

Tema 5. Estructura y aplicaciones de los polímeros.

5.1. Introducción y conceptos básicos sobre polímeros. 5.2. Tipos de polímeros y copolímeros. 5.3. Procesos de obtención de polímeros. 5.4. Propiedades físicas de los polímeros. 5.5. Papel de los aditivos. 5.6. Usos generales de plásticos, elastómeros, fibras y adhesivos.

5.1. Introducción y conceptos básicos sobre polímeros. Los Materiales poliméricos están basados en grandes moléculas con enlaces covalentes y formados por la unión de muchas unidades simples (monómero). Sus antecesores se puede considerar que son las macromoléculas presentes en organismos, y se pueden enumerar ejemplos como el caucho, lana, algodón, etc. Los cuatro tipo de biomoléculas/biopolímeros (naturales) son los ácidos nucleicos, proteínas, lípidos y polisacáridos. Las unidades de construcción de esos polímeros naturales son los nucleótidos, aminoácidos, ácidos grasos y los azúcares. En este tema nos vamos a referir principalmente a los polímeros artificiales aunque se hará referencia a polímeros naturales.

Los monómeros son las unidades básicas para la formación de materiales plásticos, y según la forma en que se unan pueden dar estructuras lineales o no lineales. El proceso de polimerización es una condensación de monómeros. Por ejemplo, el eteno polimeriza para dar el polieteno (o polietileno) y el proceso se denomina polimerización por adición. Inicialmente, los polímeros eran muy sencillos como el derivado del aldehído fenólico para dar la bakelita. Cuando en la polimerización solo interviene un único monómero se denomina homopolímero y cuando polimeriza una mezcla de dos o más monómeros se denomina copolimerización.

La gran utilidad de los polímeros actuales se debe a que se puede sintetizar el polímero que cumpla una serie de propiedades que se necesiten (dureza, plasticidad, densidad, etc.). Esto se consigue mediante la elección del monómero pero principalmente controlando:

- a) Grado de polimerización, según las condiciones de síntesis se pueden obtener longitudes de las cadenas moleculares de diferente tamaño y por tanto con propiedades ligeramente diferentes.
- b) Entramado "branching", consiste en crear uniones entre diferentes cadenas del mismo polímero para aumentar su dureza y punto de fusión. Por ejemplo, en el polietileno.
- c) Uniones puente "cross-linking". Un ejemplo clásico es la vulcanización del caucho usando azufre. El caucho natural es el cis-poliisopreno (que es un polímero insaturado) y cuando se añade azufre entre 1-5 % se producen puentes de azufre entre diferentes cadenas poliméricas lo que se conoce como vulcanizado y aumenta mucho la dureza y resistencia al desgaste. El producto de vulcanización completa (40 %) es la ebonita y es un sólido duro y rígido.

5.2. Tipos de polímeros y copolímeros. Los polímeros se clasifican en función de sus propiedades físicas en varios tipos. Termoplásticos cuyo nombre procede de dos palabras griegas "termos" que significa <caliente> y "plastikos" que significa <moldeable>. Estos polímeros

requieren calor para ser conformados y tras el enfriamiento mantienen la forma (p. ej. PE, PVC, Nylon, etc.). Se ablandan al calentarse hasta que funden y al solidificar se endurecen, siendo procesos reversibles que por tanto se pueden repetir. *Plásticos termoestables* son materiales que no pueden ser refundidos o re-procesados ya que al ser calentados se endurecen y degradan o descomponen (p. ej. resinas epoxi, fenólicos, poliésteres insaturados, etc.). Al iniciar el calentamiento se dan entrecruzamientos covalentes entre las cadenas, y estos enlaces dificultan los movimientos de vibración y rotación. Estos polímeros son generalmente más duros, más resistentes, pero también más frágiles que los termoplásticos pero tienen mayor resistencia dimensional. *Elastómeros* (o gomas) son materiales poliméricos que a temperatura ambiente se alargan mucho elásticamente bajo una pequeña tensión (o esfuerzo) y por tanto recuperan rápidamente la forma original cuando cesa el esfuerzo (p. ej., algunos cauchos, siliconas, etc.). También hay un grupo importante de polímeros que son los *adhesivos* por su capacidad de unir de forma temporal o permanente todo tipo de materiales (p. ej. cianocrilato, poliuretano, etc.)

En una primera clasificación se pueden distinguir los polímeros puramente orgánicos de aquellos organo-inorgánicos (como las siliconas) o simplemente inorgánico. En la Tabla 5.1 se dan algunos polímeros orgánicos de gran interés industrial/tecnológico.

Un ejemplo de copolímero de gran interés industrial (además de los poliésteres, poliamidas y poliuretanos) es el ABS (acrilo-butadieno-estireno). En la figura 5.1 se muestran los copolímeros binarios, y el ternario derivados de los homopolímeros: PS, PAN y PB. Dos copolímeros usados como elastómeros son el SBR y NBR. El SBR es un copolímero binario del PS y PB normalmente empleado en neumáticos (también conocidos como caucho estireno-butadieno). El NBR (también conocido como caucho de nitrilo) es un copolímero de butadieno y acrilonitrilo (PB y PAN) cuando además de grandes alargamientos se necesita resistencia química. Las aplicaciones más importantes de estos copolímeros se estudiarán en el apartado 5.6.

