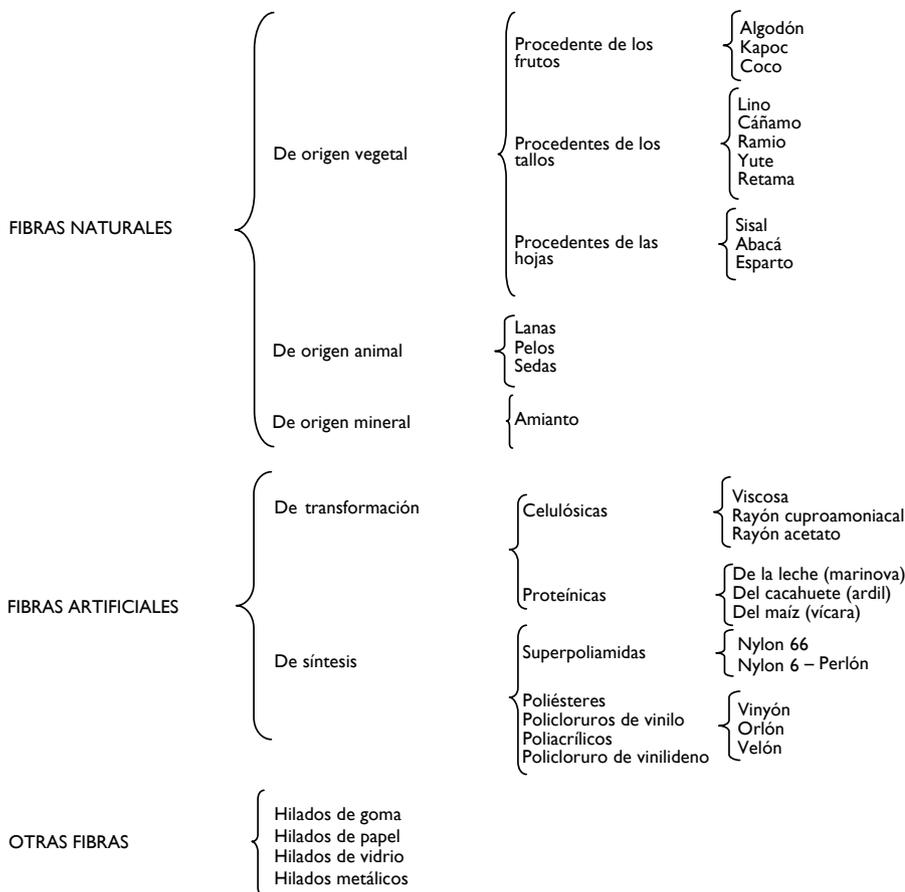
4.3.1.3. Fibras artificiales

Pueden derivarse directamente de materiales naturales por transformación química, como la viscosa, el acetato de celulosa y las fibras proteínicas, o bien son productos de la *síntesis*, por la polimerización de determinados monómeros como las superpoliamidas, los poliésteres, el policloruro de vinilo, los poliacrílicos y el cloruro de vinilideno.

En el Cuadro 2.16, se resume el conjunto de esta clasificación. Además, en el Cuadro 2.17, se sintetizan las fibras textiles más comunes:

Clasificación de las fibras textiles

CUADRO 2.16



Características de las fibras textiles más corrientes

CUADRO 2.17

FIBRAS E HILADOS	Nº (A)	NÚMERO MÉTRICO INVERSO (B)	CARGA DE ROTURA GRAMOS (C)	LONGITUD DE ROTURA METROS (D)	ALARGAMIENTO A LA ROTURA (%)	INVESTIGADOR
Algodón (fibra elemental)	---	7100	4,4	31 240	9	Textile Institute
Lino (fibras grupos)	---	80	762	60 960	1,60	Johannsen
Caña (fibras grupos)	---	30	2067	62 100	1,70	Bergmann
Ramio (fibras)	---	---	---	33 000	2,7	Heerman
Yute (hilado crudo)	10 ingl	6,05	2120	12 820	---	Grabner
Lana (merino AAA, fibra elemental)	---	3000	4	12 000	42	Tanzer
Seda (seda italiana, filamentos elementales)	3,5 den	2571	11	28 281	---	R. Stazione Sper. Seta
Hilos de papel (celulosa al sulfito)	---	6,5	585	3802	5,33	Grabner
Hilo de acero	Sec. l mm ²	0,125	200 000	25 000	---	G. Colombo

5. Especificidades de las fibras naturales

5.1. El algodón

La fibra denominada algodón se obtiene de los frutos de la planta de este mismo nombre, el género *Gossypium*, familia de las *Malváceas*, de la que existe gran número de variedades, desde la planta perenne, la cual mide de 3 a 6 m de altura, hasta la anual, que es la más cultivada, que mide 0,30 a 1,550 m. Esta planta se cultiva preferentemente en zonas cálidas.

El fruto del algodón está formado por una cápsula coriácea, de 3 a 4 veces mayor que una nuez, la cual se abre al madurar y contiene las fibras del algodón, presentes como si fuesen pelos de las semillas.

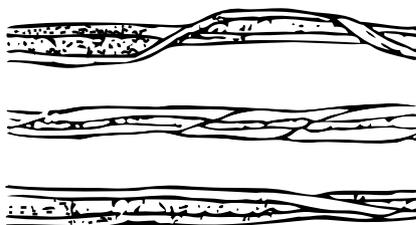
El principal producto obtenido del algodón es la fibra, pero también se aprovecha la semilla, que, aproximadamente, pesa doble que la fibra y de la cual, reducida a polvo y prensada, se obtiene hasta 13% de su peso en aceite útil para diversas aplicaciones industriales e incluso para mezclarlo con el de oliva. Las tortas o turtos, procedentes del prensado de la semilla de algodón, se utilizan en la alimentación del ganado, debido a su alta riqueza en proteínas.

5.1.1. Características de las fibras del algodón

Las fibras de algodón son expansiones unicelulares de las células epidérmicas de la semilla; tienen forma de tubo microscópico, aparentemente retorcido y ligeramente aplastado (Figura 2.22); son de color blanco, excepto algunas variedades de China, las cuales son amarillas, y otras del Brasil y Perú, que son rosáceas. Su longitud es de 20 a 40 mm; su diámetro de 5 a 20 micras, su peso por fibra, de 0,0028 a 0,0075 mg y su densidad es 1,54.

Fibras de algodón

FIGURA 2.22



5.1.2. Clasificación de los algodones

Comercialmente, se clasifican por la calidad de la fibra y longitud. Su calidad varía según la región de donde proceden, aunque se mantienen calidades fijas. Por ejemplo, existe una calidad denominada *Jurnel*, de Egipto; *Black Cotton Soil*, de Estados Unidos; *Dhollera*, de la India, entre otras.

Con cada calidad, existen subdivisiones más precisas, que varían también según la región. En el Cuadro 2.18, se presenta la clasificación de los algodones procedentes de Estados Unidos, Brasil, Egipto e India.

Clasificación comercial de los algodones

CUADRO 2.18

ESTADOS UNIDOS	BRASIL	EGIPTO-ESMIRNA	INDIA
<i>Good ordinary</i>			
<i>Strict good ordinary</i>		<i>Ordinary</i>	<i>Fair</i>
<i>Low middling</i>	<i>Middling</i>	<i>Middling</i>	<i>Fully</i>
<i>Strict low middling</i>	<i>Middling fair</i>	<i>Fair</i>	<i>Fair good</i>
<i>Middling</i>	<i>Fair</i>	<i>Good fair</i>	<i>Fully good fair</i>
<i>Strict middling</i>	<i>Good</i>	<i>Good</i>	<i>Good</i>
<i>Good middling</i>	<i>Fine</i>	<i>Fine</i>	<i>Fully good fine</i>
<i>Strict good middling</i>	<i>Good fair</i>	<i>Extra Fine</i>	
<i>Middling fair</i>			

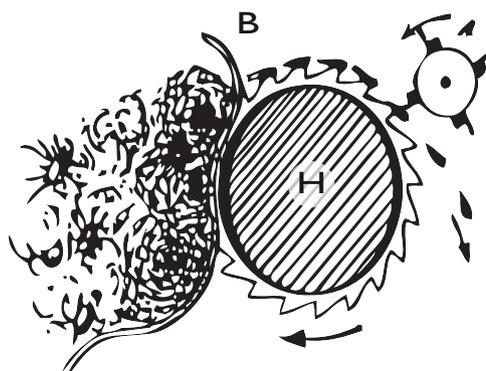
5.1.3. Extracción de la fibra de algodón

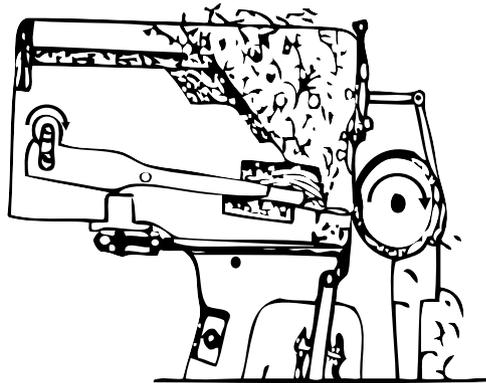
La extracción de algodón requiere las siguientes operaciones:

- *Recolección:* de la fibra con la semilla, a mano o neumáticamente.
- *Desgranado:* por medio de desgranadoras de sierra, para los algodones de fibra corta (Figura 2.23) o por desgranadoras de cilindro, para los algodones de fibras largas (Figura 2.24). Con esta operación se separan las fibras de las semillas.
- *Depilado:* realizado en máquinas similares a las desgranadoras, con el que se recuperan las fibrillas denominadas línteres, todavía sujetas a la semilla.
- *Prensado:* las fibras de algodón, ya separadas, se prensan con potentes prensas hidráulicas para formar balas de 220 kg, en España; 524 libras (237,6 kg), en Estados Unidos; 400 libras (181,4 kg), en la India, y 740 libras (335,7 kg), en Egipto.

