

Polímeros

1 - Introducción

La materia esta formada por moléculas que pueden ser de tamaño normal o moléculas gigantes llamadas polímeros. Los polímeros se producen por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas denominadas monómeros que forman enormes cadenas de las formas más diversas. Algunas parecen cadenas, otras tienen ramificaciones. algunas se asemejan a las escaleras de mano y otras son como redes tridimensionales.

Existen polímeros naturales como el algodón, formado por fibras de celulosas. La celulosa se encuentra en la madera y en los tallos de muchas plantas, y se emplean para hacer telas y papel. La seda y la lana son otros ejemplos. El hule de los árboles de hevea y de los arbustos de Guayule, son también polímeros naturales importantes.

Sin embargo, la mayor parte de los polímeros que se utilizan en las actividades diarias son materiales sintéticos con propiedades y aplicaciones variadas. Lo que distingue a los polímeros de los materiales constituidos por moléculas de tamaño normal son sus propiedades mecánicas. En general, los polímeros tienen una mayor resistencia mecánica debido a que las grandes cadenas poliméricas se atraen. Las fuerzas de atracción intermoleculares dependen de la composición química del polímero y pueden ser de varias clases.

2 - Concepto y clasificación

Un polímero (del griego poly, muchos; meros, parte, segmento) es una sustancia cuyas moléculas son, por lo menos aproximadamente, múltiplos de unidades de peso molecular bajo. La unidad de bajo peso molecular es el monómero. Si el polímero es rigurosamente uniforme en peso molecular y estructura molecular, su grado de polimerización es indicado por un numeral griego, según el número de unidades de monómero que contiene; así, hablamos de dímeros, trímeros, tetrámero, pentámero y sucesivos. El término polímero designa una combinación de un número no especificado de unidades. De este modo, el trióximetileno, es el trímero del formaldehído, por ejemplo.

Si el número de unidades es muy grande, se usa también la expresión gran polímero. Un polímero no tiene la necesidad de constar de moléculas individuales todas del mismo peso molecular, y no es necesario que tengan todas la misma composición química y la misma estructura molecular. Hay polímeros naturales como ciertas proteínas globulares y polícarbohidratos, cuyas moléculas individuales tienen todas el mismo peso molecular y la misma estructura molecular; pero la gran mayoría de los polímeros sintéticos y naturales importantes son mezclas de componentes poliméricos homólogos. La pequeña variabilidad en la composición química y en la estructura molecular es el resultado de la presencia de grupos finales, ramas ocasionales, variaciones en la orientación de unidades monómeros y la irregularidad en el orden en el que se suceden los diferentes tipos de esas unidades en los copolímeros. Estas variedades en general no suelen afectar a las propiedades del producto final, sin embargo, se ha descubierto que en ciertos casos hubo variaciones en copolímeros y ciertos polímeros cristalinos.

Lo que distingue a los polímeros de los materiales constituidos por moléculas de tamaño normal son sus propiedades mecánicas. En general, los polímeros tienen una muy buena resistencia mecánica debido a que las grandes cadenas poliméricas se atraen. Las fuerzas de atracción intermoleculares dependen de la composición química del polímero y pueden ser de varias clases. Las más comunes, denominadas Fuerzas de Van der Waals.

3 - Polímeros más comunes

El consumo de polímeros o plásticos ha aumentado en los últimos años. Estos petroquímicos han sustituido parcial y a veces totalmente a muchos materiales naturales como la madera, el algodón, el papel, la lana, la piel, el acero y el cemento. Los factores que han favorecido el mercado de los plásticos son los precios competitivos y a veces inferiores a los de los productos naturales, y el hecho de que el petróleo ofrece una mayor disponibilidad de materiales sintéticos que otras fuentes naturales. La crisis petrolera de 1974 también influyó en el aumento del consumo de los plásticos, sobre todo en la industria automotriz. Los plásticos permitían disminuir el peso de los vehículos, lo cual repercutía en un ahorro en el consumo de combustible por kilómetro recorrido. Entre los polímeros usados para reducir el peso de los automóviles se encuentran los poliésteres, polipropileno, cloruro de polivinilo, poliuretanos, polietileno, nylon y ABS (acrilonitrilo-butadienoestireno). Sin embargo, el mercado más grande de los plásticos es el de los empaques y embalajes.

Veamos en qué forma los polímeros derivados del petróleo constituyen una parte muy importante de nuestra vida. Los encontramos en nuestros alimentos, medicinas, vestidos, calzado, casas, edificios, escuelas, oficinas, campos, fábricas y en todos los vehículos usados como medios de transporte.

4 - Polímeros termoplásticos

Los termoplásticos son polímeros de cadenas largas que cuando se calientan se reblandecen y pueden moldearse a presión. Representan el 78-80% de consumo total. Los principales son:

Polietileno

Éste es el termoplástico más usado en nuestra sociedad. Los productos hechos de polietileno van desde materiales de construcción y aislantes eléctricos hasta material de empaque. Es barato y puede moldearse a casi cualquier forma, extruirse para hacer fibras o soplarse para formar películas delgadas. Según la tecnología que se emplee se pueden obtener dos tipos de polietileno

Polietileno de Baja Densidad. Dependiendo del catalizador, este polímero se fabrica de dos maneras: a alta presión o a baja presión. En el primer caso se emplean los llamados iniciadores de radicales libres como catalizadores de polimerización del etileno. El producto obtenido es el polietileno de baja densidad ramificado;

Cuando se polimeriza el etileno a baja presión se emplean catalizadores tipo Ziegler Natta y se usa el buteno-1 como comonomero. De esta forma es como se obtiene el propileno de baja densidad lineal, que posee características muy particulares, como poder hacer películas más delgadas y resistentes.

Polietileno de alta densidad (HDPE). Cuando se polimeriza el etileno a baja presión y en presencia de catalizadores ZieglerNatta, se obtiene el polietileno de alta densidad (HDPE). La principal diferencia es la flexibilidad, debido a las numerosas ramificaciones de la cadena polimérica a diferencia de la rigidez del HDPE.

Se emplea para hacer recipientes moldeados por soplado, como las botellas y los caños plásticos(flexibles, fuertes y resistentes a la corrosión).

El polietileno en fibras muy finas en forma de red sirve para hacer cubiertas de libros y carpetas, tapices para muros, etiquetas y batas plásticas.

Polipropileno

El polipropileno se produce desde hace más de veinte años, pero su aplicación data de los últimos diez, debido a la falta de producción directa pues siempre fue un subproducto de las refinerías o de la desintegración del etano o etileno.

Como el polipropileno tiene un grupo metilo (CH_3) más que el etileno en su molécula, cuando se polimeriza, las cadenas formadas dependiendo de la posición del grupo metilo pueden tomar cualquiera de las tres estructuras siguientes:

1. **Isotáctico**, cuando los grupos metilo unidos a la cadena están en un mismo lado del plano.
2. **Sindiotáctico**, cuando los metilos están distribuidos en forma alternada en la cadena.
3. **Atáctico**, cuando los metilos se distribuyen al azar.

Posee una alta cristalinidad, por lo que sus cadenas quedan bien empaquetadas y producen resinas de alta calidad.