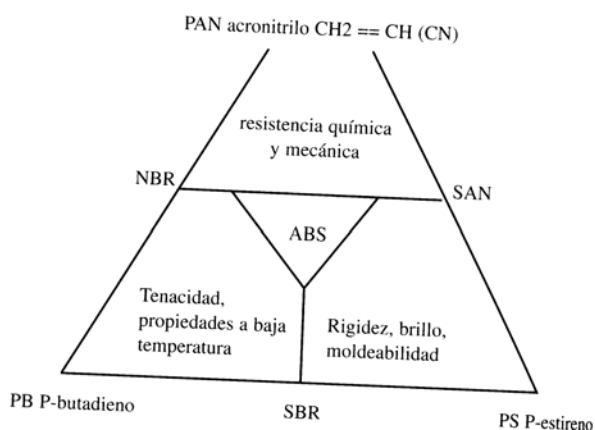


Figura 5.1. Copolímeros binarios y ternarios basados en el PAN, PB y PS

A diferencia de los homopolímeros o de los copolímeros también hay una gran cantidad de mezclas de polímeros. Estos son polímeros terminados que se mezclan en estado líquido. Así se pueden obtener un mayor abanico de propiedades. Por ejemplo, el polímero mezcla PC (policarbonato) y ABS (acrilo-butadieno-estireno) conjuga la alta tenacidad del PC con las mejores características de procesabilidad del ABS.

También merecen ser destacados los polímeros organo-inorgánicos y los puramente inorgánicos (que son menos comunes).

Siliconas. Las siliconas, también conocidas como polisilanoles, son los polímeros organo-inorgánicos más utilizados actualmente debido a las magníficas propiedades que presentan. Buenas propiedades de estabilidad térmica y a la oxidación (gran resistencia química, muy baja degradación), buena resistencia a temperaturas altas y bajas, excelente repelencia al agua (hidrofóbico), buenas propiedades dieléctricas, resiste la radiación UV y son inertes fisiológicamente. Se pueden vender como fluidos (aceites de silicona), grasas, emulsiones, elastómeros (gomas) y como resinas.

Tabla 5.1. *Mómeros y polímeros (orgánicos) a que dan lugar.*

Polímero	nombre	Unidad Repetitiva	Monómero
PE HD,LD	Polietileno	$[-CH_2-CH_2-]$	$CH_2=CH_2$ GP \approx 1200
PP	Polipropileno	$[-CH_2-CH(CH_3)-]$	$CH_2=CH-CH_3$
PS	Poliestireno	$[-CH_2-CH\phi-]$	$CH_2=CH-\phi$ GP 600-6000
PVC	Cloruro de polivinilo	$[-CH_2-CHCl-]$	$CH_2=CH-Cl$ GP \approx 1100
PAN	Poliacrilonitrilo	$[-CH_2-CHCN-]$	$CH_2=CH-C\equiv N$
PMMA	Polimetil metacrilato	$[-CH_2-C(CH_3)-COOCH_3-]$	$CH_2=C(CH_3)COOCH_3$
PTFE	Politetrafluoro etileno	$[-CF_2-CF_2-]$ TEFLON	$CF_2=CF_2$ también $CF_2=CFCl$ da PCTFE
POM	Polioximetileno	$[-CH_2-O-]$	CHOH, formaldehído
PB	Polibutadieno	$[-CH_2-CH=CH-CH_2-]$	$CH_2=CH-CH=CH_2$
CAUCHO	Cis-poliisopreno	$[-CH_2-C(CH_3)=CH-CH_2-]$	$CH_2=C(CH_3)-CH=CH_2$
NEOPRENO	Policloropreno	$[-CH_2-CCl=CH-CH_2-]$	$CH_2=CCl-CH=CH_2$
	POLIESTERES	$[-R-CH_2-COO-R'-]$ diácido + diol	$HOH_2C-R-CH_2OH$ $HOOC-R'-COOH$
	POLIURETANOS	$[-R-CH_2-NHCO-R'-]$ diisocianato + diol	$HOH_2C-R-CH_2OH$ $OCN-R'-NCO$
	POLIAMIDAS	$[-R-NHCO-R'-]$ diácido + diamina	$H_2N-R-NH_2$ $HOOC-R'-COOH$
PA6	Poliamida: Nailon 6 caprolactama	$[-NH(CH_2)_5CO-]$	$NH_2-(CH_2)_5-COOH$
PA6.6	Poliamida: Nailon 6.6 reemplazar seda nat.	$[-NH(CH_2)_6NH-CO-(CH_2)_4-CO-]$ diácido + diamina	$NH_2(CH_2)_6NH_2$ GP 150-300 $COOH-(CH_2)_4-COOH$ adípico+hexametilendia
PET	Polietilen tereftalato	$[-CH_2-CH_2-OOC-\phi-COO-]$	$OH-CH_2-CH_2-OH$ $COOH-\phi-COOH$
PC	Policarbonato	$[-\phi-C(CH_3)_2-\phi-OCOO-]$	
Kevlar49	Poliaramida	Poliamida aromática	