Desgranadora de sierra para algodón

FIGURA 2.23



Desgranadora de cilindros para algodón**FIGURA 2.24****5.1.4. Aplicaciones del algodón**

El algodón es la fibra más utilizada, hasta el punto de que su consumo por habitante es un índice del nivel de vida de una población.

El consumo de algodón creció más de 25 veces durante el siglo XX, lo que superó, con creces, al de la lana. Hace un siglo, el consumo de algodón y lana estaba en la proporción de 22 a 78 y actualmente la proporción es de 74 a 26. Esto ha sido debido, además de sus excelentes cualidades, a que es poco exigente en mano de obra y puede mezclarse con otras fibras.

5.2. El kapoc o miraguano

La fibra denominada kapoc, y en España miraguano, también se conoce con los nombres de seda, lana vegetal o seda algodón. Esta fibra procede de los frutos de la Ceiba Pentendra de Java y de varias especies del género Bombax, de la familia de las bombáceas, cultivadas en Ceylán. Los árboles productores de esta fibra dan frutos en forma de plátano, de 8 a 15 cm de longitud, divididos en compartimientos repletos de fibra que envuelve la semilla, pero sin hallarse adherida a ella como ocurre en el algodón.

5.2.1. Características de las fibras de kapoc

Las fibras de kapoc tienen color gris o blanco amarillento y son brillantes, sedosas, flexibles, elásticas e impermeables. Están constituidas por filamentos unicelulares huecos llenos a trozos con burbujas de aire. Su densidad efectiva es 1,5, pero su densidad aparente es sólo de 0,170 a 0,230. La longitud de la fibra varía de 15 a 25 mm y su diámetro oscila entre 20 a 25 micras, con espesores de paredes de sólo 1 micra.

5.2.2. Aplicaciones del kapoc

Esta fibra se utiliza en el relleno de almohadones y edredones, por su flexibilidad y poco peso. También, se usa en la fabricación de salvavidas, en cuya aplicación sustituye ventajosamente al corcho, porque es capaz de soportar, en el agua, 20 veces su peso. Asimismo, se utiliza en el acolchado de trajes de aviadores y fabricación de fieltros y cartones calorífugos e insonoros.

Se ha intentado hilar esta fibra, sin conseguirlo, porque es demasiado lisa y corta. Ni siquiera al mezclarla con elevados porcentajes de fibra de algodón, se ha conseguido un hilado uniforme y homogéneo.

5.3. El coco

La fibra denominada *coco* proviene de la capa cortical de los frutos del mismo nombre, producida por los cocoteros (*Cocos nucifera*), que son árboles tropicales cultivados en Ceylán y Polinesia. Los cocos están revestidos de una capa formada por filamentos de 10 a 35 cm de longitud, que, una vez separados del fruto, se estrían, se peinan y se clasifican por longitudes. Estos filamentos están formados por haces de fibras elementales difíciles de separar entre sí y cuya longitud es cortísima (0,4 a 1 mm) y un diámetro de 5 a 24 micras. Los filamentos del coco se emplean principalmente en la fabricación de esteras y felpudos, por un procedimiento similar al de los terciopelos, pero más vasto.

5.4. El lino

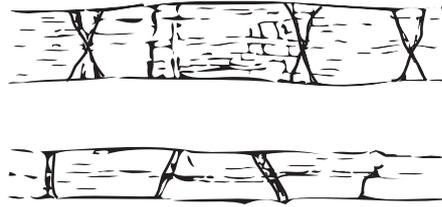
El lino se extrae de los tallos de la planta de este mismo nombre (*Linum Ursitasissimum*), de la familia de las lináceas, planta anual herbácea, de una altura aproximada de 1 m y generalmente de un único tallo.

Se cultiva la planta del lino para obtener fibras textiles y semillas; pero, si se intensifica la producción de uno de los dos productos, se perjudica la del otro. La primicia de uno u otro se produce según el clima, temperatura, naturaleza del terreno y sistema de cultivo. En las regiones de clima templado y húmedo, como Holanda, Bélgica, litoral francés y Silesia, se cultiva el lino para producir fibra. En cambio, en el centro de Estados Unidos, Argentina, India, Italia y España (Andalucía), se cultiva en la producción de semillas, de las cuales, al ser prensadas, se obtiene el aceite de linaza, que puede convertirse en comestible, pero que generalmente se emplea, cocido, en la fabricación de barnices y colores. Asimismo, se utiliza, mezclado con polvo de corcho, en la impregnación de tejidos fuertes de yute, al formar un revestimiento de pavimentos conocido con el nombre de *linóleo*. La torta o turtó, que queda después de la extracción del aceite, se emplea en la alimentación del ganado.

5.4.1. Características de las fibras de lino

Estas fibras son generalmente de color blanco, pero hay variedades de otros colores, como gris oscuro, verde amarillo, rubio, marrón claro y rosado. Su longitud media es de 20 a 50 mm y su diámetro varía según la parte de la planta extraída. Las más gruesas, de unas 50 micras, son de la base del tronco; las intermedias, de 25 micras, son de la parte media, y las más finas, de 15 micras, de la parte superior. Examinadas al microscopio, se presentan en forma de largos tubitos de extremos puntiagudos, con estriados transversales simples o cruzado en equis (Figura 2.25).

Químicamente, las fibras del lino están formadas por 72% de celulosa, 19% de hemicelulosa, 6% de pectina y 3% de ceras. Su densidad efectiva es 1,5 y su densidad aparente, 1 a 1,2. El lino es menos aislante del calor que otras fibras y, por eso, los vestidos tejidos con hilo de lino dan sensación de frescura.

Fibras del lino**FIGURA 2.25****5.4.2. Extracción de las fibras del lino**

La extracción de las fibras del lino abarca las siguientes operaciones: recolección, enriado o macerado, agramado y rastrillado o peinado.

5.4.2.1. Recolección

Las plantas destinadas al aprovechamiento de sus fibras se arrancan antes de llegar a la madurez de las semillas, al dejarlas secar sobre el mismo campo, desgranarlas y separar las hojas laterales de los tallos.

5.4.2.2. Enriado o macerado

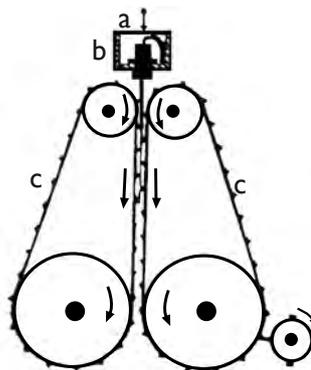
Los tallos del lino se maceran, al dejarlos sobre el terreno si se produce rocío, en estanques o en agua corriente. También, se pueden macerar con agua caliente en depósitos adecuados. El objetivo de esta operación consiste en fomentar el cultivo de bacilos que ablandan la corteza fina que protege el liber, formado por las fibras del lino, y la materia aglutinante que agrupa las fibras para poder separarlas con facilidad.

5.4.2.3 Agramado

Consiste en romper los tallos longitudinalmente, al separar los fragmentos leñosos. Esta operación puede realizarse a mano o en agramadoras mecánicas.

5.4.2.4. Rastrillado o peinado

Una vez desprendida la corteza y desgajado el liber, en haces de fibras, se pasan por púas fijadas verticalmente sobre un banco, para aislar las fibras elementales. La operación se realiza eficazmente por medio de las rastrilladoras mecánicas (Figura 2.26).

Rastrilladora mecánica**FIGURA 2.26**

5.4.3. Aplicaciones del lino

El lino es más resistente que el algodón y más fresco, pero menos elástico. Se emplea principalmente en la fabricación de tela para vestidos, ropa de cama, pañuelos, mantelerías, etc.

5.5. El cáñamo

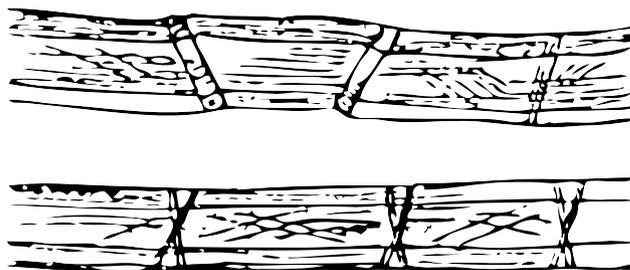
Se obtiene de los tallos de la planta del mismo nombre (*Cannabis Sativa*), de la familia de las urticáceas. Es una planta anual dioica (plantas masculinas y femeninas) de 2 a 3 m de altura, cultivada preferentemente en climas templados, como los de la costa mediterránea de España, Italia y Francia.

5.5.1. Características de las fibras de cáñamo

Las fibras de cáñamo son, en color y forma, parecidas a las del lino, aunque más bastas, largas y resistentes. Se diferencian en que la extremidad de las fibras del lino es puntiaguda y las de cáñamo redondeada (Figura 2.27). Su longitud media es de 28 mm y varía de 8 a 55 mm. Su diámetro máximo es de 60 micras, medio de 35 micras y mínimo de 7. Su densidad aparente es de 0,85 a 1. Químicamente, están formadas por 86% de celulosa, 8% de pectinas, ceras y hemicelulosa con 6% de lignina.