El polipropileno se utiliza para elaborar bolsas de freezer y microondas ya que tienen una buena resistencia térmica y eléctrica además de baja absorción de humedad. Otras propiedades importantes son su dureza, resistencia a la abrasión e impacto, transparencia, y que no es tóxico. Asimismo se usa para fabricar carcasas, juguetes, valijas, jeringas, baterías, tapicería, ropainterior y ropa deportiva, alfombras, cables, selladores, partes automotrices y suelas de zapatos.

Cloruro de polivinilo (PVC)

Este polímero se obtiene polimerizando el cloruro de vinilo. Existen dos tipos de cloruro de polivinilo, el flexible y el rígido. Ambos tienen alta resistencia a la abrasión y a los productos químicos. Pueden estirarse hasta 4 veces y se suele copolimerizar con otros monómeros para modificar y mejorar la calidad de la resina. Las resinas de PVC casi nunca se usan solas, sino que se mezclan con diferentes aditivos.

El PVC flexible se destina para hacer manteles, cortinas para baño, muebles, alambres y cables eléctricos; El PVC rígido se usa en la fabricación de tuberías para riego, juntas, techado y botellas.

Poliestireno (PS)

El poliestireno(ps) es el tercer termoplástico de mayor uso debido a sus propiedades y a la facilidad de su fabricación. Posee baja densidad, estabilidad térmica y bajo costo. El hecho de ser rígido y quebradizo lo desfavorecen. Estas desventajas pueden remediarse copolimerizándolo con el acrilonitrilo (más resistencia a la tensión).

Es una resina clara y transparente con un amplio rango de puntos de fusión. Fluye fácilmente, lo que favorece su uso en el moldeo por inyección; Posee buenas propiedades eléctricas, absorbe poco agua (buen aislante eléctrico), resiste moderadamente a los químicos, pero es atacado por los hidrocarburos aromáticos y los clorados. Se comercializa en tres diferentes formas y calidades:

De uso común, encuentra sus principales aplicaciones en los mercados de inyección y moldeo.

Poliestireno de impacto(alto, medio y bajo) que sustituye al de uso general cuando se desea mayor resistencia. Utilizada para fabricar electrodomésticos, juguetes y muebles.

Expandible se emplea en la fabricación de espuma de poliestireno que se utiliza en la producción de accesorios para la industria de empaques y aislamientos.

Los usos más comunes son

Poliestireno de medio impacto: Vasos, cubiertos y platos descartables, empaques, juguetes.

Poliestireno de alto impacto: Electrodomésticos(radios, TV, licuadoras, teléfonos lavadoras), tacos para zapatos, juguetes.

Poliestireno cristal: piezas para cassettes, envases desechables, juguetes, electrodomésticos, difusores de luz, plafones.

Poliestireno Expandible: envases térmicos, construcción (aislamientos, tableros de cancelería, plafones, casetones, etc.).

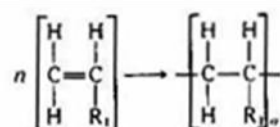
Estireno-acrilonitrilo (SAN)

Este copolímero tiene mejor resistencia química y térmica, así como mayor rigidez que el poliestireno. Sin embargo no es transparente por lo que se usa en artículos que no requieren claridad óptica. Algunas de sus aplicaciones son la fabricación de artículos para el hogar.

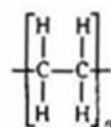
Copolímero acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS)

Estos polímeros son plásticos duros con alta resistencia mecánica, de los pocos termoplásticos que combinan la resistencia con la dureza. Se pueden usar en aleaciones con otros plásticos. Así por ejemplo, el ABS con el PVC nos da un plástico de alta resistencia a la flama que le permite encontrar amplio uso en la construcción de televisores. Sus cualidades son una baja temperatura de ablandamiento, baja resistencia ambiental y baja resistencia a los agentes químicos

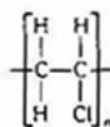
Estructura de radicales. Polímeros mas usuales



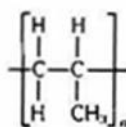
donde R_1 puede ser otro tipo de átomo o grupo de átomos. La Figura muestra el enlace estructural de algunos polímeros de vinilo



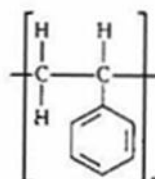
Poliétileno
p.e. 110-137 °C
(230-278 °F)



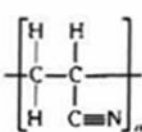
Cloruro de polivinilo
p.e. ≈ 204 °C (≈ 400 °F)



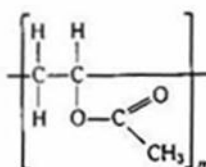
Polipropileno
p.e. 165-177 °C
(330-350 °F)



Poliestireno
p.e. 150-243 °C
(330-470 °F)



Poliacrilonitrilo
(no funde)



Acetato de polivinilo
p.e. 177 °C (350 °F)

Propiedades de termoplásticos de uso general

Material	Densidad, g/cm ³	Resistencia a la tensión, ×1000 psi*	Resistencia al impacto, Izod, pie-lb/pulg†	Rigidez dieléctrica, V/mil‡	Temp. de utilización máxima (no la de carga)	
					°F	°C
Poliétileno						
Baja-densidad	0,92-0,93	0,9-2,5	---	480	180-212	82-100
Alta densidad	0,95-0,96	2,9-5,4	0,4-1,4	480	175-250	80-120
PVC rígido, clorado	1,49-1,58	7,5-9	1,0-5,6		230	110
Polipropileno	0,90-0,91	4,8-5,5	0,4-2,2	650	225-300	107-150
de uso general						
Estireno-acrilonitrilo (SAN)	1,08	10-12	0,4-0,5	1775	140-220	60-104
ABS, de uso general	1,05-1,07	5,9	6	385	160-200	71-93
Acrílico de uso general	1,11-1,19	11,0	2,3	450-500	130-230	54-110
Acetato de celulosa	1,2-1,3	3-8	1,1-6,8	250-600	140-220	60-104
Politetrafluoroetileno	2,1-2,3	1-4	2,5-4,0	400-500	550	288
Nylon 6,6	1,13-1,15	9-12	2,0	385	180-300	82-150
Poliacetal, homo	1,42	10	1,4	320	195	90
Policarbonato	1,2	9	12-16	380	250	120
Poliéster:						
PET	1,37	10,4	0,8	---	175	80
PBT	1,31	8,0-8,2	1,2-1,3	590-700	250	120
Oxido de polifenileno	1,06-1,10	7,8-9,6	5,0	400-500	175-220	80-105
Polisulfona	1,24	10,2	1,2	425	300	150
Sulfuro de polifenileno	1,34	10	0,3	595	500	260

* 1000 psi = 6,9 MPa.

† Ensayo de muesca de Izod: 1 pie-lb/pulg. = 53,38 J/m.

‡ V/mil = 39,4 V/mm.

5 – Polímeros termorrígidos

Estos materiales se caracterizan por tener cadenas poliméricas entrecruzadas, formando una resina con una estructura tridimensional que no se funde. Polimerizan irreversiblemente bajo calor o presión formando una masa rígida y dura. Las uniones cruzadas se pueden obtener mediante agentes que las provoquen, como en el caso de la producción de las resinas epóxicas.

Los polímeros termofijos pueden reforzarse para aumentar su calidad, dureza y resistencia a la corrosión. El material de refuerzo más usado es la fibra de vidrio (la proporción varían entre 20-30%) El 90% de las resinas reforzadas son de poliéster.

