

Vicent Fombuena Borràs
Octavio Ángel Fenollar Gimeno
Néstor Montañés Muñoz

Caracterización de materiales poliméricos

EDITORIAL
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Los contenidos de esta publicación han sido revisados por el Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales de la Universitat Politècnica de València

Colección Académica

Para referenciar esta publicación utilice la siguiente cita: Fombuena Borràs, Vicent; Fenollar Giméno, Octavio Àngel; Montañés Muñoz, Néstor (2016). *Caracterización de materiales poliméricos*. Valencia: Universitat Politècnica de València

Primera edición, 2016 (versión impresa)

Primera edición, 2016 (versión electrónica)

©Vicent Fombuena Borràs
Octavio Àngel Fenollar Giméno
Néstor Montañés Muñoz

© 2016, Editorial Universitat Politècnica de València

distribución: Telf.: 963 877 012 / www.lalibreria.upv.es / Ref.: 6331_01_01_01

ISBN: 978-84-9048-503-3 (versión impresa)

ISBN: 978-84-9048-504-0 (versión electrónica)

La Editorial UPV autoriza la reproducción, traducción y difusión parcial de la presente publicación con fines científicos, educativos y de investigación que no sean comerciales ni de lucro, siempre que se identifique y se reconozca debidamente a la Editorial UPV, la publicación y los autores. La autorización para reproducir, difundir o traducir el presente estudio, o compilar o crear obras derivadas del mismo en cualquier forma, con fines comerciales/lucrativos o sin ánimo de lucro, deberá solicitarse por escrito al correo edición@editorial.upv.es.

RESUMEN

El presente libro se ha escrito con la intención de acercar las diversas técnicas de caracterización de materiales poliméricos a los estudiantes de diversas ramas de la ingeniería (Mecánica, Química, Diseño Industrial, etc.) donde se imparten diferentes asignaturas relacionadas con la ciencia de los materiales y más concretamente con las propiedades de los polímeros. El objetivo principal es dar a conocer diferentes técnicas más o menos sencillas para poder llegar a conocer la caracterización desde el punto de vista térmico y mecánico de los polímeros.

El texto que se presenta pretende acercar a la caracterización de materiales poliméricos desde un punto de vista práctico. Para ello, cada uno de los temas vendrá acompañado por una breve introducción teórica, así como de diversos ejercicios propuestos y cuestiones para verificar la comprensión de lo estudiado.

Con este mismo propósito el contenido del libro se puede dividir en tres grandes bloques. El primero de ellos (Capítulo 1) tiene como objetivo sentar las bases para la introducción a las diversas técnicas de caracterización de polímeros. Por consiguiente, serán explicadas posibles normativas a utilizar, así como procedimientos para la toma de muestras. A su vez se explicará tanto la naturaleza como la clasificación de los polímeros.

El segundo bloque (Capítulo 2 al 4) permite avanzar en el estudio de métodos de identificación de polímeros. Se estudiarán las variables que pueden influir en el comportamiento de los polímeros, como solubilidad, densidad y comportamiento a la llama. Se explicarán métodos sencillos para poder identificar plásticos, de este modo se sentarán las bases teórico-prácticas para la identificación mediante procesos térmicos y mediante la utilización de espectrofotometría infrarroja.

Una vez sentadas las bases para la identificación práctica de polímeros, el tercer bloque (Capítulo 5 al 10) se centra en la caracterización mecánica. Con este objetivo se pretende profundizar en la respuesta de los materiales poliméricos a sollicitaciones como tracción, impacto, dureza, etc. Además, se estudiarán las variables más influyentes en las propiedades mecánicas y el estudio de la variación de las propiedades a largo plazo. Por último, se resumirán las propiedades físico-químicas así como sus posibles compatibilidades con el objetivo de estudiar la posible reciclabilidad.