Fibras de cáñamo

FIGURA 2.27



5.5.2. Extracción de las fibras de cáñamo

Su obtención se da de una manera similar a las del lino, por enriado o maceración natural o artificial, por medio de cultivos de microbios macerantes como el bacilo *Fersinus*, vertido en agua mantenida de 25° a 38° C de temperatura. Después, se realiza el agramado para retirar la corteza y separar los haces de fibras y, por fin, el rastrillado o peinado para aislar las fibras elementales.

El cáñamo verde se obtiene de tallos no macerados. En realidad, son filamentos de haces de fibras y no de fibras elementales. El rendimiento obtenido es doble a diferencia del cáñamo normal, pero solo sirve para tejidos bastos.

5.5.3. Aplicaciones del cáñamo

El cáñamo se emplea en la fabricación de telas bastas, así como para cortinas, sacos, telas de embalaje, mangueras de incendio y, sobre todo, en la fabricación de cuerdas.

5.6. El ramio

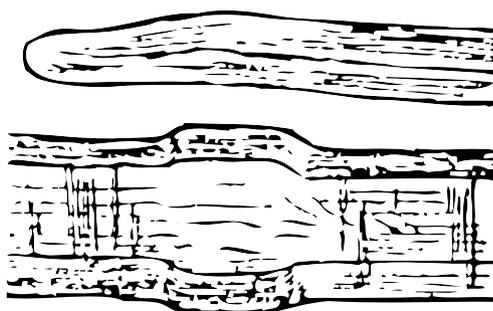
La fibra denominada ramio se extrae de los tallos de la planta de este nombre, conocida como china-grass, de la familia de las urticáceas. La especie más conocida es la *Bohmeria Nivea*, planta perenne que dura de 20 a 30 años, producida en China y Sur de Asia. Las hojas del ramio son, además, un excelente alimento para los animales, debido a su riqueza en calcio.

5.6.1. Características de las fibras del ramio

Son unicelulares, de sección elíptica alargada (Figura 2.28). Su longitud varía de 50 a 300 mm, con un diámetro máximo de 80 a 100 micras, medio de 50 a 60 micras y mínimo de 18 micras, con canales interiores de diámetros respectivos 55-105, 36 y 9 micras. Su densidad aparente es 1.1. Químicamente, está compuesto de 99% de celulosa. Es una fibra imputrescible y resistente a los agentes químicos.

Fibras de ramio

FIGURA 2.28



5.6.2. Extracción de la fibra de ramio

El ramio tiene una corteza dura e impermeable a los bacilos fermentadores, por lo que el descortezado debe hacerse a mano. Después, sigue una operación denominada desgomado, que se realiza al sumergir los tallos en baños alcalinos, para terminar con lavados enérgicos y eliminar las materias pépticas. Seguidamente, se realiza el agramado y el peinado.

5.6.3. Aplicaciones del ramio

El ramio tiene excelentes cualidades, aunque, por las dificultades de la extracción de su fibra, que no se ha podido mecanizar totalmente, apenas se emplea en fabricaciones industriales. La fibra de ramio, obtenida por procedimientos artesanos, se utiliza en el tejido de mantelerías y, sobre todo, correas y cuerdas imputrescibles.

5.7. El yute

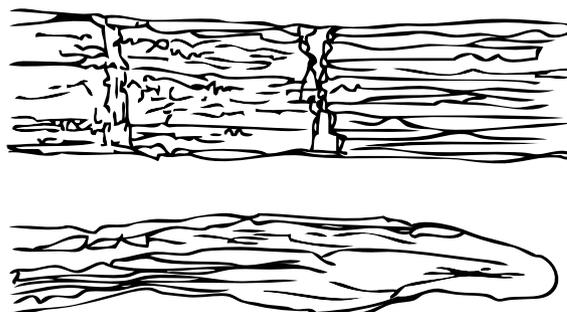
La fibra del yute se extrae de los tallos de la planta del mismo nombre, de la familia de las tiliáceas, que, en su desarrollo, alcanza los 2 a 3 m de altura. La especie *Corchorum Capsularis* es blanca y la *Corchorum Olitorius* es roja. Ambas se cultivan en la India.

5.7.1. Características de las fibras de yute

La fibra de yute más empleada es la variedad blanca, oscurecida con el tiempo. Se presenta en haces lignificados de fibras elementales, incluso después del rastrillado. Las fibras elementales son de sección poligonal (Figura 2.29), de un grueso aproximado máximo de 30 micras, medio de 24 micras y mínimo de 12 micras. Su longitud oscila alrededor de 2 mm, por lo que son muy cortas. Su densidad aparente es de 0,85. Químicamente, se componen de 64-78% de celulosa, 11 a 14% de lignina, 10 a 12% de pentosanas y 0,3% de ceras.

Fibras de yute

FIGURA 2.29



5.7.2. Extracción del yute

El macerado de los tallos se realiza en estanques o en ríos próximos a la zona de cultivo, donde se lleva a cabo, además, el descortezado y desfibrado elemental. Después, la hilaza se exporta en balas y, en las fábricas de hilados, se llevan a cabo las demás operaciones.

5.7.3. Aplicaciones del yute

Esta fibra resiste mal el calor húmedo, pues la atacan los microorganismos. Se emplea en la fabricación de cuerdas, de telas bastas de embalajes y esteras; además, pueden colorearse perfectamente, porque el yute admite y fija bien los colorantes derivados del alquitrán.

5.8. La retama

Arbusto desarrollado principalmente en España y Francia, en terrenos arenosos y secos. De sus tallos se extraen fibras cortas, con grosor de 10 a 30 micras, granulaciones y, a veces, con pliegues parecidos a la fibra del algodón.

La extracción de la fibra se realiza por maceración, descortezado, agramado y rastrillado, similar a la extracción de la fibra de lino, pero más rudimentariamente, pues, en general, el aprovechamiento de esta fibra tiene carácter artesano.

5.8.1. Aplicaciones de la retama

Se emplea, principalmente, para la cordelería y, una vez ha sido blanqueada, para la fabricación de sábanas bastas.

5.9. El sisal

La fibra sisal debe su nombre al pequeño puerto de Sisal (Yucatán), por donde se exporta. Se extrae de las hojas de una planta del género *Agave*, familia de las *amarilidáceas*, y la más conocida es la *Agave Sisalina*.

Es una planta dotada de hojas carnosas de una longitud de 0,50 a 2 m que terminan en fuertes agujones y, a veces, llevan espinas sus bordes laterales. Se desarrolla mayormente en México, en terrenos áridos, pues no exige ningún riego, sólo basta el rocío que se deposita en sus hojas, deslizado hasta sus raíces.

5.9.1. Características de la fibra del sisal

La fibra del sisal es dura y de color blanco, de una longitud de 2,5 a 5 mm y sección poligonal, con un grueso de 20 a 30 micras. Químicamente, está formada por 75% de celulosa, 6,5% de lignina y 15 a 18% de pentosana. Su densidad aparente es 0,7.

5.9.2. Extracción de la fibra del sisal

La extracción de esta fibra se realiza por procedimientos primitivos. Después de haber secado la hoja al sol, se la somete a operaciones de magullamiento, batido, raspado y rastrillado, hasta aislar la fibra.

5.9.3. Aplicaciones del sisal

La fibra de sisal, a igualdad de peso, es más fuerte que la de cáñamo. Se emplea en la confección de tejidos bastos, como sacos, telas de embalaje, esteras, cepillos, etc., pero su principal aplicación es la fabricación de cuerdas industriales y, sobre todo, en aplicaciones agrícolas. Así, por ejemplo, las gavillas de los cereales se atan con hilo de sisal.

5.10. El cáñamo de manila o abacá

La fibra conocida por cáñamo de manila o abacá se extrae de las hojas de la *Musa Textiles*, extensa planta de la familia de las *musáceas*, desarrolladas principalmente en Filipinas y exportadas por el puerto de Manila, al que debe su nombre.

5.10.1. Características de la fibra del cáñamo de manila

Las fibras de esta planta están formadas por haces indivisibles de fibras elementales, con una longitud de 2 a 4 m y diámetros de 5 a 30 mm.

Según se extraigan las fibras de la cara interna, media o externa, las fibras son más o menos gruesas. Su color varía del amarillo al pardo. Su resistencia es parecida a la del cáñamo común, pero mayor a la humedad, porque es inalterable, incluso en atmósferas marinas.

5.10.2. Aplicaciones del cáñamo de manila

Esta fibra se emplea, principalmente, en la fabricación de cuerdas y cables, para la marina y para las minas. Una vez blanqueadas y elegidas las más finas, se utilizan en la confección de sombreros de señora.

5.11. El esparto

La fibra del esparto se extrae de la hoja de la *Stipa Tenacisima*, planta esteparia desarrollada principalmente en España, Argelia, Túnez y Trípoli. Sus hojas alcanzan longitudes del 1 m y 4 a 5 mm de anchura. Una vez secas al sol, se arrollan sobre su eje de modo filiforme.

5.11.1. Características de las fibras de esparto

Sus filamentos están formados por fibras elementales cortas, de 1 a 2 mm de longitud y 8 a 13 micras de espesor, agrupadas fuertemente y difíciles de separar.

5.11.2. Aplicaciones del esparto

España es el primer país productor de esparto, cuya recolección supera las 100 000 t anuales, lo que representa más de 50% de la producción mundial. Sus filamentos se utilizan en la fabricación de esteras, cepillos, etc. Para utilizar el esparto en cordelería, es preciso desintegrar los filamentos por lo menos parcialmente; sin embargo, su principal aplicación consiste en ser materia prima para la fabricación del papel.