Cuando se hace reaccionar un glicol y un isocianato con más de dos grupos funcionales, se forma un polímero termoestable

Poliuretanos

Los poliuretanos pueden ser de dos tipos, flexibles o rígidos, dependiendo del poliol usado. Los flexibles se obtienen cuando el di-isocianato se hace reaccionar con diglicol, triglicol, poliglicol, o una mezcla de éstos; Los poliuretanos rígidos se consiguen utilizando trioles obtenidos a partir del glicerol y el óxido de propileno. El uso más importante del poliuretano flexible son el relleno de colchones.

En el pasado, los paragolpes de los autos se hacían de metal; actualmente se sustituyeron por uretano elastomérico moldeado, el mismo material usado para los volantes, defensas y tableros de instrumentos, puesto que resisten la oxidación, los aceites y la abrasión. Otros usos: bajo alfombras, recubrimientos, calzado, juguetes y fibras.

Por su resistencia al fuego se usa como aislante de tanques, recipientes, tuberías y aparatos domésticos como refrigeradores y congeladores.

Urea, resinas y melamina

La urea se produce con amoníaco y bióxido de carbono; La melamina está constituida por tres moléculas de urea. Tanto la urea como la melamina tienen propiedades generales muy similares, aunque existe mucha diferencia en sus aplicaciones. A ambas resinas se les conoce como aminorresinas. Estos artículos son claros como el agua, fuertes y duros, pero se pueden romper. Tienen buenas propiedades eléctricas.

Se usan principalmente como adhesivos para hacer madera aglomerada, gabinetes para radio y botones. Las resinas melamina-formaldehído se emplean en la fabricación de vajillas y productos laminados que sirven para cubrir muebles de cocina, mesas y escritorios.

Resinas fenólicas

La reacción entre el fenol y el formaldehído tiene como resultado las resinas fenólicas o fenoplast. Existen dos tipos de resinas fenólicas, los resols y el novolac.

Los **resols** se obtienen cuando se usa un catalizador básico en la polimerización. El producto tiene uniones cruzadas entre las cadenas que permiten redes tridimensionales Termofijas.

El **novolac** se hace usando catalizadores ácidos. Aquí las cadenas no tienen uniones cruzadas por lo que el producto es permanentemente soluble y fundible.

Las propiedades más importantes de los termofijos fenólicos son su dureza, su rigidez y su resistencia a los ácidos. Tienen excelentes propiedades aislantes y se pueden usar continuamente hasta temperaturas de 150°C. Se usan para producir controles, manijas, aparatos, pegamentos, adhesivos, material aislante., laminados para edificios, muebles, tableros y partes de automóviles. Estas resinas son las más baratas y las más fáciles de moldear. Pueden reforzarse con aserrín de madera, aceites y fibra de vidrio. Las tuberías de fibra de vidrio con resinas fenólicas pueden operar a 150°C y presiones de 10 kg/cm².

Resinas epoxídicas

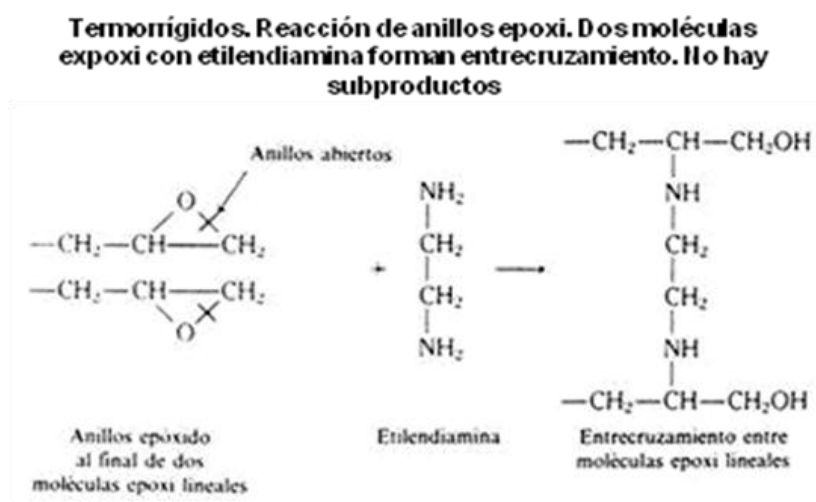
Casi todas las resinas epóxicas comerciales se hacen a partir del bisfenol A (obtenido a partir del fenol y la acetona), y la epiclorhidrina (producida a partir del alcohol alílico). Sus propiedades más importantes son: alta resistencia a temperaturas hasta de 500°C, elevada adherencia a superficies metálicas y excelente resistencia a los productos químicos. Se usan principalmente en recubrimientos de latas, tambores, superficies de acabado de aparatos y como adhesivo.

Resinas poliéster

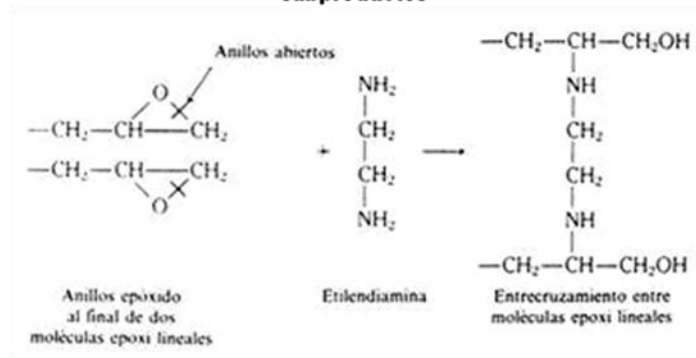
Estas resinas se hacen principalmente a partir de los anhídridos maleico y ftálico con propilenglicol y uniones cruzadas con estireno. El uso de estas resinas con refuerzo de fibra de vidrio ha reemplazado a materiales como los termoplásticos de alta resistencia, madera, acero al carbón, vidrio y acrílico, lámina, cemento, yeso, etc.

Las industrias que más la utilizan son la automotriz, marina y la construcción. Las resinas de poliéster saturado se usan en las lacas para barcos, en pinturas para aviones y en las suelas de zapatos.

Estructuras de radicales de termorrígidos



Termorrígidos. Reacción de anillos epoxi. Dos moléculas epoxi con etilendiamina forman entrecruzamiento. No hay subproductos



Propiedades

Propiedades de termorrígidos seleccionados

Material	Densidad, g/cm ³	Resistencia a la tensión, × 1000 psi*	Resistencia al impacto Izod, pie · lb/pulg†	Rigidez dieléctrica, V/mil‡	Temp. de utilización máxima (no la de carga)	
					°F	°C
Fenólico:						
Relleno de harina- madera	1,34-1,45	5-9	0,2-0,6	260-400	300-350	150-177
Relleno de mica	1,65-1,92	5,5-7	0,3-0,4	350-400	250-300	120-150
Relleno de vidrio	1,69-1,95	5-18	0,3-18	140-400	360-550	177-268
Poliéster:						
Relleno de vidrio SMC	1,7-2,1	8-20	8-22	320-400	300-350	150-177
Relleno de vidrio BMC	1,7-2,3	4-10	15-16	300-420	300-350	150-177
Melamina:						
Relleno de celulosa	1,45-1,52	5-9	0,2-0,4	350-400	250	120
Relleno de lana	1,50-1,55	7-9	0,4-0,5	300-330	250	120
Relleno de vidrio	1,8-2,0	5-10	0,6-18	170-300	300-400	150-200
Urea, relleno de celulosa	1,47-1,52	5,5-13	0,2-0,4	300-400	170	77
Alquídica:						
Relleno de vidrio	2,12-2,15	4-9,5	0,6-10	350-450	450	230
Relleno de mineral	1,60-2,30	3-9	0,3-0,5	350-450	300-450	150-230
Epoxi (bis A):						
Sin relleno	1,06-1,40	4-13	0,2-10	400-650	250-500	120-260
Relleno de mineral	1,6-2,0	5-15	0,3-0,4	300-400	300-500	150-260
Relleno de vidrio	1,7-2,0	10-30	---	300-400	300-500	150-260

* 1000 psi = 6,9 MPa.