Estos polímeros están basados en el enlace Si-O, y se pueden representar esquemáticamente como $[-SiR_2-O]_n$ donde el grado de polimerización y los radicales orgánicos R son muy variados, originando toda la gama de propiedades físicas y estados en los que se pueden encontrar las siliconas. P. ej., si contienen la unidad repetitiva $[-Si(CH_3)_2-O]$ se llama polidimetil-siloxano y el $[-Si(CH_3)(C_6H_5)-O]$ polimetilfenil-siloxano. Hay una gran variedad de radicales (varios en la misma cadena polimérica) y también pueden ser lineales o cíclicos. Se utilizan principalmente como elastómeros o materiales de sellado pero tienen muchos otros usos. En principio se pueden destacar dos grandes grupos: **aplicaciones médicas y no médicas**. Así, diferentes siliconas se usan como prótesis, órganos artificiales, reconstrucción facial, tubos y catéteres, piel artificial y lentes de contacto. Por supuesto, las *aplicaciones no-médicas* son mayoritarias. Estas aplicaciones se basan en las propiedades mencionadas anteriormente y depende de la forma en que se encuentre el polímero. En estado casi líquido se emplea como fluidos dieléctricos, hidráulicos y fluidos para transferencia de calor. En forma de elastómeros se utilizan como gomas de altas prestaciones o membranas flexibles (p. ej. de separación). En forma de grasas o emulsiones semisólidas para sellado por curación o como aislantes eléctricos (recubrimientos en placas base de ordenadores). En forma de resinas adhesivas se emplea como repelentes de agua, agente anti-espumante, recubrimientos protectores en general.

Fosfacenos. Son otro conjunto muy importante de polímeros inorgánicos. Se han sintetizado más de 300 polímeros diferentes de esta familia. Están basados en el enlace P=N y la unidad repetitiva fundamental es $[-N=PR_2-]$. Los grupos R pueden ser orgánicos, organometálicos o incluso puramente inorgánicos. Cada macromolécula polimérica puede contener 15000 unidades repetitivas. Por ejemplo un fosfaceno hidrolizable el polidicloro-fosfaceno $[-NPCl_2-]$, el polietoxi-fosfaceno tiene la unidad repetitiva $[-NP(OC_2H_5)_2-]$ y el polifenil-fosfaceno $[-NP(OC_6H_5)_2-]$.

Hay una gran variedad de tipos de polímeros que van desde elastómeros a vidrios. Aunque son muy caros, sus propiedades son excelentes fibras textiles ignífugas $[-NP(OCH_2CF_3)_2-]$ (resistentes al calor e incluso a la llama), aislantes eléctricos, sirven para insonorizar [poliaril-oxi-fosfacenos en forma de goma-espumas], biomateriales, membranas semipermeables que permiten la difusión de unos compuestos pero impiden la de otros. Se utilizan para juntas que tienen que ser muy resistentes. Un elastómero de fosfaceno que ha sido muy estudiado por sus extraordinarias propiedades elásticas es el MEEP, poly-bis-metoxi-etoxi-etoxi-fosfaceno que se utiliza en baterías para separar sus componentes. Las aplicaciones biomédicas son parecidas a las siliconas: válvulas de corazón, membranas de diálisis, lentes intraoculares, suturas quirúrgicas (puntos, que se auto-sueltan). Otro uso es liberación retardada-controlada de moléculas con actividad bioquímica, ya que se unen covalentemente en la matriz polimérica y se van liberando por hidrólisis lentamente. También se está estudiando el uso en tejidos transpirables pero impermeables.

Existen otros tipos de polímeros inorgánicos del tipo los polisilanos (basados en el enlace Si-C) que son mucho menos estables o el $(SN)_n$ (derivado del S_2N_2) para dar que es conductor electrónico (en lugar de aislante) y superconductor a muy baja temperatura.

5.3. Procesos de obtención de polímeros. Los polímeros provienen principalmente del petróleo. Aproximadamente, el 4 % de la producción mundial de petróleo se convierte en plástico. Después del “cracking” y del “reforming” se obtienen moléculas sencillas como son el etileno y el benceno que son los compuestos de partida para la fabricación de los polímeros. Se pueden distinguir dos grandes métodos de polimerización: **por adición** y **por condensación**.

La polimerización por adición consta de tres etapas. 1) Iniciación. 2) Crecimiento. 3) Terminación. La polimerización suele ser vía radicalaria de monómeros insaturados y el comienzo se debe a la presencia del iniciador (especie diferente al monómero) que dan radicales con mucha facilidad. El proceso global es complicado y obviamente no todas las cadenas tienen la misma longitud, esto define el índice de dispersión que es característico de cada polímero y que define la diferencia entre el grado de polimerización de las diferentes cadenas (respecto a la longitud promedio). Establecer las condiciones de polimerización y el tipo de iniciador no es inmediato. Por ejemplo, el polietileno se obtiene a 200 °C y ~ 2000 atm, utilizando trazas de O₂ como iniciador. En estas condiciones se obtiene el LDPE, polietileno de baja densidad ya que se obtienen PE ramificado. Mediante catalizadores estereoespecíficos (p. ej. Ziegler-Natta) se consigue un PE lineal de mayor empaquetamiento y densidad conocido como HDPE con mejores propiedades mecánicas y que se obtiene a menor temperatura y presión. También se emplean en la actualidad iniciadores aniónicos o catiónicos. Como se ve, la polimerización por adición es mucho más compleja que la simple ecuación química que refleja el proceso. Ejemplo de familias que se obtienen mediante este proceso son: PE, PP, PS, PVC, PAN, PMMA, BUNA, POM, etc.