5.12. La lana y sus características

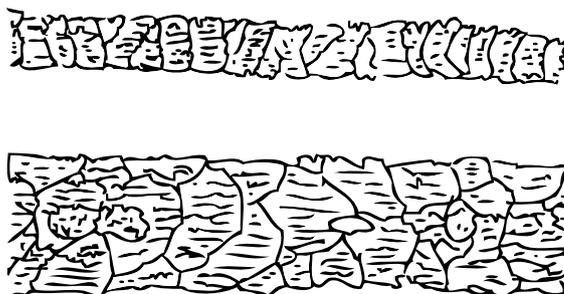
Se denomina lana a los filamentos que crecen sobre el cuerpo del ganado lanar (*Ovis Aries*). Sus fibras son de un color blanco amarillento, pero también hay lana de color marrón y negro. Su longitud oscila entre 30 y 33 mm, con gruesos de 10 a 70 micras. Examinadas al microscopio las fibras de lana, se aprecia una cutícula formada por diminutas escamas imbricadas como las tejas de un tejado (Figura 2.30).

Además, estas fibras están atravesadas por numerosos canalillos a los que deben, en gran parte, su capacidad para absorber humedad hasta más de 40% de su peso. Esto se debe a que los tejidos de lana empapan el sudor, al dar la impresión de que permanecen secos, lo que produce una sensación de bienestar.

Si a esto se añade el rizado de las fibras, que favorece la retención de una cámara de aire aislante que hace calientes los tejidos de lana, se comprenderá la superioridad, desde el punto de vista higiénico, de esta fibra sobre las demás. El rizado de la fibra sirve también para mejorar su adherencia en los hilados.

Fibras de lana

FIGURA 2.30



La lana puede clasificarse, con arreglo, a las siguientes características:

5.12.2.1. Con arreglo a su procedencia

- *Lanas vivas*: procedentes de animales vivos, que son las mejores.
- *Lanas de pieles*: obtenidas de las pieles de animales muertos.
- *Lanas muertas*: procedentes de animales enfermos o flacos y desnutridos, que son las peores.

5.12.2.2. Con arreglo a su limpieza

- *Lanas suardas* o sucias: obtenidas en su estado natural.
- *Lanas lavadas* en vida o a lomo: obtenidas con lavado previo del animal.
- *Lanas parcialmente lavadas*: en el lugar de origen después del esquila.
- *Lanas lavadas*: a fondo con agua caliente alcalina.

5.12.2.3. Con arreglo a la finura y rizado de la fibra

Las lanas se clasifican según el diámetro de la fibra en micras, cuyas denominaciones dependen del país de procedencia de este material (Cuadro 2.19).

Clasificación de las lanas con arreglo a su diámetro

CUADRO 2.19

DIÁMETRO EN MICRAS	ONDULACIÓN (RIZADO POR PULGADA INGLESA)	CLASIFICACIÓN ITALIANA Y ALEMANA	CLASIFICACIÓN INGLESA	CLASIFICACIÓN FRANCESA	Nº MÉTRICO INVERSO DE LA FIBRA
10-15	26-32	AAAAA	110's	160	4100
15-16	22-30	AAAA	110's	150	4000
16-17	19-28	AAAA	100's	150	3900
17-18	17-27	AAAA-AAA	90-80's	140	3000
18-19	15-26	AAA-AA	80-70's	130	2600
20-22	12-22	AA	70-60's	120	2100
22-25	8-20	A	60-58's	105	1800
25-30	5-15	B-C'-C''	58-50's	I a III	1500
30-40		C''-D-E'	50-42's	III a VI	800
40-44		E''-F'	42-34'	Más de VI	550
45-73		F''		(Mazamet)	230

5.12.2.4. Con arreglo a la longitud de la fibra

Las lanas se clasifican, según su longitud, en las siguientes clases:

- *Lanas de carda*: de fibras demasiado cortas para ser peinadas, las cuales son utilizadas en tejidos cardados más o menos afeiltrados, como paños, caquis de ejército, terciopelos, bufandas, gabanes, franelas corrientes, etc.

- *Lanas peinadas (estambres)*: de fibra largas, las cuales son empleadas en la fabricación de tejidos sin pelos, con ligamentos visibles, como los *frescos* de verano, las telas de entretiempo, gabardinas, etc.

- *Lanas para relleno de colchones*: compuestas de fibras de 58 a 68 micras.

- *Lanas regeneradas o borra*: también conocidas como lanas artificiales, producto del aprovechamiento de trapos, retales, vestidos usados, que, una vez limpios, se trituran y deshilachan hasta convertirlos en fibras. Las procedentes de los tejidos de estambres (lanas peinadas) se denominan *shoday* y son de mejor calidad, mientras que las procedentes de los tejidos de carda, se denominan *mungo* y son de calidad inferior. También, se aprovechan los tejidos que son mezclas de lana y de algodón, tratados con ácido sulfúrico y calentados después de 80 °C a 130 °C, con lo que queda carbonizada la fibra del algodón y se obtiene una lana denominada *alpaca o extracto*.

5.12.3. Aplicación de la lana

Su principal aplicación es la fabricación de tejidos de cualquier clase, debido a sus excelentes condiciones de aislamiento térmico, capacidad para absorber la humedad, inarrugabilidad y facilidad para la producción de hilados y tejidos.

5.13. Pelos

Los pelos se diferencian de la lana, cuando carecen del rizado característico de aquélla. Se utilizan, aunque con carácter limitado, los pelos de los siguientes animales:

- *Pelos de cabra*: fibra más larga, resistente y lisa que la lana. El pelo de la cabra común es generalmente negro o blanco, de un diámetro de 30 a 80 micras. Se emplea en la fabricación de telas para armar los trajes. El pelo de cabra de Angora (mohair) es de color blanco, brillante y poco escamoso. Su longitud es de 150 mm y su diámetro es de 30 a 50 micras. Se emplea para imitar pieles y en la fabricación de correas de transmisión.

- *Pelos de camello, de llama, de alpaca y vicuña*: se emplean en la fabricación de correas de transmisión.

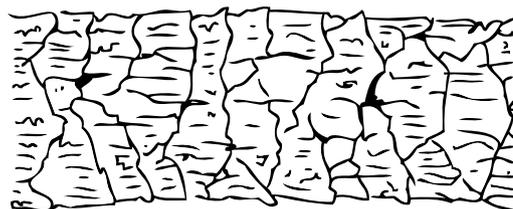
- *Pelos de vaca y de ternera*: empleados para fabricar materiales textiles de aplicación de tapicerías.

- *Pelo de caballo*: extraídos de las crines y colas de caballo, se emplean en la fabricación de arco de violín, brochas, tamices y telas para tapicerías.

- *Pelos de conejo y de liebre*: usados en la fabricación de fieltros de sombreros. Los pelos del conejo de Angora (Figura 2.32) son blancos y muy finos, de 8 a 14 micras y 5 a 7 cm de largo. Es una fibra voluminosa y ligera, empleada en la fabricación de géneros de punto.

Pelo de conejo de Angora

FIGURA 2.32



5.14. Las sedas

Filamentos secretados por ciertos animales de la familia de los *Bombícidos*, como el *Bombyx Mylitta*, criado en los bosques de Bengala y produce la seda tussah; el *Bombyx Cynthia*, criado en Japón y produce la seda *kursmusahi*, y el *Bombyx Mori*, el más importante, conocido ordinariamente con el nombre de gusano de seda o gusano de la morera, porque se alimenta exclusivamente de las hojas de este árbol.

El gusano de seda es el productor de la seda natural o seda verdadera y se cría en Japón, China, Italia y España, principalmente. Este gusano puede medir 75 a 90 mm al alcanzar su pleno desarrollo a los 30 días, en cuyo momento elige el lugar conveniente y empieza a secretar la seda, al mover la cabeza en forma de ocho; en menos de 30 horas, forma un recinto en torno a sí mismo, denominado capullo, para guarecerse durante su metamorfosis.

A los 15 días aproximadamente de haber empezado el capullo, se ha transformado en mariposa y abre un agujero, al apartar la fibra sin romperla y sale al exterior. Luego, la hembra, una vez fecundada por el macho, pone de 300 a 700 huevecillos en 3 días, al cabo de los cuales muere.

5.14.1. Características de la fibra de la seda

Única fibra natural continua, utilizada industrialmente. La hebra está constituida por dos filamentos de seda (fibroína) secretada por dos glándulas del gusano, cuyos conductos se unen antes de la salida, al quedar soldados por una especie de goma denominada sericina, la cual, si es incolora, produce seda blanca y si es amarilla, produce seda de este color. Cada uno de los filamentos de la hebra tiene forma triangular, con un espesor aproximado de 10 a 15 micras. El conjunto de los dos filamentos, o sea, la hebra, tiene un espesor de 15 a 25 micras, según la clase de capullo (Figura 2.33).

Fibras de seda

FIGURA 2.33



La resistencia mecánica de la seda es casi igual, en peso, a la del acero, pues, su longitud de rotura es de 35 a 40 km. Su alargamiento es de 25% y su densidad, 1,35.

Químicamente, es un polipéptido formado por aminoácidos, entre los que predominan la alanina, la serina y la glicocola, pero no está presente la cistina y, por tanto, no contiene azufre.