† Ensayo de muestra de Izod: 1 pie · lb/pulg = 53,38 J/m.

‡ 1 V/mil = 39,4 V/mm.

Fuente: Materials Engineering, mayo 1972.

6 – Elastómeros

Los elastómeros suelen ser normalmente polímeros termoestables pero pueden ser también termoplásticos. Las largas cadenas poliméricas enlazan durante el curado. La estructura molecular de los elastómeros puede ser imaginada como una estructura de "espaguetis con albóndigas", en dónde las albóndigas serían los enlaces. La elasticidad proviene de la habilidad de las cadenas para cambiar su posición por sí mismas y así distribuir una cierta tensión aplicada. El enlace covalente asegura que el elastómero retornará a su posición original una vez deje de aplicarse la tensión. Como resultado de esa extrema flexibilidad, los elastómeros pueden alargarse de un 5% a un 700%, dependiendo del material en concreto. Sin los enlaces o con pocos de ellos, la tensión aplicada puede provocar una deformación permanente.

Los efectos de la temperatura están también presentes en la elasticidad de un polímero. Los elastómeros que han sido enfriados llevándolos a una fase vítrea o cristalina tendrán menos

movilidad en las cadenas, y consecuentemente menos elasticidad que aquellos manipulados a temperaturas superiores a la temperatura de transición vítrea del polímero.

Es también posible para un polímero exhibir elasticidad que no es debida a los enlaces covalentes, sino a razones termodinámicas.

Existen muchas clasificaciones posibles de los numerosos tipos de elastómeros. En primer lugar se indica la clasificación más extendida, según la composición química, con su nomenclatura (norma ISO 1629). A continuación se presenta la clasificación según las propiedades a alta temperatura.

Clasificación según su composición química

Grupo R (del inglés *Rubber*) - la cadena principal se compone de carbono e hidrógeno y contiene dobles enlaces

- Caucho natural (NR)
- Poliisopreno (IR, forma artificial del caucho natural)
- Polibutadieno
- Caucho estireno-butadieno (SBR)
- Caucho butilo (IIR)
- Caucho nitrilo (NBR)
- Neopreno (CR)

Grupo M (del inglés *Methylene*) - su cadena principal sólo contiene átomos de carbono e hidrógeno y está saturada (no dobles enlaces)

- Caucho etileno-propileno (EPM)
- Caucho etileno-propileno-dieno (EPDM)
- Caucho etileno-acetato de vinilo (EVM)
- Caucho fluorado (FKM)
- Caucho acrílico (ACM)
- Polietileno clorado (CM)

Grupo N - contiene átomos de nitrógeno en la cadena principal

- "Pebax", copolímero de poliamida y poliéster

Grupo O - contiene átomos de oxígeno en la cadena principal

- Caucho de epiclorohidrina (ECO)

Grupo Q - contiene grupos siloxano en la cadena principal

- Caucho de silicona (MQ)

Grupo U - contiene átomos de nitrógeno, oxígeno y carbono en la cadena principal

- Elastómeros de poliuretano (AU y EU)

Grupo T - contiene átomos de azufre en la cadena principal

- Caucho de polisulfuro o "Thiokol"

Clasificación según su comportamiento a alta temperatura

Elastómeros termoestables

Al calentarlos no cambian de forma y siguen siendo sólidos hasta que, por encima de una cierta temperatura, se degradan. La mayoría de los elastómeros pertenecen a este grupo

Elastómeros termoplásticos

Al elevar la temperatura se vuelven blandos y moldeables. Sus propiedades no cambian si se funden y se moldean varias veces. Este tipo de materiales es relativamente reciente, el primero fue sintetizado en 1959. Familias principales:

- Estirénicos (SBCs)
 - Estireno-butadieno-estireno (SBS) de alto y bajo contenido en estireno
 - Estireno-etileno-butileno-estireno (SEBS)
 - Estireno-isopreno-estireno (SIS)
- Olefínicos (TPOs)
- Vulcanizados termoplásticos (TPVs)
- Poliuretano termoplástico (TPUs)
- Copoliésteres (COPEs)
- Copoliamidas (COPAs)

Caucho

El **caucho** es un polímero de muchas unidades, encadenadas de un hidrocarburo elástico, el isopreno C_5H_8 que surge como una emulsión lechosa (conocida como látex) en la savia de varias plantas, pero que también puede ser producido sintéticamente. La principal fuente comercial de látex son las euforbiáceas, del género *Hevea*, como *Hevea brasiliensis*. Otras

plantas que contienen látex son el ficus *euphorbia* y el diente de león común. Se obtiene caucho de otras especies como *Urceola elastica* de Asia y la *Funtaria elastica* de África occidental. Éstas no han sido la fuente principal del caucho, aunque durante la Segunda Guerra Mundial, hubo tentativas para usar tales fuentes, antes de que el caucho natural fuera suplantado por el desarrollo del caucho sintético.

Usos

Actualmente se fabrican miles de artículos de caucho para usos muy diferentes. El caucho es ampliamente utilizado en la fabricación de neumáticos, llantas, artículos impermeables y aislantes, por sus excelentes propiedades de elasticidad y resistencia ante los ácidos y las sustancias alcalinas. Es repelente al agua, aislante de la temperatura y de la electricidad. Se disuelve con facilidad ante petrolatos, bencenos y algunos hidrocarburos.

El caucho natural suele vulcanizarse, proceso por el cual el caucho se calienta y se le añade azufre o selenio, con lo que se logra el enlazamiento de los cadenas elastómeros, para mejorar su resistencia a las variaciones de temperatura y elasticidad. El proceso de vulcanización fue descubierto casualmente en 1839 por Charles Goodyear, quien mejoró enormemente la durabilidad y la utilidad del caucho. La vulcanización en frío, desarrollada en 1846 por Alexander Parkes, consiste en sumergir el caucho en una solución de monocloruro de azufre (Cl_2S_2). Actualmente más de la mitad del caucho usado hoy en día es sintético, pero aún se producen varios millones de toneladas de caucho natural anualmente.

Desde 1823 se utiliza el caucho como material para fabricar prendas de vestir, quizás sobre la base que este tipo de ropa se forma una "segunda piel". El caucho hipoalergénico puede producirse a partir de guayule. El caucho es una propuesta para el futuro como aislante en la industria motora.

Caucho estireno-butadieno

El **caucho estireno-butadieno**, frecuentemente abreviado SBR (del inglés *Styrene-Butadiene Rubber*) es un elastómero sintético obtenido mediante la polimerización de una mezcla de estireno y de butadieno. Es el caucho sintético con mayor volumen de producción mundial. Su principal aplicación es en la fabricación de neumáticos.