La polimerización por condensación exige moléculas distintas (o al menos grupos funcionales diferentes) en cantidades estequiométricas. Se suele eliminar subproducto durante la polimerización, normalmente agua. El nailon 6-6 (nombre comercial de la poliamida obtenida por condensación de la hexametildiamina con el ácido adípico) sintetizado inicialmente en 1929 es uno de los ejemplos más apreciados. No suele haber iniciadores y se termina el crecimiento mediante moléculas monofuncionales que no permiten proseguir la reacción. Ejemplo de familias que se obtienen mediante este proceso son: Poliésteres (dioles y diácidos); Poliamidas (diaminas y diácidos) y poliuretanos (dioles y diisocianatos).

Una vez obtenidos, es muy importante el **proceso de conformado** del polímero en el que se da la forma necesaria. La conformación de los materiales poliméricos depende del tipo de polímero ya que por ejemplo, el comportamiento de los plásticos termoestables es muy diferente a de los termoplásticos. Por norma general, los *termoplásticos* se conforman aplicando presión a elevada temperatura y en cualquier caso por encima de la transición vítrea (que se estudiará con detenimiento más adelante) y se pueden repetir los procesos. La conformación de los polímeros *termoestables* se realiza en dos etapas. i) en la primera se prepara un polímero lineal (a veces denominado prepolímero) en fase líquida de bajo punto de fusión y se introduce en un molde de forma determinada. ii) en la segunda etapa se endurece, proceso conocido como “curado” que puede darse por calentamiento, o añadiendo un catalizador, o bajo presión. Durante el curado hay

reacciones químicas y estructurales en las que se entrecruzan las cadenas poliméricas y aumentan mucho las interacciones intermoleculares (entre-cadenas) de naturaleza covalente. Después del curado, se sacan del molde (todavía en caliente) ya que estos polímeros son estables dimensionalmente, no cambian mucho de tamaño con la temperatura y por supuesto mucho menos que los termoplásticos. Las técnicas (más comunes) de moldeo para dar forma a los polímeros termoplásticos (los más comunes) son las siguientes:

Moldeo por compresión: Se aplica presión al polímero en caliente que en estado semipastoso (parcialmente fundido) adquiere la forma del molde. Se utiliza el término preforma si antes de este proceso la mezcla del polímero y de los aditivos se prensa en frío

Moldeo por inyección: análogo al moldeo por coquilla en los metales y es muy utilizado en los termoplásticos. El polímero granulado se funde dando un líquido viscoso, que mediante un émbolo se inyecta a través de una boquilla en una cavidad (molde), y se mantiene la presión hasta que la masa ha solidificado. Finalmente se abre el molde, se retira la pieza, se cierra el molde y se vuelve a repetir el ciclo. Son muy utilizados porque tienen una gran velocidad de procesado.

Moldeo por soplado: es similar al proceso de obtención de botellas de vidrio. Primero se extruye una preforma, en estado semifundido la preforma se coloca entre dos piezas del molde que tiene la forma que se requiere. Se cierra el molde se inyecta aire o vapor a presión dentro de la preforma para que las paredes de ésta adquieran la forma del contorno del molde.

Colada: al igual que en el caso de los metales se funde el material, se deposita en un molde y al solidificar adquiere la forma del recipiente que lo contenía.

5.4. Propiedades físicas de los polímeros. Las propiedades físico-químicas más importantes de los polímeros son la cristalinidad, el comportamiento térmico, el comportamiento mecánico y la resistencia a la degradación química en general.

Cuando los polímeros tienen diferentes sustituyentes R en la cadena C-C polimérica la disposición de estos grupos radicalarios origina diferentes configuraciones. La configuración isotáctica es aquella en la que todos los radicales R se encuentran a un lado de la cadena. Si los radicales se encuentran ordenados pero alternados original la configuración sindiotáctica. Por último, si los radicales se disponen en forma aleatoria, se denomina configuración atáctica. Esta configuración depende del método de síntesis y tiene una gran implicación en las propiedades mecánicas. Por ejemplo, el cis-poliisopreno (caucho natural) es un elastómero mientras que el trans-poliisopreno (gutapercha) tiene propiedades muy diferentes y no es un elastómero.

Cristalinidad y comportamiento térmico. El concepto de cristalinidad de un polímero no es similar al que se utiliza en materiales metálicos o cerámicos. Estos compuestos son muy cristalinos y presentan un gran orden a larga distancia. Este no suele ser el caso de la mayoría de los materiales poliméricos donde el orden principal es en el empaquetamiento entre cadenas poliméricas. En el

caso del comportamiento térmico hay que distinguir tres temperaturas, la de fusión, la de descomposición y la de transición vítrea.