5.14.2. Extracción de la seda

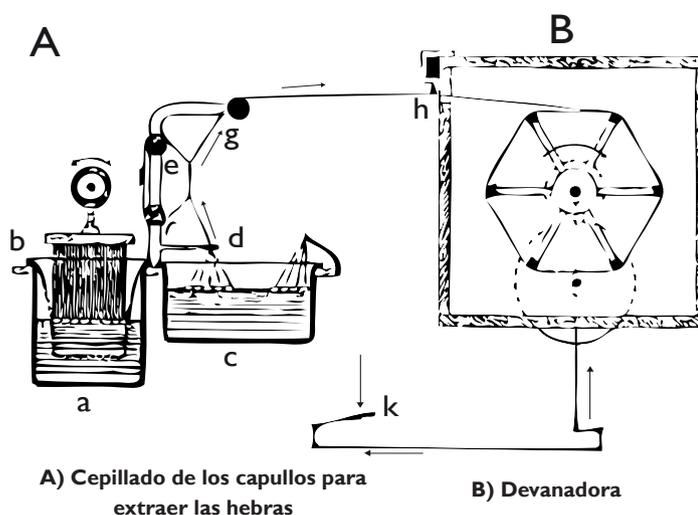
Para evitar que la crisálida deforme los capullos o rompa las hebras, se mata al gusano antes de salir del capullo, al introducirlos en un secadero de aire caliente, donde además se deseca la seda. La primera operación para extraer las hebras del capullo consiste en separar las fibras superficiales que han servido al gusano para fijar el capullo a las ramas y constituye una especie de borra que pasa a desperdicios.

Después, se introducen los capullos en agua caliente para macerarlos y reblandecer la sericina de la que están cargadas las fibras superficiales del capullo y así protegerlo de los agentes externos. A continuación, y con los capullos flotando en el agua, se baten con un cepillo hasta que prende en un cabo por donde empezar el devanado (Figura 2.34). Éste se realiza al doblar 3 a 6 hebras de otros capullos para fomentar el hilo de seda, que está compuesto, por tanto, de 3 a 6 hebras.

Los capullos pesan de 2 a 3 g, de los que sólo de 10 a 15% constituyen la seda, de la cual sólo se aprovecha algo más de la mitad, pues la parte exterior, como hemos dicho, se desecha. La longitud de las hebras de un capullo oscila entre 700 y 1000 m, que incluye la parte desechada y no devanada.

Hilado de la seda

FIGURA 2.34



5.14.3. Aplicaciones de la seda

La seda se emplea en la fabricación de tejidos de la más alta calidad, con hilos en forma de organdís, tramas, granadinas, crespones (crepés), etc.

Puede utilizarse en su color natural (seda natural) o teñida; además, admite cargas para darle peso hasta de 100%, al emplearse sales de estaño, cinc y hierro.

5.15. El amianto

Las fibras de amianto se obtienen al desmenuzar el mineral de este nombre, que es la variedad de fibras textiles de la *tremolita*. Hay otra variedad de fibras rígidas denominada asbesto. Químicamente, amianto y asbesto son complejos de silicatos de magnesio hidratados ($2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{MgO} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

El amianto se encuentra en España en los yacimientos de caliza de Nuria, Gerona, Almería, Sierra Nevada, pero, las 9/10 partes del amianto producido en el mundo proceden de las minas de Quebec, Canadá.

5.15.1. Características de las fibras del amianto

Las fibras del amianto son blancas, flexibles y untuosas al tacto. Su longitud es de 5 a 20 cm y su espesor inferior a 1 micra. Su peso específico es de 2,5 a 2,8. La resistencia mecánica a la tracción de las fibras del amianto es de 40 a 50 kg/mm², cifra extraordinaria para un producto no metálico, aunque, las cualidades más apreciadas del amianto son que es imputrescible e incombustible, pero se funde a la llama del soplete y resiste también la acción de los ácidos más enérgicos. Otra característica importante de este producto es su toxicidad, lo cual ha limitado su uso.

5.15.2. Aplicaciones del amianto

Las propiedades del amianto se conocen desde la antigüedad. Hace siglos, fue empleado en la preparación de telas incombustibles para envolver cadáveres; también se fabricaron manteles y servilletas, que fueron limpiados al someterlos al fuego. El amianto tiene una amplia gama de aplicaciones: fabricar tejidos de amianto solo o con mezcla de algodón, lana o seda, con los que confeccionan delantales y guantes de trabajo para los operarios de las fundiciones, etc.

Con el amianto de fibras cortas, se fabrican filtros para sustancias ácidas o álcalis concentrados; papeles incombustibles en los que se escribe con tinta de óxido de manganeso y sulfato ferroso, el cual no se borra ni se destruye con el fuego; en los cartones, recibe ayuda de algún aglutinante, utilizado como material aislante del calor y la electricidad, para juntas de tuberías de vapor, etc. También, se emplea el amianto, con mezcla de algodón generalmente, en la fabricación de cuerdas, que son algo más ligeras que las de cáñamo, pero sólo tienen 2/3 de la resistencia de éstas.

Finalmente, una de las más importantes aplicaciones del amianto es la fabricación del *fibrocemento* (uralita), inventado por el austríaco Hatschek; material compuesto por amianto y cemento, cuyas propiedades respectivas, combinadas, han generado un producto de cualidades sobresalientes, de elevada resistencia a la tracción, completamente imputrescible, inoxidable, incombustible, impermeable, resistente a los ácidos fuertes e inatacable por los ácidos diluidos, las bases y las sales. Su duración es prácticamente ilimitada, pues, con el tiempo no sólo se debilita, sino que aumenta su resistencia, debido al cemento que lo forma. El fibrocemento se ha empleado en la fabricación de placas onduladas de cubiertas de edificios, tuberías de distribución de agua y saneamiento de poblaciones, depósitos; actualmente, se está restringiendo su uso a nivel mundial debido a lo tóxico que es para los humanos.

6. Especificidades de las fibras artificiales

6.1. Fibras artificiales de transformación

Las fibras artificiales de transformación son las obtenidas de materiales naturales de dos clases:

- *Materiales celulósicos*, de los que se obtienen: *la viscosa, el rayón cuproamoniaco y el rayón acetato.*
- *Materiales proteínicos*, de los que se obtienen: *la merinova, el ardil y la vicara.*

6.1.1. Materiales celulósicos

6.1.1.1. Viscosa

Se obtiene de la pulpa de la madera y de los *línteres* (fibrillas de desecho del algodón y borra), que se transforman en celulosa ($C_6 H_{10} O_5)_n$, sólida y a la que es necesario hacer fluida o *viscosa* (de ahí su nombre) por un procedimiento químico, para poder hilarla, al regenerar la celulosa una vez terminada esta operación. La viscosa es, por tanto, celulosa pura, de peso específico 1,52.

Se preparan dos clases: la continua, denominada rayón, y la obtenida al cortar el rayón en longitudes aproximadamente iguales a las de las fibras textiles vegetales, denominadas *fibrana* y *rayón cortado*. *El rayón* se emplea en la fabricación de tejidos industriales como neumáticos de automóviles, recubrimiento de cables eléctricos, etc. La *fibrana* de viscosa, sola o entremezclada con algodón o lana, se emplea en la fabricación de tejidos de verano para señoras, forrería, corbatas, camisas, etc.

6.1.1.2. Rayón cuproamoniaco

Se obtiene exclusivamente de los *línteres* de algodón, a los que se da un tratamiento alcalino; después, se disuelven en una solución cuproamoniaco y se hila la fibra en un medio de coagulación básico, al regenerarse finalmente la celulosa. El rayón cuproamoniaco es, por tanto, 99 a 99,5% alfa celulosa y tiene el mismo peso específico que la viscosa: 1,52. Es algo más caro que la viscosa; pero con él se obtienen fibras hasta de 0,625 denier, o sea, de un diámetro de 7 micras y, por tanto, inferior a las más finas hebras de seda natural. Esta fibra se emplea en la fabricación de tejidos finos, como velos, medias, forros, etc.

6.1.1.3. El rayón acetato

No es celulosa pura, como las fibras anteriores, sino acetato de celulosa, es decir, combinación de celulosa. La materia prima es la pasta de madera y los *línteres* de algodón, acetilados con anhídrido acético, en presencia de ácido sulfúrico, que actúa de catalizador. Se disuelve el acetato de celulosa formado en acetona y se hilan las fibras al usar aire caliente como coagulante. Su densidad es 1,32. Es menos brillante que las anteriores; por esto, es similar a la seda natural, pues, además posee el crujiente característico de ésta. Es asimismo una fibra menos higroscópica. Tiene el inconveniente de que es más cara que la viscosa y el rayón cuproamoniaco.

Esta fibra combina perfectamente con la seda en los tejidos de fantasía con retorcidos mixtos. Se mezcla con la viscosa para obtener tejidos de dos colores con teñidos en pieza. Se emplea igualmente en la fabricación de géneros de punto, gabardinas y similares, por su poder cubriente. Otra aplicación de esta fibra es la fabricación de impermeables y paraguas, por su baja higroscopicidad.

La data de obtención de hilado en estas fibras, se sintetiza en el Cuadro 2.20:

Esquema de obtención de hilados de viscosa, rayón cuproamoniaco y rayón acetato

CUADRO 2.20

VISCOSA	RAYÓN ACETATO	RAYÓN CUPROAMONIAL
Celulosa al bisulfito	Línteres o celulosa al bisulfito	Línteres
↓ Maceración con soluciones de sosa cáustica	↓ Ligera hidrólisis mediante ácidos	↓ Tratamiento alcalino
↓ Prensado y trituración del producto obtenido (álcali-celulosa)	↓ Acetilación con anhídrido acético o acético glacial	↓ Lavado y trituración en la pila holandesa
↓ Maduración del álcali-celulosa	↓ Ligera saponificación del acetato mediante medio ácido	↓ Segundo lavado
↓ Tratamiento con sulfuro de carbono y formación xantato	↓ Maduración y precipitación con agua	↓ Solución en el licor cuproamoniaco (licor de Schweitzer)
↓ Disolución del xantato en solución de sosa cáustica (viscosa)	↓ Lavado, secado y disolución en acetona	↓ Filtración
↓ Maduración de la viscosa y filtrado	↓ Filtrado y maduración	↓ Hilatura en agua o en baño ácido o alcalino y recuperación del cobre y del amoníaco
↓ Hilatura en baño ácido	↓ Hilatura al aire caliente (con recuperación de la acetona)	↓ Hilado de celulosa
↓ Hilado de celulosa	↓ Hilado de acetato de celulosa	

6.1.2. Materiales proteínicos

Se obtienen de proteínas naturales puestas en solución alcalina e hiladas en un medio ácido, al endurecer después las fibras con formol. Los tipos más fabricados son la marinova, que procede de la caseína de la leche y sustituye al lanital; el ardil, que procede de las proteínas del cacahuete, y la vicara, obtenido de las proteínas del maíz. Estas fibras se emplean siempre cortadas en longitudes tipo lana y se emplean, mezcladas con ésta, para formación de fieltros.