El **caucho de etileno propileno dieno** o EPDM (Etileno Propileno Dieno tipo M ASTM) se obtiene como un tercer monómero, y resulta especialmente útil para el sellado de líquidos hidráulicos de éster fosfatado, y en sistemas de frenado que utilicen líquidos con base de glicol. También se utiliza en el sellado de juntas en los automóviles, y como lámina impermeabilizante de cubiertas en la edificación.

Es un termopolímero elastómero que tiene buena resistencia a la abrasión y al desgaste. La composición de este material contiene entre un 45% y un 75% de etileno, siendo en general más resistente cuanto mayor sea este porcentaje.

Tiene buenas propiedades como aislamiento eléctrico, una resistencia muy buena a los agentes atmosféricos, ácidos y álcalis, y a los productos químicos en general, siendo susceptible a ataque por aceites y petróleos. La temperatura de trabajo oscila entre los -40 y los 140 °C.

Polibutadieno. Elastómero o caucho sintético que se obtiene mediante la polimerización de 1,3-Butadieno.

La molécula de butadieno puede polimerizar de tres maneras diferentes, originando tres isómeros llamados *cis*, *trans* y *vinilo*. Las propiedades del polibutadieno son diferentes según la proporción de cada uno de estos isómeros que contenga en sus moléculas. Así por ejemplo el polibutadieno llamado "alto-cis" tiene una alta elasticidad y es muy apreciado mientras que el denominado "alto-trans" es un plástico cristalino sin ninguna aplicación de utilidad.

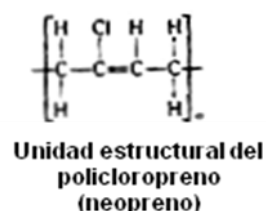
Con una producción anual de 2,1 millones de toneladas (2000), el polibutadieno es el segundo caucho sintético en volumen, por detrás del caucho estireno-butadieno (SBR). Su principal aplicación es la fabricación de neumáticos, la cual consume alrededor del 70% de la producción. Otro 25% se utiliza como aditivo para mejorar la resistencia mecánica de plásticos como el poliestireno y el ABS. También se emplea para fabricar pelotas de golf y objetos elásticos diversos.

Neopreno es la marca comercial de DuPont para una familia de gomas sintéticas basadas en el **policloropreno** (polímero del cloropreno). El Neopreno fue inventado por científicos de DuPont después de que el Dr. Elmer K. Bolton, un empleado de DuPont, acudiera a una conferencia de Julius Arthur Nieuwland, un profesor de química de la Universidad de Notre Dame. El trabajo de Nieuwland estaba basado en la química del acetileno y durante sus trabajos obtuvo divinilacetileno, un compuesto que se convertía en un compuesto elástico similar a la goma al pasar sobre dicloruro de azufre (SCl_2). Después de que DuPont le comprara la patente a la Universidad de Notre Dame, Wallace Carothers y el mismo Nieuwland empezaron a desarrollar una forma de explotar comercialmente el neopreno. Se centraron inicialmente en el monovinilacetileno y lo hicieron reaccionar con cloruro de hidrógeno (HCl), obteniendo cloropreno.

El **policloropreno** es el polímero del cloropreno, la goma sintética conocida como neopreno.

El neopreno, conocido originalmente como **dupreno** (**duprene** en inglés), fue la primera goma sintética producida a escala industrial. Se usa en una gran cantidad de entornos, como trajes húmedos de submarinismo, aislamiento eléctrico y correas para ventiladores de automóviles. Su inercia química lo hace útil en aplicaciones como sellos (o juntas) y mangueras, así como en recubrimientos resistentes a la corrosión. También puede usarse como base para adhesivos. Sus propiedades lo hacen útil como aislante acústico en transformadores. Su elasticidad hace que sea muy difícil plegarlo. Su flexibilidad también lo hace apto para diseñar fundas que se ajusten perfectamente al objeto a proteger.

Estructuras de elastómeros



Propiedades de elastómeros

Elastómero	Resistencia a la tensión, ksi†	Elongación, %	Densidad, g/cm³	Temperatura de operación recomendada	
				°F	°C
Caucho natural* (cis-poliisopreno)	2.5-3.5	750-850	0.93	-60 a 180	-50 a 82
SBR o Buna S* (butadieno-estireno)	0.2-3.5	400-600	0.94	-60 a 180	-50 a 82
Nitrilo o Buna N* (butadieno-acrilonitrilo)	0.5-0.9	450-700	1.0	-60 a 250	-50 a 120
Neopreno* (policloropreno)	3.0-4.0	800-900	1.25	-40 a 240	-40 a 115
Silicona (polisiloxano)	0.6-1.3	100-500	1.1-1.6	-178 a 600	-115 a 315

* Propiedad de goma pura vulcanizada.
† 1000 psi = 6.89 MPa.

Vulcanizado

El vulcanizado es un proceso mediante el cual se calienta el caucho crudo en presencia de azufre, con el fin de volverlo más duro y resistente al frío. Se dice que fue descubierto por Charles Goodyear en 1839 por accidente, al volcar un recipiente de azufre y caucho encima de una estufa. Esta mezcla se endureció y se volvió impermeable, a la que llamó vulcanización en honor al dios Vulcano. Sin embargo, hay estudios que demuestran que un proceso similar a la vulcanización, pero basado en el uso de materiales orgánicos (savia y otros extractos de plantas) fue utilizado por la Cultura Olmeca 3.500 años antes para hacer pelotas de hule destinadas a un juego ritual [1].

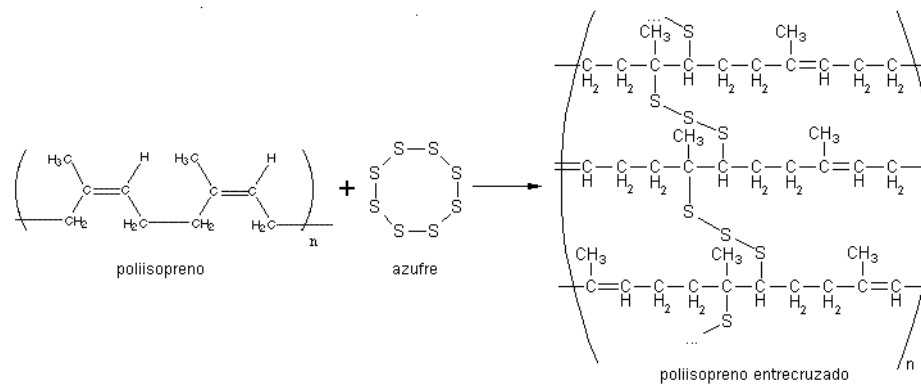
Durante la vulcanización, los polímeros lineales paralelos cercanos constituyen puentes de entrecruzamiento entre sí. El resultado final es que las moléculas elásticas de caucho quedan unidas entre sí a una mayor o menor extensión. Esto forma un caucho más estable, duro, mucho más durable, más resistente al ataque químico y sin perder la elasticidad natural. También transforma la superficie pegajosa del material en una superficie suave que no se adhiere al metal o a los sustratos plásticos.

La vulcanización es un proceso de cura irreversible y debe ser fuertemente contrastado con los procesos termoplásticos que caracterizan el comportamiento de la vasta mayoría de los polímeros modernos. Este proceso irreversible define a los cauchos curados como materiales termorrígidos (no se funden con el calor) y los saca de la categoría de los termoplásticos (como el polietileno y el polipropileno).