Resumiendo, los polímeros en estado fundido son obviamente amorfos (sin orden) y cuando solidifican pueden dar un sólido no cristalino (vítreo) o cristalino (cadenas parcialmente ordenadas, “buen empaquetamiento”). Cuando éstos solidifican para dar un sólido no cristalino se produce un paulatino decrecimiento de su volumen específico (volumen por unidad de masa) a medida que la temperatura se reduce. El comportamiento se da en la figura 5.2(a). En esta figura se puede observar el comportamiento de un termoplástico no cristalino (línea ABCD) y de un termoplástico parcialmente cristalino (línea ABEF). La temperatura a la que cambia la pendiente de la curva se conoce como temperatura de transición vítrea (T_g). Por encima de T_g , los termoplásticos no cristalinos muestran un comportamiento viscoso y por debajo un comportamiento de vidrio (frágil) quebradizo. En la figura 5.2(b) se muestra el mismo tipo de curva para un polímero cristalino (como el polipropileno atáctico). El cambio de pendiente denota la transición vítrea. Las temperaturas de transición vítreas para algunos polímeros seleccionados son ($^{\circ}\text{C}$): PE -110 ; PP -18 ; PCV 100 ; PS 90 ; PMMA 72 ; PC 150 .

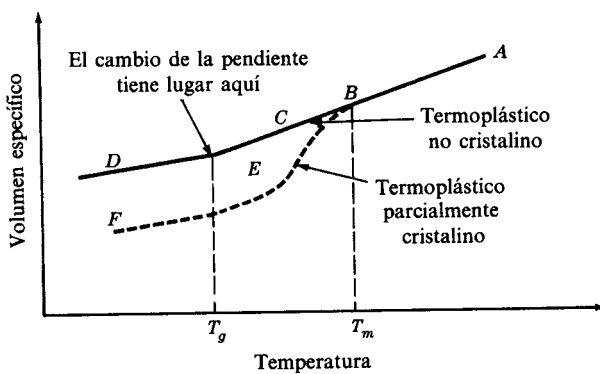


Figura 5.2(a). Solidificación y enfriamiento de termoplásticos no cristalinos y semicristalinos

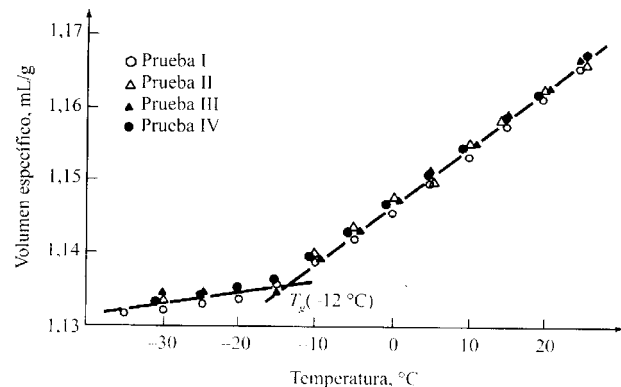


Figura 5.2(b). Solidificación y enfriamiento de un termoplástico cristalino (PP atáctico)

La influencia de esta transición vítrea en las propiedades mecánicas queda evidenciada en la figura 5.3. En esta figura se da las curvas σ - ϵ (esfuerzo-deformación) para un poliéster, a diferentes temperaturas superior e inferior a T_g .

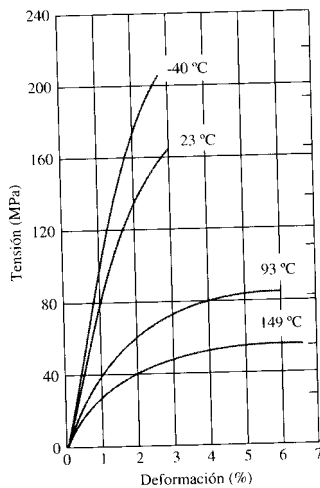


Figura 5.3. Gráfica σ - ϵ de un poliéster a Young. Este ensayo mecánico es de corta duración.
 T superior e inferior de $T_g = 70^\circ C$

Se observa en los polímeros que la deformación plástica aumenta con el tiempo lo que se conoce como fluencia, que es característico de todos los materiales pero es especialmente importante en los polímeros incluso a temperaturas moderadas. Los termoplásticos cristalinos como el PE o PP, tienen grandes zonas cristalinas que permiten su uso en un amplio rango de temperaturas por encima y debajo de T_g , aunque lógicamente son más flexibles a $T > T_g$. En cambio los polímeros termoestables suelen ser duros pero frágiles, con valores de alargamientos a rotura inferiores al 10 % y suelen tener su uso restringido a $T < T_g$. Los elastómeros, se caracterizan por una gran deformación elástica (reversible) de hasta el 50 %, y buscando la máxima elasticidad, siempre se utilizan a $T > T_g$. Un ejemplo de los diferentes comportamientos mecánicos de los polímeros se dan en la figura 5.4.

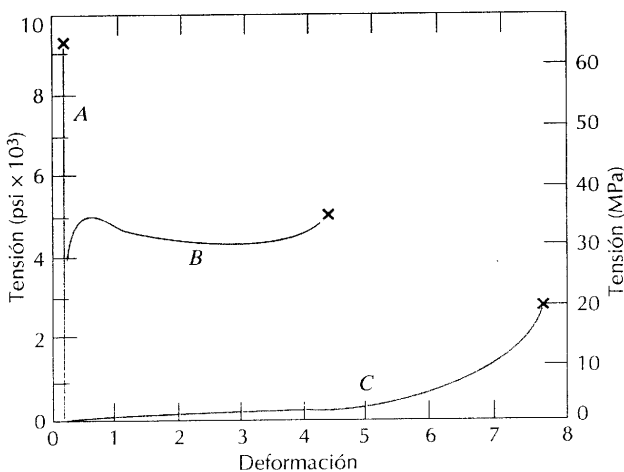


Figura 5.4. Gráfica σ - ϵ de polímeros frágiles (A), plásticos (B) y elastómeros (C)

P. ej., 10 cm pueden originar un hilo de 1 m antes de la ruptura. Los elastómeros (C) son aquellos que se pueden estirar elásticamente hasta \approx un 50 % de su longitud inicial.