6.2. Fibras artificiales de síntesis

Estas fibras son productos de polimerización; entre las más importantes están: las superpoliamidas, los poliésteres, el policloruro de vinilo, los poliacrílicos y el policloruro de vinilideno.

6.2.1. Las superpoliamidas

Las más conocidas son: el *nylon 66* y el *nylon 6* o perlón.

6.2.1.1. Nylon 66

Conocido simplemente como *nylon*, está formado por reacción de las soluciones de ácido adípico y la de exametilendiamina. Tiene una constitución parecida a la de las proteínas, como la queratina de la lana o la fibroína de la seda.

Se hila por extrusión, a 260°C, que es su temperatura de fusión, con lo que se obtienen filamentos hasta de 0,2 denier. Posee una gran tenacidad, que varía entre 2 y 7 g por denier. Su peso específico es 1,14. Se emplea en la fabricación de medias, calcetines, aislamientos para material eléctrico, paracaídas, cordajes para neumáticos y cuerdas en general, de alta calidad.

6.2.1.2. Nylon 6

Conocido como perlón L, se fabrica a partir del fenol. Sus características son parecidas al nylon 66, salvo su punto de fusión, que es algo más bajo (215°C).

6.2.2. Poliéster

Comercialmente conocido como *tergal*, de densidad 1,38. La fibra de poliéster se emplea, sola o mezclada con lana, en la fabricación de trajes de verano, de lavado y secado rápido, que conservan los pliegues permanentemente.

6.2.3. Policloruro de vinilo

Se utiliza en la fabricación de tejidos impermeables con transpiración, cuero artificial y tapizados en general. Por su resistencia a los agentes químicos, se emplea en la fabricación de trajes protectores contra los reactivos, en las industrias del papel y en la fabricación de acumuladores. Es resistente a los agentes biológicos, por lo que da buen resultado en los países tropicales.

6.2.4. Vinyón

Similar al nylon, es un copolímero formado por 86% de cloruro de vinilo y 14% de acetato de vinilo.

6.2.5. El poliacrílico

El más conocido es el orlón, empleado puro o mezclado con lana, en la fabricación de camisas de *sport* y, en general, en la confección de trajes de verano. Debido a su alta resistencia a la luz, se usa en la confección de cortinas y banderas.

6.2.6. Policloruro de vinilideno

Conocido comercialmente por velón, se emplea en la fabricación de cortinas gruesas, redes, raquetas, filtros, sacos, maletas y tapicerías de automóviles.

7. Otras fibras textiles

Hay otras fibras textiles que no encajan exactamente en ninguna de las clases de fibras expuestas y que, por su relativa importancia, reseñamos brevemente:

7.1. Hilados de goma

El caucho vulcanizado, o goma, se utiliza en filamentos de sección cuadrada o redonda para la fabricación de tejidos, estirada su longitud primitiva de 7 a 8 veces. Estos hilados pueden recubrirse con hilos de algodón, rayón, lana, etc., arrollados en espiral a su alrededor, sin que se alteren las cualidades elásticas de la goma y, en cambio, mejoran su presentación. La numeración más empleada con los hilados de goma es la *seccional*, que indica el número de los hilados en sección que puede contener una pulgada inglesa. Por ejemplo, el hilado de 1 mm tiene aproximadamente el número 25. Los hilados de goma se emplean en la fabricación de fajas y elásticos en el ajuste de las prendas de vestir, etc.

7.2. Hilados de papel

El papel, cortado en tiras de 1 a 25 mm de ancho y enrollado sobre sí mismo, se emplea en la fabricación de tejidos para sacos, etc. A veces, se mezcla con otra fibra como la retama, empleado como urdimbre (hilos longitudinales), y los hilos de papel, usados para trama (hilos transversales). En la actualidad, se utiliza el papel para recubrir hilos de cáñamo e hilos metálicos como conductores telefónicos de las redes urbanas, denominados *pares*, que son finísimos alambres de cobre recubiertos de papel protegido por una cubierta de plástico.

7.3. Hilados de vidrio

Las fibras de vidrio se obtienen al estirar varillas a la temperatura adecuada o por trefilado de vidrio fundido a través de una hilera, como los metales o por centrifugación. Las fibras de vidrio de espesores, hasta de 5 micras, constituyen la denominada lana de vidrio y se utiliza en la fabricación de filtros resistentes a los ácidos, en revestimientos insonoros y en aislamientos térmicos (Cuadro 2.21).

Composición de los vidrios textiles

CUADRO 2.21

FIBRA	COMPONENTE					
	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO
Continua	62-65	11-15	1-3	3-4	1	6
Discontinua	50-33	1-2	0,5	11	13-15	15

7.4. Hilados metálicos

Los más utilizados son los de metales preciosos, como el oro y la plata, los cuales son tan dúctiles y maleables que pueden obtener láminas de oro hasta de 0,00008 mm de espesor e hilos tan delgados que, en una longitud de 3240 m, sólo pesan 1 gr. Los hilos de oro y plata generalmente se usan para bordar. Pero los hilos de seda, algodón y rayón, recubiertos por una delgadísima tira de oro o de plata, cortada de las láminas de estos metales, tienen una amplia aplicación en la fabricación de determinados tejidos.

8. Las cuerdas

Ligamentos formados por hilos de fibras, mayormente vegetales, retorcidos o trenzados en una forma determinada. Para formar las cuerdas, primero se agrupan y tuercen los hilos de la fibra elegida, al formar unos ligamentos de pequeño diámetro, denominados cordones; seguidamente, se toma un número determinado de cordones y se forman las cuerdas, al retorcerlas en sentido opuesto a su propia torsión (cuerdas redondas), o al trenzarlos (cuerdas trenzadas o trenzas).

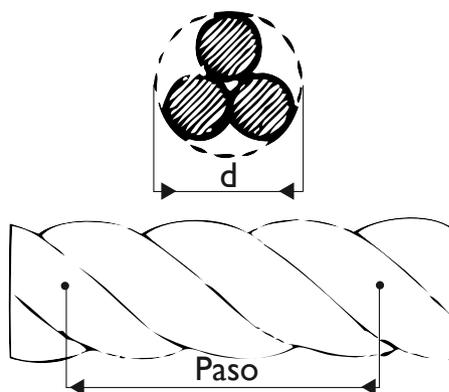
8.1. Tipos de cuerdas

8.1.1. Cuerdas redondas

En general, son las más empleadas y están formadas por 3, 4 ó 7 cordones (Figura 2.35). Si las cuerdas son de 4 cordones, queda un espacio vacío en el centro que, a veces, se rellena con otro cordón de menor diámetro, denominado *alma*. Las cuerdas de diámetro comprendidos entre 25 y 35 mm se denominan *maromas*; las de 35 a 45 ó 50 mm, *calabrotes*, y las de diámetros superiores a 50 mm, *estachas*.

Cuerda redonda de tres cordones

FIGURA 2.35

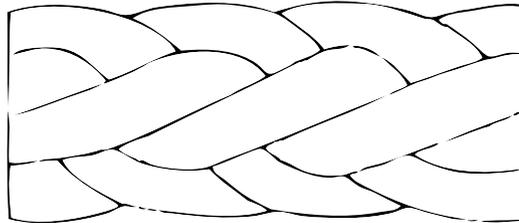


8.1.2. Cuerdas trenzadas

Las *trenzas* están formadas por un número par de cordones trenzados. Son menos rígidas y menos extensibles que las cuerdas redondas y, además, no tienden a girar alrededor de su eje en las gargantas de las poleas; pero son más complicadas y costosas para fabricar (Figura 2.36).

Cuerda trenzada

FIGURA 2.36



8.1.3. Cuerdas trenzadas

Estas cuerdas se fabrican con cordones pulidos. Para esto, se impregnan con cola y se someten a un pulido enérgico, con un paño de yute, sisal o alambre, hasta adquirir una apariencia lisa y brillante. Las cuerdas de otras fibras no se pulen. Si las cuerdas han de estar expuestas a la humedad y corren el riesgo de pudrirse, se impregnan los hilos que las forman, antes de fabricarlas, con brea de pino. La cantidad de brea empleada está comprendida entre 10 y 15% del peso de la cuerda cruda.

8.2. Materiales utilizados en la fabricación de cuerdas

Los más utilizados son el cáñamo común, el cáñamo de Manila o abacá, el sisal, el yute, el coco, el nylon y, en menor proporción, el algodón y el esparto.

8.2.1. El cáñamo

Se emplea en la fabricación de cuerdas, por su alta resistencia o la rotura; pero tiene el inconveniente de que es sensible a la humedad prolongada, pues lo altera y disminuye su resistencia mecánica.