Usualmente el entrecruzamiento químico es realizado con azufre, pero existen otras tecnologías como los sistemas basados en peróxidos. Se suelen usar combinadamente con agentes aceleradores y retardadores.

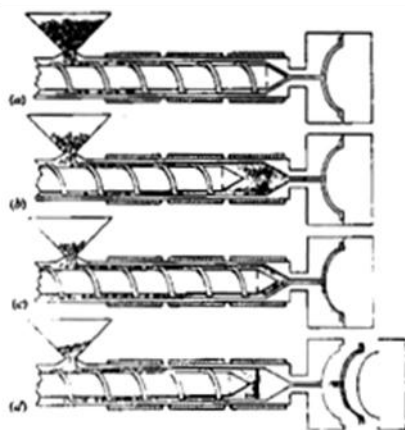
El azufre es un material con singulares propiedades. En determinadas circunstancias, formará cadenas de sus propios átomos. El carbono y el silicio pueden formar también esas

cadena. El proceso de vulcanización hace uso de este fenómeno. A lo largo de la molécula del caucho, hay un número de sitios que son atractivos para los átomos de azufre. Son los llamados sitios de cura. En cada sitio de cura, un átomo de azufre se puede unir a sí mismo, y a partir de allí la cadena de átomos de azufre puede crecer hasta que alcance el sitio de cura de otra molécula. Estos puentes de azufre son usualmente de 2 a 10 átomos de largo, en contraste con los polímeros más comunes en los que la "columna vertebral" de carbonos puede ser varios miles de veces de larga.

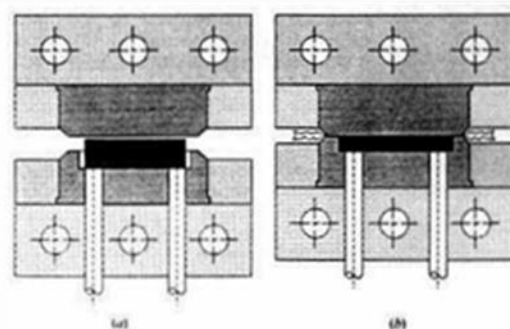


7 - Tecnología de procesamiento

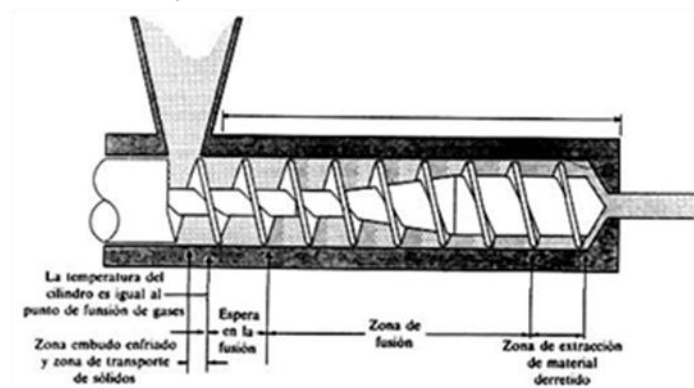
Moldeo por inyección



Prensado



Soplado de films



Los lubricantes mejoran el procesamiento de los polímeros, realizando varias importantes funciones.

Reducen la fricción entre las partículas del material, minimizando el calentamiento por fricción y retrasando la fusión hasta el punto óptimo.

Reducen la viscosidad del fundido promoviendo el buen flujo del material.

Evitan que el polímero caliente se pegue a las superficies del equipo de procesamiento.

A los lubricantes se los clasifican en:

Externos: Reducen la fricción entre las moléculas del polímero y disminuyen la adherencia polímero metal.

Ceras parafínicas: con pesos moleculares entre 300 y 1500, y temperaturas de fusión entre 65 a 75 °C. Las lineales son más rígidas, por su mayor cristalinidad. En las ramificadas, la cristalinidad es menor y los cristales más pequeños.

Ceras de polietileno: son polietilenos de muy bajo peso molecular, ligeramente ramificadas, con temperaturas de fusión de 100 a 130 °C. Son más efectivas que las parafinas.

Ceras tipo éster: obtenidos de cebo. Contienen ácidos grasos con 16 a 18 átomos de carbono. El más importante es el triesterato.

8 - Temperatura de transición vítrea

A temperaturas altas, los polímeros se vuelven líquidos muy viscosos en los que las cadenas están constantemente en movimiento cambiando su forma y deslizándose unas sobre las otras. A temperaturas muy bajas, el mismo polímero se vuelve un sólido duro, rígido y frágil.

El polímero puede solidificar formando un sólido amorfo o uno cristalino. Como se sabe los polímeros con fuertes irregularidades en su estructura tienden a formar sólidos amorfos y los polímeros con cadenas muy simétricas tienden a cristalizar, por lo menos parcialmente.

Un polímero completamente amorfo, a temperaturas altas está en forma de un líquido viscoso, y al enfriarlo, se vuelve cada vez más elástico hasta que llega a la temperatura de transición vítrea, T_g , se convierte en un sólido duro, rígido y frágil. Lo que sucede es que, conforme disminuye la temperatura, el polímero se contrae porque las cadenas se mueven menos y se atraen más. Dado que va disminuyendo el volumen libre, es decir, los espacios entre las moléculas, los segmentos de las cadenas tienen cada vez menos lugar para girar, hasta que al llegar a T_g , dejan de hacerlo, el material se pone rígido y en esas condiciones se vuelve vítreo (es decir frágil), porque como sus cadenas aunque todavía vibran ya no pueden girar para cambiar su posición, y no tienen manera de amortiguar los impactos. A esta restricción del movimiento molecular también contribuye por supuesto, la falta de suficiente energía debida a las bajas temperaturas.

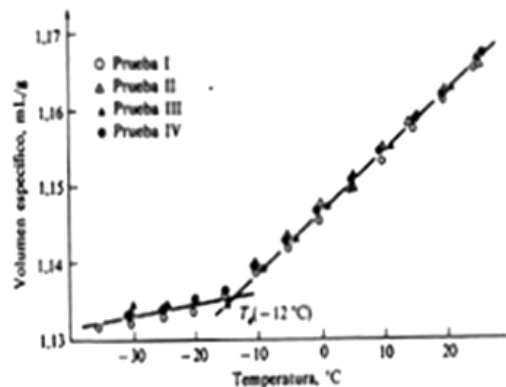
Evidentemente, el estado vítreo lo alcanzan diferentes polímeros a diferentes temperaturas. Los que sean más flexibles, con menos grupos voluminosos o con eteroátomos en sus cadenas, podrán girar o permanecer flexibles a temperaturas menores que los otros. Por ejemplo, las siliconas, el polietileno y el hule natural tienen temperaturas de transición vítrea de -123, -120 y -73 °C respectivamente. En cambio, polímeros con grupos grandes o grupos muy polares o polarizables, tienen de por sí tan baja movilidad que son vítreos a temperatura ambiente y para reblandecerlos se requiere de altas temperaturas.

Temperatura de transición vítrea T_g
De termoplásticos

Polietileno	-110	(nominal)
Polipropileno	-18	(nominal)
Acetato de polivinilo	29	
Cloruro de polivinilo	82	
Poliestireno	75-100	
Metacrilato de polimetilo	72	

* Obsérvese que la T_g de un termoplástico no es una constante física como la temperatura de fusión de un sólido cristalino sino que depende en alguna extensión de variables tales como el grado de cristalinidad, peso molecular promedio de las cadenas poliméricas, y velocidad de enfriamiento del termoplástico.