Otras características importantes para las aplicaciones de los polímeros son la resistencia al impacto (caracterizado mediante el ensayo Charpy); por encima de T_g son mucho más plásticos (menos frágiles), por lo que pueden soportar mejor los golpes sin romperse. La fatiga ya que los polímeros pueden experimentar fallos en condiciones de esfuerzos cíclico. La resistencia a la torsión es la energía requerida para torcer una probeta normalizada y está relacionada con la resistencia a la tracción. Por último, la resistencia química y a la degradación es un parámetro muy importante ya que puede excluir el uso de un polímero u ocasionar un fallo. Generalmente depende de la resistencia química intrínseca del polímero y del medio al que será expuesto.

5.5. Papel de los aditivos. Se llama aditivo en la industria de plásticos, a cualquier sustancia que mejore las propiedades físicas, químicas o mecánicas de un polímero o que reduzca sus coste. Se clasifican a su vez en dos grandes grupos: a) aditivos ayudantes del procesado y b) aditivos modificadores de las propiedades del producto (entre estos últimos se encuentran los colorantes, plastificantes, ignífugos, rellenos o cargas, etc. Los aditivos ayudantes del procesado cumplen dos funciones básicas: i) facilitar el flujo del plástico fundido, evitando su adherencia al molde y ii) evitar la degradación térmica y oxidativa del polímero durante el proceso de transformación durante el cual se somete a altas temperaturas (conocidos como estabilizantes).

Relleno: se adicionan a los polímeros para aumentar la resistencia a la tracción, a la compresión, a la abrasión, la tenacidad y la estabilidad térmica y dimensional. Se puede utilizar serrín, sílice, arena, vidrio, arcilla, talco, caliza e incluso otros polímeros sintéticos finamente pulverizados. El coste final del producto disminuye porque estos materiales (más baratos) ocupan parte del volumen del polímero comercial.

Plastificantes: mejoran la flexibilidad, ductilidad y tenacidad de los polímeros. Su presencia reduce la dureza y fragilidad. Los plastificantes suelen tener baja presión de vapor y bajo peso molecular. Estas pequeñas cadenas se sitúan entre las grandes del polímero y reducen las interacciones intermoleculares (enlaces secundarios). P. ej. se utilizan para el PVC y algunos acetatos ya que son demasiado frágiles.

El caso del PVC (frágil sin aditivos) es especial puesto que es uno de los polímeros más utilizados y generalmente contiene hasta un 40 % de di-(2-etil-hexil)ftalato DEHP “di-(2-ethylhexyl)phthalate”, que actúa como elemento plastificante. Se usa mucho en contenedores, en juguetes para niños pequeños, y en medicina, y el agente plastificante puede migrar del plástico al exterior lo que es peligroso ya que hay pruebas de toxicidad reproductiva en animales, agente cancerígeno y puede causar problemas hepáticos. La toxicidad en humanos se está estudiando.

Estabilizantes: evitan que algunos polímeros se degraden en las condiciones de operación, generalmente por integridad mecánica, exposición a la luz (especialmente UV) y también debido a la oxidación. Son variados y dependen del polímero a estabilizar y la propiedad que se necesita proteger.

Colorantes: obviamente dan un color determinado a un polímero. Se pueden utilizar tintes o pigmentos. También se pueden añadir aditivos para dar opacidad.

Ignífugos: La inflamabilidad de los polímeros es del máximo interés sobre todo en la fabricación de productos textiles y de juguetes. La mayoría de los polímeros en estado puro son inflamables a excepción de los que contienen fluoruros y cloruros. Estos compuestos tienen la misión de interferir el proceso de la combustión mediante una fase gaseosa o iniciando una reacción química que enfría la zona y cesa el fuego.

5.6. Usos generales de plásticos, elastómeros, fibras y adhesivos. Las aplicaciones de los polímeros son muy amplias y a continuación se resumen algunas comunes para los polímeros estudiados en estos temas y que se dividen en termoplásticos, plásticos termoestables y elastómeros. El uso de fibras cada vez es más importante, principalmente para la fabricación de materiales compuestos.