8.2.2. El cáñamo de Manila o abacá

Tiene como cualidad sobresaliente ser imputrescible y soporta, sin alterarse ni disminuir su resistencia, la acción de la humedad y la atmósfera salina del mar, por lo que se ha adoptado esta fibra en la fabricación de cuerdas de los navíos de las marinas del mundo.

8.2.3. El sisal

Es casi tan imputrescible como el cáñamo de Manila. Se emplea en la fabricación de pequeñas cuerdas de diámetro inferiores a 8 mm, utilizadas sobre todo en la agricultura.

8.2.4. El yute

No tiene más ventajas que su baratura, pues es poco resistente a la rotura y resiste mal la humedad, por lo que no se utiliza más que en cuerdas pequeñas.

8.2.5. El coco

Se ha utilizado en la fabricación de grandes amarras de los navíos en los puertos abiertos, pues su elasticidad le permite absorber los tirones bruscos producidos por el oleaje, que rompe las amarras de abacá o de acero. Hoy día, sin embargo, se ha reemplazado la fibra de coco por el nylon en la fabricación de amarras, porque todavía es más elástico.

8.2.6. El nylon

Es la más moderna de las fibras utilizadas en cordelería y tiene tres buenas cualidades:

- Elevada resistencia a la rotura, dos veces que las mejores fibras de cáñamo.
- Elasticidad, que permite alargamientos hasta de 40%, mientras que los del abacá no son superiores a 10%.
- Imputrescibilidad casi total, porque es insensible a la acción de la humedad y de las bacterias. Además, resiste bien la mayor parte de los productos químicos, entre ellos los productos petrolíferos.

El algodón se emplea poco en cordelería y sólo en la fabricación de cuerdas pequeñas de menos de 8 mm de diámetro. El esparto se emplea bastante en España para la confección de cuerdas de mala calidad y en procedimientos artesanos.

8.3. Características de las cuerdas

Las características fundamentales de las cuerdas, además de la clave y material de la fibra que las forman, son las siguientes:

8.3.1. Número de hilos

La numeración más utilizada es la métrica (Nm), ya definida al hablar sobre las fibras textiles.

8.3.2. Sentido de torsión

Se emplea la misma notación de las letras S y Z, como lo definimos anteriormente, para indicar el sentido de torsión de las fibras que forman los hilos de los cordones y de las cuerdas.

8.3.3. Paso del cordón

Distancia entre dos espiras de un mismo cordón, medida paralelamente al eje de la cuerda (Figura 2.34). Los valores medios de los pasos más empleados son 3 veces al diámetro de la cuerda de 3 cordones y 2,9 veces el de una cuerda de 4 cordones.

8.3.4. Grosor

Valorado por el diámetro del círculo circunscrito a su sección expresada en milímetros (Figura 2.34). La medida se realiza al deslizar un calibre paralelamente a la cuerda en una longitud que abarca varias espiras y hacer girar ésta al mismo tiempo en sentido inverso al de la torsión de los ramales. El diámetro debe medirse con una tensión igual a 10% de su carga de rotura. Los diámetros normalizados son: 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32, 36, 40, 45, 50, 56, 60, 64, 72, 80, 90, 100, 112, 120, 125, 160 y 200.

8.3.5. Longitud de rotura

Es la mínima longitud de cuerda que, suspendida verticalmente, se rompe por la acción de su propio peso. Esta longitud, evidentemente, será igual a la carga de rotura en kilogramos dividida por su peso en metros. En el Cuadro 2.22, figuran las longitudes de rotura de las cuerdas más corrientes:

Peso por metro, carga de rotura en tn y longitud de rotura en kilómetros de las cuerdas de fibras más corrientes, según su diámetro

CUADRO 2.22

CUERDAS DIÁMETRO (mm)	CÁÑAMO CRUDO			CÁÑAMO DE MANILA CRUDO			SISAL		
	P	R	L	P	R	L	P	R	L
16	0,180	1,45	8,1	0,165	1,23	7,5	0,160	0,970	6,1
20	0,280	2,28	8,1	0,256	1,92	7,5	0,248	1,50	6,1
25	0,440	3,57	8,1	0,400	2,96	7,4	0,387	2,32	6,1
32	0,715	5,60	8	0,650	4,15	7,4	0,635	3,80	6
40	1,10	8,8	7,9	1	7,4	7,3	0,980	5,9	6
50	1,70	13,3	7,9	1,55	11,2	7,2	1,52	9	5,9
60	2,40	19	7,8	2,20	15,5	7	2,15	12,5	5,8
80	4,30	31,6	7,4	3,85	25	6,5	3,80	20,4	5,4
100	6,50	45	7	5,85	35	6	5,70	29	5,1
120	9,07	61,7	6,8	8,20	46	5,6	7,90	38	4,8
160	15,8	103	6,5	14,2	75,3	5,3	13,7	63	4,6
200	24,4	153	6,3	21,8	111	5,1	21	92	4,4

8.3.6. Coeficiente de seguridad

Al tener en cuenta que las cuerdas pueden estar en condiciones desfavorables de trabajo, se aconseja no utilizar las cargas de rotura teórica, presentadas en el Cuadro 2.22, sino estos valores multiplicados por un coeficiente que depende de su diámetro, tal como figura en el Cuadro 2.23.

Coefficientes de seguridad para las cargas de las cuerdas**CUADRO 2.23**

DIÁMETRO (mm)	menor de 20	20 a 30	30 a 40	40 a 50	mayor de 50
COEFICIENTE	1/25	1/20	1/15	1/10	1/8

9. Generalidades de los cueros

El cuero es la piel de los animales, una vez que ha sido sometida a una operación denominada *curtido*, que tiene por objeto evitar su putrefacción. Las pieles más utilizadas en la fabricación de los cueros son las de buey, vaca, ternera, caballo, carnero, cabra, cerdo, gamuza, cocodrilo, lagarto, foca.

9.1. Propiedades del cuero

Este material tiene una excelente flexibilidad, aceptable resistencia a la tracción (300 kg/cm^2) y buena resistencia a la fatiga; por otra parte, es un material poroso, lo que tiene suficiente interés en determinadas aplicaciones desde el punto de vista higiénico (como zapatos). Su peso específico es de 0,080 a 1.

9.2. Curtido de las pieles

El curtido de las pieles comprende una serie de operaciones preparatorias, como son el *macerado*, *la limpia*, *la depilación* y *la hinchazón*.

Una vez las pieles han sido preparadas, se curten mediante tres procedimientos, diferenciados esencialmente por el curtiente empleado: (a) el curtido *al tanino*, realizado con curtientes vegetales; (b) el curtido *mineral*, con curtientes minerales, y (c) el curtido *graso*, con uso de grasas.

Algunas veces se emplean curtidos combinados de dos o los tres anteriores, con objeto de obtener cueros que reúnan las propiedades características que comunica a las pieles cada curtido, como por ejemplo, la resistencia del curtido al cromo y la flexibilidad del curtido graso.

Después de curtidas, se someten las pieles a una operación final, denominada *zurrado*, que consiste en golpear los cueros con martillos y pasarlos por cilindros laminadores con el objeto de aumentar su consistencia y flexibilidad. Esta operación se realiza generalmente con los cueros curtidos con tanino.

9.2.1. Operaciones preparatorias en el curtido

Las operaciones preparatorias son: *el macerado*, *limpiado*, *depilación* e *hinchazón*.

9.2.1.1. El macerado

Consiste en la inmersión de las pieles en agua corriente, para reblandecerlas y limpiarlas. Si se trata de pieles frescas, la operación dura de dos a tres días; pero si son pieles secas, el macerado debe prolongarse hasta ocho o diez días.

9.2.1.2. La limpia

Se realiza a continuación y tiene por objeto limpiar la cara de la carne de la piel de las sustancias grasas, tejidos subcutáneos, nervios, etc. Consiste en tender la piel en una tabla sobre la cara del pelo y raspar la cara de la carne con cuchillas. También se realiza esta operación por medio de máquinas.

9.2.1.3. La depilación

Se realiza seguidamente y tiene por objeto eliminar los pelos; para esto se tratan previamente las pieles con cal, sulfuro sódico o ácidos diluidos, a fin de esponjarlas; después se lavan con agua y, por último, se rasuran los pelos al tender las pieles del lado de la carne. Los pelos se aprovechan para hacer fieltros. Cuando se trata de fabricar cueros apretados y fuertes como los destinados a las suelas de los zapatos, no se emplean para esta operación ni ácidos ni álcalis, porque disminuyen la cohesión de las fibras. Entonces, y como operación previa al rasurado, se someten las pieles a una iniciación de putrefacción en cajas cerradas o se colocan en atmósfera húmeda. En ambos casos, se consigue que disminuya la adherencia al pelo y se facilita el rasurado.

9.2.1.4. La hinchazón

Se realiza después del depilado y tiene por finalidad la eliminación de las sustancias que obturan a los poros, las cuales están acumuladas por las operaciones anteriores, así como también hinchar las pieles para que puedan absorber los curtientes en la operación siguiente. A fin de lograrlo, se bañan las pieles durante muchos días, en una solución a uno por mil de ácido sulfúrico. Con este tratamiento, las pieles llegan a adquirir doble grueso que el inicial y se vuelven translúcidas y amarillentas.

9.2.2. Curtientes empleados

9.2.2.1. Curtido al tanino

El curtido al tanino, denominado también cuero rojo, es el más antiguo y se realiza al emplear como curtiente una sustancia, de composición aún no bien determinada que contienen las cortezas de algunos vegetales, llamada *tanino*.

La operación se inicia al colocar las pieles extendidas en grandes cubas empotradas en el suelo, denominadas noques, y al alternar cada piel con una capa de casca (cortezas de alerce, abedul, nogal, pino, abeto, haya, olmo) que contienen el tanino y rellenar las cubas con agua.