Temperatura de transición vítrea T_g del polipropileno



9 - Propiedades eléctricas

Los polímeros industriales en general no son conductores eléctricos, por lo que se emplean masivamente en la industria eléctrica y electrónica como materiales aislantes. Las baquelitas (resinas fenólicas) sustituyeron con ventaja a las porcelanas y el vidrio en instalaciones de baja tensión hace ya muchos años; termoplásticos como el PVC y los PE, entre otros, se utilizan en la fabricación de cables eléctricos, llegando en la actualidad a tensiones de aplicación superiores a los 20 KV, y casi todas las carcasas de los equipos electrónicos se construyen en termoplásticos de buenas propiedades mecánicas, además de eléctricas y de gran duración y resistencia al medio ambiente, como son, por ejemplo, las resinas ABS.

Para evitar cargas estáticas en aplicaciones que lo requieran, se ha utilizado el uso de antiestáticos que permite en la superficie del polímero una conducción parcial de cargas eléctricas.

Evidentemente la principal desventaja de los materiales plásticos en estas aplicaciones está en relación a la pérdida de características mecánicas y geométricas con la temperatura. Sin embargo, ya se dispone de materiales que resisten sin problemas temperaturas relativamente elevadas (superiores a los 200 °C).

Las propiedades eléctricas de los polímeros industriales están determinadas principalmente, por la naturaleza química del material (enlaces covalentes de mayor o menor polaridad) y son poco sensibles a la microestructura cristalina o amorfa del material, que afecta mucho más a las propiedades mecánicas. Su estudio se acomete mediante ensayos de comportamiento en campos eléctricos de distinta intensidad y frecuencia. Seguidamente se analizan las características eléctricas de estos materiales.

Los polímeros conductores han sido recientemente (1974) desarrollados y sus aplicaciones están siendo estudiadas.

10 - Films en la industria de los alimentos

La principal propiedad se basa en que hacen de barrera al oxígeno. Son películas de 60 a 120 micrones de espesor. Los principales films son Polietileno, Polipropileno, PVC.

Los conjuntos poliolefínicos son los que comprenden PEBD en sus dos versiones (convencional y lineal) PEAD, EVA, Polipropileno, Ionómeros y copolímeros acrílicos.

Dadas las características de estos polímeros se puede buscar la combinación adecuada para lograr un efecto deseado. Esto lo pone generalmente el producto a envasar que es el que define qué características debe tener el envase. Si el producto requiere una buena barrera, sin que justifique el uso de PA, puede usarse en su reemplazo polietileno de alta densidad; si lo que se busca es rigidez en el envase, también se utiliza alta densidad.

Si lo que se busca es buena resistencia de la soldadura en caliente el material adecuado es un copolímero de acrílico o EVA. Siempre que se busque reducir costos deberá pensarse en el polietileno porque es la resina más económica y versátil. Otra posibilidad es utilizar en la capa central material recuperado como relleno resultando así una película más económica. Cada uno de estos polímeros combinados da como resultado una película con las características adecuadas para cada tipo de uso. Hay casos en que sólo se busca mejorar el aspecto; por ejemplo para bolsas de boutique puede necesitarse un color en el interior y otro en el exterior. Para el sachet de leche que debe ser la opción más económica, hay dos variantes; se puede buscar alguna mejora en el rendimiento pero no a expensas del costo, pues si éste resulta comparable al cartón o botella, será abandonado por su inhabilidad para autosostenerse. El temor del pinchado es serio así como su transparencia a la radiación ultravioleta. Si se usa una doble capa de polietileno la posibilidad de enfrentamiento de pin holes es muy baja y el riesgo de pinchaduras disminuye considerablemente. Si una de las capas es de polietileno lineal se gana además una importante resistencia mecánica. La barrera a la radiación UV que destruye el complejo vitamínico "C" puede lograrse con una capa negra en el interior del envase y otra blanca en el exterior. Este producto no sólo está expuesto a la radiación UV del sol sino también a la fluorescente de los mercados.

En el cuadro siguiente figuran algunos ejemplos de comportamiento de láminas compuestas por coextrusión de poliolefinas.

En todos estos envases coextrudados debe respetarse un equilibrio entre el componente técnico y el costo. El coextrudado viene a lograr una mejor solución técnica sin alterar demasiado la economía de los envases y resulta una ventaja a la conversión tipo adhesivo (en láminas sin impresión).

COEXTRUDADOS POLIOLEFINICOS			
MERCADO	LAMINA ACTUAL	SUSTITUTO	VENTAJA
Envase de grasa	PEBD de 90 mic	PEBD/PEAD/P EBD 15 40 15 mic	Mayor barrera igual costo
Envase de leche y jugos Líquidos	PEBD de 90 mic	PEBDI /P EBD 40 30 mic PEBDI /PEBD negro 40 30 mic	Mayor prop. mecánica Menor posib de pin holes Mayor barrera al UV Igual o menor costo por envase
Envasamiento de cereales, leche en polvo Galletitas	PEAD 50 mic	PEAD/P EBD PEBD/PEAD/P EBD PEAD/EVA	Mejor barrera, seg. de sellado Mayor rend. de envasadora
Lámina stretch	PEBDI. modif Pvc flexible	EVA/PEBDI/EVA	Mayor cling
Bolsas para boutique Bolsas para consorcio	PEBD virgen y recuperado 50 y 100 mic	PEBD/P EBD color/color PEBDI /P EBD Recuperado PEAD/P EBD	Mejor presentación Menor espesor Mayor rigidez
Bolsas industriales	PEBD blanco 150 o 200 mic	PEBD/PEBDI PEBD/P EAD PEAD/EVA	Menor espesor Mayor resistencia Bajo deslizamiento Alto Hot Tack
Laminación con PET OPP, Al. Papel	PEBD 40-100 mic Surlyn 70-120 mic Ionómero	PEBD/Surlyn PEBD/EVA	Mejor sellado Mejor rendimiento Menor costo

Índices de Trasmisión de vapor de agua y oxígeno

		WV Tr (38 C, 90 % HR) g.mic/mc.d	O2 Tr (23 C, 0% HR) cc.mic/mc.d.bar (100 %)	
LDPE	560		(100 %)	178000
ION	745		(46 %)	
PP	260		(30 %)	81000
HDPE	145		(1.1 %)	53000
PA 6	4300		(0,03%)	2000
EVOH	3400			60

Propiedades de las Películas Plásticas

		PEBD	PEAD	PP	ION	EVA	PE	OPP
Impermeable	Agua y vapor de agua	B	MB	MB	B	R	R	MB
	O2 Oxígeno y otros	M	R	R	M	M	E	R
	Grasas y aceites	M	B	MB	MB	M	E	E
Mecánicas	Traición	R	B	B	B	M	E	E
	Impacto	MB	M	M	MB	E	E	MB
	Rigidez	M	MB	MB	R	M	E	E
Técnicas	Sellabilidad	MB	B	B	E	MB	M	M
	Resist a altas temp	R	MB	MB	R	M	E	MB
	Resist a bajas temp	MB	MB	M	MB	E	E	B
Ópticas	Transparencia y brillo	B	M	MB	B	B	E	E
Económicas	Rendimiento	MB	B	E	B	B	M	E
	Costo	E	E	B	R	RM	M	E

Adhesivos

En el proceso tecnológico de coextrusión, la conformación de una estructura de varias capas entre materiales que, por sus características químicas, no son compatibles entre sí, precisa de una resina entre capas que actúa como agente de adhesión.