POLIMEROS TERMOPLASTICOS. POLIETENO (PE): Químicamente resistentes y eléctricamente aislantes, blandos, baja resistencia mecánica y poca resistencia a la degradación medioambiental. Contenedores, aislante eléctrico, tubos, artículos para el hogar, botellas, juguetes, cubiteras y en láminas para recubrimientos. **CLORURO DE POLIVINILO (PVC)**: Son baratos y de uso muy general, existen la variedad de rígido (sin aditivos) y plastificado (con aditivos); el primero es utilizado para tuberías y canalones, estructura de ventanas y decoración. Ha sido muy popular su usos en los antiguos discos fonográficos “vinilos”. El plastificado tiene más usos, tapizados de muebles y coches, revestimientos de paredes, revestimiento de capotas de coches, revestimientos de cables eléctricos y suelos. Mangas de riego, relleno de refrigeradores, componentes de electrodomésticos en general y en la industria de la ropa se utiliza como cuero artificial y tejidos para algunos tipos de gabardinas. **POLIPROPILENO (PP)**: Resistencia a la distorsión térmica, buena resistencia a la fatiga, químicamente inerte y relativamente barato. Productos para el hogar, partes de coches, embalajes, maletas, electrodomésticos y botellas. **POLIESTIRENO (PS)**: Excelente propiedades eléctricas y claridad óptica, buena estabilidad térmica y relativamente económico. Recubrimiento de interior de automóviles, tejados, juguetes, aislantes térmicos, electrodomésticos, manillares y utensilios de cocina en general. **POLIACRILONITRILO (PAN)**: Extraordinaria transmisión de la luz y gran resistencia a la degradación ambiental, pero con propiedades mecánicas mediocres. En forma de fibra como lana en jerseys y mantas. Lentes, ventanas de avión. Se utiliza mucho como co-monomero para producir los polímeros de gran utilidad como resinas SAN y ABS. **ESTIRENO-ACRILONITRILO (SAN)**: Termoplásticos estireno-acrilonitrilo se utilizan en la fabricación de espejos, componentes de automóviles, manillares, jeringuillas, cristales de seguridad y menaje de cocina (tazas y vasos). **ACRILONITRILO-BUTADIENO-ESTIRENO (ABS)**: Gran resistencia y tenacidad, buenas propiedades eléctricas pero es soluble en algunos disolventes orgánicos. Se usa en tubería (drenaje, desagüe, ventilación), herramientas, recubrimientos de puertas e interiores de frigoríficos, carcasas de ordenadores, teléfonos, equipos de jardinería, y como escudo frente a interferencias electromagnéticas de radio frecuencia. **METACRILATO DE POLIMETILO (PMMA)**: Acristalado de aviones y embarcaciones, iluminación exterior y señales publicitarias, lunas traseras de automóviles, pantallas de seguridad, gafas protectoras, picaportes, asas y muebles domésticos. **POLITETRAFLUORETILENO (PTFE)**: Sobresaliente inercia química, excelente propiedades

eléctricas y bajo coeficiente de fricción. Se usa para tuberías resistentes a reactivos químicos, aislamiento de cables a alta temperatura, recubrimientos anti-adherentes a temperaturas moderadas (hasta 200 °C). También como manguitos, juntas, válvulas químicamente resistentes, anillos de estancamiento y cojinetes. La famosa fibra GoreTex® de uso extendido en calzado de montaña por ser transpirable pero impermeable está basado en el PTFE “basado en la propiedad hidrófoba del teflón). **POLICLOROTRIFLUORETILENO (PCTFE)**: Propiedades parecidas al anterior. Se usa en equipos de procesamiento químico, juntas elásticas, anillos de estancamientos, componentes eléctricos. **POLIAMIDAS**: (o nylons) tienen buena resistencia mecánica y a la abrasión y bajo coeficiente de fricción. Se usa para telas, cojinetes no lubricados, piezas de alto impacto que requieren resistencia y rigidez, velocímetros, limpiaparabrisas. Reforzado con vidrio se utiliza en aspas de motor, y tapaderas de válvulas. Se utiliza en embalajes, soportes de antena, aislamiento de alambres, etc. **POLICARBONATOS (PC)**: Son dimensionalmente estables, extraordinaria resistencia química, gran resistencia al impacto y alta ductilidad y buena transparencia. Por todo ello son muy utilizados, p. ej. en pantallas de seguridad, cascos, engranajes y levas, componentes de vuelo y propulsores de barcos, equipamiento luminoso para tráfico, lentes (cristales irrompibles), ventanas de plástico, terminales y carcasas de ordenador, CD, y base para películas fotográficas. **POLIOXOMETILENO (POM)**: también conocidos como *acetales*, están reemplazando a muchas piezas metálicas de Zn, Al y latón debido a su bajo coste y gran resistencia que permite construir piezas de alta precisión. Usos como cinturones de seguridad, manivelas de ventanas, sedales de pesca, bolígrafos, levas, e incluso en cremalleras de polímero.