La operación dura varios meses, durante los cuales se van cambiando las pieles del noque y van alternando su colocación: las de arriba, abajo y viceversa. Durante esta larga maceración, el agua disuelve el tanino de las cortezas, el cual es absorbido por las fibras de la piel.

Una piel curtida absorbe aproximadamente la mitad de su peso en tanino. La cantidad de corteza de roble, por ejemplo para curtir una piel, es igual a tres o cuatro veces el peso de ésta.

El proceso descrito es el curtido clásico; pero modernamente se acelera la operación con el empleo de soluciones de tanino concentradas en tambores horizontales, en los que las pieles se someten a una agitación fuerte al hacer girar con rapidez los tambores, a fin de acelerar la impregnación de la piel en todo su espesor. De esta manera se acorta el plazo de curtido, al terminar la operación en unos veinte días.

9.2.2.2 Curtido mineral

Conocido también como curtido blanco, consiste en el empleo de curtiente con una solución de 2200 partes de agua, 75 partes de alumbre y 30 de cloruro sódico. Las pieles se ponen en maceración durante dos o tres días y después se dejan desecar. Las pieles más empleadas para curtirlas son las de cabrito, carnero y cabra, es decir, pieles ligeras. El cuero obtenido se denomina cuero blanco, es suave y se emplea para forros. Tiene el inconveniente de que el alumbre retenido por la piel en el curtido se disuelve en el agua si se moja y pierde, por tanto, en mayor o menor proporción, su curtido.

Entre los curtientes están: sales de hierro (sulfato férrico) y sales de cromo (ácido crómico y bicromatos). El curtido al cromo con oxiclорuro de cromo y cloruro sódico (tanolina), o ácido crómico y glicerina (cromadina, etc.) ha adquirido modernamente gran difusión. Las pieles curtidas al cromo aumentan sólo 10% de peso, en lugar de 50% que aumenta con tanino. El cuero obtenido es suave, casi tan flexible como el caucho y resistente a la rotura y a la fricción.

9.2.2.3. Curtido grasa

El curtido con materias grasas recibe el nombre de *engamuzado*. Se curten por este procedimiento las pieles de ciervo, de cordero, de gamuza y corzo, etc. Se emplea como materia grasa curtiente de pescado. La piel se prepara al remover la capa superior de la dermis, que es la menos elástica y menos permeable a la grasa. Después se impregna con ésta por batanado y fricciones repetidas. A continuación, se ponen las pieles al aire o en una estufa para oxidar la grasa y, por fin, se lavan en una solución tibia de carbonato potásico y se estiran y desecan.

Las pieles curtidas por este procedimiento se distinguen por su suavidad, las cuales pueden lavarse sin perder nada de sus cualidades. Se utilizan para hacer guantes, cinturones, etc; además, se emplean pieles teñidas con tintes apropiados con reflejos dorados o plateados, para hacer zapatos finos de señora.

9.3. Clases de cueros

Los cueros se clasifican, según la clase de animal del que proceden, en cueros de buey, cueros de vaca, cueros de cerdo, etc. En general, se reserva la denominación de cuero a los procedentes de pieles de animales grandes (bueyes, vacas, caballos, etc.) y se denominan pieles o badanas a los cueros procedentes de animales pequeños (cabras, conejos, etc.)

Igualmente, se clasifican, según el procedimiento de curtido, en cueros al tanino, cueros al cromo y cueros grasos. Aunque la taxonomía de los cueros más utilizada es la que atiende a su aplicación, desde este punto de vista, se distinguen las siguientes clases de cuero:

9.3.1. Cueros de correas de transmisión

Estas correas se sacan generalmente del lomo de las pieles sanas de buey, que tienen, aproximadamente, 1,25 de ancho y 1,50 de largo, con espesores entre 3 y 7 mm. La unión de los distintos trozos necesarios, para formar una correa, se efectúa al encolar los extremos biselados de cada trozo en una longitud de 20 a 40 cm, con la finalidad de no aumentar el grueso de la correa.

Las correas gruesas se forman al encolar dos o tres correas sencillas, hasta obtener el grueso deseado. El curtido de las pieles destinadas a las correas de transmisión puede hacerse al tanino; pero, se obtienen mejores resistencias a la tracción cuando se curten al cromo. En cualquier caso, se les da una impregnación con una sustancia grasa, como cebo, estearina o parafina (Cuadro 2.24).

Características de los cueros de correas

CUADRO 2.24

CLASE DE CUERO	PESO ESPECÍFICO	RESISTENCIA A LA ROTURA (kg/cm ²)	LÍMITE DE ELASTICIDAD (kg/cm ²)	ALARGAMIENTO (%)
Al tanino	0,85-0,95	200-300	125	20-25
Al cromo	0,80	300-380	115	35-60
A la grasa	—	450	—	—

9.3.2. Cueros de suelas

Se fabrican también de la parte del lomo de las pieles de buey y vaca.

9.3.3. Cueros bruñidos para guarnicionería

Obtenidos de pieles de ganado vacuno medianas, que se dejan en color natural o se tiñen en negro o en color.

9.3.4. Cueros para tapizar o de carteras

Estos cueros deben de ser blandos y flexibles. Para su obtención, se emplean pieles de ganado vacuno mediano.

Como el espesor de estos cueros ha de ser uniforme y de 1 mm aproximadamente, se dividen las pieles más gruesas por medio de máquinas especiales.

9.3.5. Cueros de tacos o cogelanzaderas

Usados para recibir las lanzaderas de los telares. Se preparan con pieles de vacuno curtidas a la grasa, o con cueros crudos. Han de ser tenaces, elásticos e inalterables por las corrientes de aire.

9.3.6. Pergaminos y parches de tambores

Fabricados con pieles de asno, de cerdo, de becerro, de carnero y de cabra, al estirarlas en un bastidor después de haberlas macerado y depilado. Luego se desecan.

9.3.7. Gamuzas

Las pieles de esta clase se preparan con pieles de becerro, carnero, corzo y gamuza, curtidas a la grasa con aceite de pescado. Su color natural es amarillo, pero pueden blanquearse con ácido sulfuroso o al exponerlas húmedas a la acción del sol.

Las gamuzas son blandas, de tacto afelpado y resistente al agua. Se usan para la fabricación de guantes, pantalones de montar y limpieza de objetos delicados (cristales de gafas, etc.).

9.4. Pieles especiales

La piel de Rusia es un cuero suave, impermeable de olor agradable, que se preparaba con anterioridad en Rusia y se emplea mucho en la encuadernación de lujo, para fabricar joyeros, álbumes de fotografías, etc.

En su fabricación, se emplean pieles seleccionadas de buey, cabra y cerdo. Su curtido se realiza con tanino y, antes de que las pieles estén del todo secas, se impregnan con aceite empireumático, procedente de la corteza del abedul que aumenta su inalterabilidad y le proporciona su olor agradable. Estos tipos de pieles son:

9.4.1. El chagrín

Es un cuero curtido con tanino o alumbre, que una vez terminada la operación del curtido propiamente dicho, y todavía con el cuero húmedo, se pasa entre dos cilindros a presión, que graban sobre él una superficie granujienta.

9.4.2. El tafilete

Es un cuero fino y suave preparado con pieles de cabra curtidas con tanino, en una inmersión que no dura más de ocho días. Después, se tiñe siempre el cuero con el color apropiado.

9.4.3. El charol

Es un cuero flexible e impermeable al agua, empleado para fabricar zapatos, bolsos, entre otros. Se obtienen de pieles de ternera, cerdo, vaca, etc., a las que, una vez curtidas, se les da una capa brillante con un barniz preparado, el cual es una solución de betún de Judea y de barniz graso, en esencia de trementina o aceite de linaza cocido con litargirio.

9.4.4. Las pieles de reptiles

Se curten al tanino y son empleados en la fabricación de carteras, zapatos de señora, etc. Las más usadas, por su hermoso dibujo, son las de serpiente, lagarto y cocodrilo.

9.4.5. El cuero crudo o verde

Denominado impropriadamente cuero, es la piel de buey o vaca, seca, sin curtir, usado en la fabricación de ruedas dentadas, al prensar discos de esta piel y tallar después los dientes.

9.5. Aplicaciones de los cueros

Los plásticos y el caucho han desplazado al cuero de diversas de sus aplicaciones tradicionales, debido a una cuestión de precio y no de calidad, pues los cueros siguen teniendo, y tendrán seguramente, un campo de aplicaciones específicas e insustituibles, por su flexibilidad, resistencia, alto límite de fatiga, porosidad y bello aspecto.

El accionamiento de las máquinas herramientas, por motores individuales con transmisiones cortas, ha desplazado las correas de cuero; en esta aplicación, por las correas trapezoidales textiles impregnadas de caucho y, en general, de todas las transmisiones cortas, estas correas son más apropiadas, aunque las de cuero siguen utilizándose en las transmisiones largas.

Con el cuero se fabrican delantales, guantes y polainas para la protección de los obreros que trabajan con fuego, como soldadores y personal de fundiciones. Se emplea también en juntas, cogelanzaderas, paños para pulido, etc. En guarnicionería, para la fabricación de estuches de cámaras fotográficas y otros aparatos delicados; correas en general, arneses para caballerías, monturas, bridas, etc. Igualmente, se usa en la fabricación de carteras de bolsillo, carteras de documentos y bolsos de señora, superiores a los de plástico.

10. Referencia

Mark, Herman Francis (1977). "Introduction to Polymer Science". En: *Introduction to Polymer Science and Technology: An SPE Textbook* (pp. 1-24). Nueva York: Wiley-Interscience Publication.