Estas resinas de adhesión son copolímeros o poliolefinas modificadas con grupos funcionales que promueven la adhesión entre diferentes materiales.

Luego de diversas líneas de desarrollo, las empresas productoras de adhesivos para coextrusión, han logrado una nueva generación de éstos que permiten ampliar las posibilidades de unión entre materiales disímiles para hacer frente a las nuevas demandas del mercado de envases.

Entre ellas hemos seleccionado al línea Bynel de Dupont (1) y la línea Admer de Mitsui Petrochemical Industries (2).

Las resinas en la serie 3800 de Dupont, son copolímeros de EVA modificada. Las resinas Bynel E359 y 410, están diseñadas para proveer un alto grado de adhesión en aplicaciones de láminas opacas donde el EVOH (etilen vinil alcohol) puede ser simultáneamente adherido al PS y al PE; las E360 y 361 son seleccionadas para láminas que requieren un alto grado de claridad en combinaciones PS-EVOH; y para complejos PS:PETG también tienen una buena performance las resinas Bynel E359 y 410.

Dentro de los productos ofrecidos por Mitsui, las resinas de Admer de segunda generación, en sus grados SF 600 y SE 800, son altamente recomendados para uniones de PS con PETG, PVDC y PC.

El grado SE 810 también ofrece buenas propiedades entre los mismos complejos señalados.

Hay otra resina poliolefina modificada usada como adhesivo (o compatibilizador), comercializada por la Mitsubishi Kasei Co. Con la marca registrada de NOVATEC-AP en diferentes grados, de los cuales el grado F es el que se puede utilizar para PS, PC, PET, EVA, Nylon y EVOH en coextrusión (3).

Material barrera

Cualquier material para envasado que dé buenos resultados, suele denominarse **barrera**. Sin embargo, generalmente se acepta que el término **barrera** se limite a aquellos que exhiben un alto grado de barrera al oxígeno; o simplemente a aquellos que protegen al producto por encima de su vida útil (cuando son usados solos o en combinación con materiales no barreras) y que tengan una permeabilidad al oxígeno menor a $38,9 \text{ cm}^3 \cdot \mu\text{m} / (\text{m}^2 \cdot \text{día} \cdot \text{kPa})$ a 23°C

En muchos casos, un polímero que muestre una permeación menor a la señalada, puede ser una muy buena barrera al CO₂ y a otros vapores orgánicos y olores. La permeabilidad al vapor de agua, sin embargo, no puede ser correlacionada directamente a la del O₂.

Los materiales de barrera más comúnmente usados son el PVdC y el EVOH. Este último ha ido ganando mercados por razones ecológicas, ya que en muchos países hay resistencia al uso de materiales clorados.

EVOH

El EVOH (etilen vinil alcohol) es un copolímero random de etileno y alcohol vinílico en distintos grados (dados por los diferentes porcentajes de etileno). Aunque la principal propiedad del EVOH es la de ser excelente barrera a los gases; no deben dejar de mencionarse otras, entre las que se destacan: alta resistencia mecánica, elasticidad, excelente resistencia a la abrasión, resistencia a aceites y solventes orgánicos, etc.

Sin embargo, debido a la presencia de grupos oxhidrilos en su estructura molecular, las resinas de EVOH son hidrofílicas y por ende absorben humedad, afectando por lo tanto sus propiedades de barrera.

Esta característica requiere una especial atención en el diseño de las láminas multicapas coextrudadas, exigiendo una selección de polímeros estructurales que sirvan de protección al EVOH para lograr la menor absorción de humedad posible.

El EVOH de grado comercial típico contiene 30 a 40 % de etileno, según las propiedades de barrera a los gases que se requiera, ya que a menor contenido de etileno mayor capacidad de barrera. Sin embargo esta característica implica un aumento de alcohol vinílico, lo que aumenta la absorción de humedad con el consiguiente perjuicio para la barrera.

Esto es muy importante para combinaciones EVOH con PS ya que este último no ofrece buenas propiedades de barrera al vapor de agua; por lo tanto dichas combinaciones son utilizadas cuando los requerimientos se limitan a la resistencia a grasas y aceites, o se agregan sustratos que atenúen esta posibilidad.

Los principales productos de EVOH son la firma japonesa Kuraray Co, LTD. (4), que ofrecen los distintos grados de aquél con su marca EVAL, y que comercializa en la Argentina a través de Loquimar S.A.; por su parte Dupont, a través de su líneas de resinas de materiales de barrera SELAR (5), ofrece el EVOH con la marca SELAR OH, dentro de la cual, además, ha desarrollado algunas mezclas con otros polímeros para mejorar la procesabilidad.

PVdC

El PVdC (policloruro de vinilideno) es otro de los materiales que tienen excepcionales propiedades de barrera a los gases. La producción de este copolímero involucra contenidos de cloruro de vinilideno de por lo menos el 50 % que, con el agregado de comonómeros tales como el cloruro de vinilo, metacrilato y otros, hacen posible su procesabilidad por extrusión.

Las propiedades de barrera de los copolímeros de PVdC, están determinadas por la composición química, en la que el mayor contenido de cloruro de vinilideno está relacionado directamente con las bajas permeabilidades.

En este aspecto se debe señalar que la formación de cristales en las cadenas moleculares producen altas cristalinidades, las cuales también se asocian con las bajas permeabilidades.

La ventaja del PVdC respecto al EVOH, se sustenta en el hecho de que aquél actúa a la vez como barrera a los gases, al vapor de agua y a la mayoría de los aromas, lo que convierte por sí solo en una combinación única de bajas permeabilidades, sin depender de otro material estructural que lo proteja, como sucede con el EVOH.

Esta característica es muy importante en su combinación con el PS, ya que deja de ser una preocupación su alta permeabilidad al vapor de agua, pudiendo aprovecharse su disposición como material estructural sin dificultades.

Conviene agregar, además, la resistencia del PVdC al stress-cracking y al pasaje de grasas.

Sustratos. La elección de los materiales para coextruir, depende del uso final que se le asigne, y de las propiedades que este requiera. Algunas de estas propiedades son como vimos, la capacidad de barrera, termosellado, transparencia, uso en congelados, envasado aséptico, aptitud para autoclave, etc.

A continuación se detallan las características de algunos sustratos que se coextruyen usualmente con el PS:

- **Pe.** Este material tiene una baja permeabilidad al vapor de agua, por lo que se utiliza frecuentemente en el interior de un envase termoformado, actuando por un lado como protector de la eventual barrera del núcleo de la lámina, y por otro como material termosellable, permitiendo el cierre a través de tapas también termosellables.
- **Pp.** Baja permeabilidad al vapor de agua y buena termosellabilidad. Buena resistencia mecánica y termoformabilidad.
- **Petg.** Este material, el polietilenterftálico glicol (6), es una variante del PET, cuya propiedad fundamental en su combinación con el PS, es su procesabilidad por coextrusión a temperaturas bajas en relación a la de otros materiales; aspecto muy importante, ya que el tipo de resinas adhesivas utilizadas en el PS no soportan temperaturas mayores a 230 °C