POLÍMEROS TERMOESTABLES. POLIESTERES: tienen excelente propiedades eléctricas y son muy baratos. Sirven como matriz para ser reforzados con fibras. Los dos más comunes son el PBT (tereftalato de polibutadieno) y el PET (tereftalato de polietileno). PET se utiliza como alfombras, encordelado de neumáticos, y resinas de envase. PBT tiene un bajo coste se usa mucho en la actualidad: conectores, enchufes, relés, componentes de alto voltaje, consolas terminales, timbres. Se utiliza mucho en electrodomésticos, también como sillas, ventiladores o incluso como componente del casco de barcos pequeños. En forma de cintas delgadas se usan como soporte del material magnético en cintas magnetofónicas y de vídeo. **POLIESTERES INSATURADOS**: reforzados con vidrio se utiliza para paneles de automóviles y para prótesis. Para fabricar botes pequeños y componentes de baño. Para tubería, tanques y conductos si se requiere una gran resistencia a la corrosión. **FENOLICOS**: p. ej. la baquelita, fueron de los primeros plásticos descubiertos en la primera década del siglo XX por Baekeland. Todavía se utilizan por su bajo coste y sus excelentes propiedades como aislantes (térmico y eléctrico). Se pueden utilizar como material de relleno para otros polímeros y en materiales compuestos. Además del uso en todo tipo de interruptores eléctricos, en piezas “ligeras” en la industria del automóvil como piezas del sistema de transmisión, carcasa de motores, teléfonos, distribuidores de automóvil (DELCO). Se utilizan como botones, tiradores y debido a las buenas propiedades adhesivas como laminados de maderas (y otros materiales) contrachapados. **RESINAS EPOXI**: Tienen excelentes propiedades mecánicas y de resistencia a la corrosión. Buena adherencia y relativamente baratos. Como recubrimientos protectores y decorativos por su buena adherencia y gran resistencia mecánica y química. Forros para latas, baterías y recubrimientos de neumáticos. Por sus buenas propiedades aislantes como encapsulamiento de materiales semiconductores (p.ej. transistores). Matrices para materiales compuestos (p. ej. fibra de carbono). **POLIURETANO**: Buena estabilidad térmica y propiedades elásticas: suelas de zapatos, partes de coches, fibras, espumas.

ELASTOMEROS. Son conocidos como gomas por su capacidad de sufrir un gran alargamiento elástico que se puede recuperar si cesa el esfuerzo. **CAUCHO NATURAL:** cis-poliisopreno es el natural (caucho) que vulcanizado se utiliza como neumáticos para coches, tacones y suelas de zapato, juntas en general. Sin embargo, en 1980 el 70 % del mercado del caucho mundial son cauchos sintéticos. **CAUCHO ESTIRENO-BUTADIENO (SBR):** es el caucho sintético más importante. Un co-polímero que contiene entre un 20 y 23 % de PS. Es más barato que el caucho natural, p. ej. ahora se utilizan en llantas de neumáticos. Son más resistentes al desgaste pero tienen el inconveniente de que pueden absorber disolventes orgánicos como aceite y gasolina. Usos similares a los del caucho natural. **CAUCHO DE NITRILO (NBR):** copolímero de butadieno (PB) y acrilonitrilo (PAN) con una proporción del 55 al 82 % de PB. Los grupos nitrilo proporcionan una mayor resistencia a los aceites minerales y animales así como al calor y a la abrasión, sin embargo, estos cauchos son más caros que los anteriores. Las aplicaciones son especiales donde se requieran estas propiedades, p. ej., manguitos de alta resistencia para el flujo de aceites y disolventes en los componentes de los coches, mangueras para distribución de gasolina y aceite, tacones y suelas de calzado. **CAUCHO DE POLICLOROPRENO (NEOPRENO):** son cauchos similares a los de isopreno donde se sustituye el grupo metilo por un átomo de cloro. Esto aumenta la resistencia del doble enlace (resisten el ozono y la degradación medio ambiental) y buena resistencia a la llama, además son de mayor fortaleza que los ordinarios aunque son también más caros. Los usos más comunes son recubrimientos de cables, recubrimientos internos de tanques para productos químicos, mangueras y abrazaderas industriales, precintos y diafragmas de automóviles, correas y en forma de trajes para inmersión sub-acuática. **CAUCHO DE SILICONA:** Un ejemplo es el polidimetil siloxano, aunque hay otros cauchos de silicona con radicales diferentes como fenilos. La ventaja principal de estos cauchos residen en su amplio rango de temperatura de trabajo, poca resistencia mecánica y excelentes propiedades eléctricas (aislantes). Como usos principales se puede destacar el sellado, junta de materiales, aislantes eléctricos, tubos de uso alimentario y médicos, y cebadores de bujías.

Aleaciones de polímeros. Son mezcla de varios polímeros para mejorar las propiedades p. ej. ABS/PC, ABS/PVC, PC/PE, PC/PBT o PBT/PET. Se combinan las propiedades y se rebajan los costes.

Un uso importante de los polímeros es como **adhesivos o pegamentos**. Hay varios tipos de adhesivos que se pueden elegir en función de la temperatura de trabajo, tiempo de curado, resistencia que se requiere, etc. La temperatura es uno de los parámetros primordiales ya que el polímero adhesivo nunca debe usarse a $T > T_g$. Uno de los pegamentos más comunes son los cianocrilatos, que tienen un tiempo de curado relativamente muy rápido (del orden de varios minutos) para alcanzar su resistencia definitiva. En cambio los poliuretanos y los epoxy, requieren tiempos de curado superiores a la hora. El endurecimiento del polímero puede ser causado por diferentes factores como 1) *por reacción química* (p. ej. adhesivos base epoxy, y los tipo elastoméricos como poliuretanos y derivados del caucho); 2) *por enfriamiento* (como las poliamidas) que se aplican a alta temperatura y estos polímeros termoestables (en estado fundido al ser aplicados) cuando baja la temperatura, solidifican, y unen los materiales o piezas que se desean; 3) *por evaporación* en la que se aplica la mezcla disolvente volátil y polímero (encolado) y al quedar el residuo polimérico sin disolvente hace de unión.