Índice

Resumen	III
1. Introducción a las técnicas y ensayos de caracterización de materiales poliméricos	1
1.1. Introducción	1
1.2. Normas	3
1.3. Técnicas de caracterización	4
1.4. Toma de muestras	7
1.5. Clasificación de los polímeros	8
1.6. Cuestiones	16
2. Identificación de plásticos (I)	19
2.1. Introducción	19
2.2. Fundamentos para la identificación de un polímero	20
2.3. Comportamiento frente a la solubilidad	21
2.4. Comportamiento en función de la diferencia de densidad	22
2.4.1. Métodos para la identificación de polímeros por medio de la densidad ..	24
2.5. Comportamiento térmico de los polímeros	26
2.5.1. Ensayos de fundido	26
2.5.2. Ensayos a la llama	27
2.5.3. Calorimetría diferencial de barrido	28
2.6. Espectrofotometría de infrarrojos	29
2.7. Ejercicio propuesto	29
2.7.1. Objetivo	29
2.7.2. Metodología	29
2.7.3. Resultados	32
2.8. Cuestiones	32
3. Identificación de plásticos (II). Análisis térmico	33
3.1. Introducción	33
3.2. Calorimetría diferencial de barrido (dsc)	34

3.2.1. Calorimetría diferencial de barrido en termoplásticos	37
3.2.2. Calorimetría diferencial de barrido en termoestables.....	44
3.3. Ejercicio propuesto	46
3.3.1. Objetivo.....	46
3.3.2. Metodología	46
3.3.3. Resultados	51
3.4. Cuestiones	51
4. Identificación de plásticos (III). Espectrofotometría infrarroja	53
4.1. Introducción	53
4.2. Fundamentos	54
4.2.1. Radiación electromagnética	54
4.2.2. Vibraciones moleculares	55
4.2.3. Espectrofotometría de infrarrojos	59
4.3. Ejercicio propuesto	61
4.3.1. Objetivo.....	61
4.3.2. Metodología	62
4.3.3. Procedimiento experimental	64
4.3.4. Resultados	64
4.4. Cuestiones	66
5. Propiedades mecánicas de los plásticos (I). Variables que afectan al comportamiento mecánico.....	67
5.1. Introducción	67
5.2. Fundamentos	68
5.2.1. Influencia de la estructura	68
5.2.2. Influencia de la temperatura.....	69
5.2.3. Influencia de la velocidad de aplicación de los esfuerzos.....	73
5.3. Ejercicio propuesto	74
5.3.1. Objetivo.....	74
5.3.2. Metodología	74
5.3.3. Resultados	75
5.4. Cuestiones	76

6. Propiedades mecánicas de los plásticos (II). Ensayo de tracción.....	77
6.1. Introducción	77
6.2. Fundamentos	82
6.2.1. Parámetros del ensayo de tracción	82
6.2.2. Factores determinantes en el ensayo de tracción.....	88
6.2.3. Diagrama real de tracción	95
6.3. Ejercicio propuesto.....	96
6.3.1. Objetivo.....	96
6.3.2. Metodología	96
6.3.3. Resultados	97
6.4. Cuestiones	98
7. Propiedades mecánicas de los plásticos (III). Ensayo de dureza	101
7.1. Introducción	101
7.2. Fundamentos	101
7.2.1. Ensayo de dureza en escala shore a y d.....	102
7.3. Ejercicio propuesto.....	105
7.3.1. Objetivo.....	105
7.3.2. Metodología	105
7.3.3. Resultados	106
7.4. Cuestiones	106
8. Propiedades mecánicas de los plásticos (IV). Ensayo de impacto	107
8.1. Introducción	107
8.2. Fundamentos	108
8.2.1. Tipos de ensayo de impacto	108
8.2.2. Factores que afectan a los ensayos de impacto	110
8.2.3. Generalidades.....	114
8.3. Ejercicio propuesto.....	115
8.3.1. Objetivo.....	115
8.3.2. Metodología	116
8.3.3. Resultados	117
8.4. Cuestiones	119

9. Propiedades mecánicas de los plásticos (V). Comportamiento a largo plazo	121
9.1. Introducción	121
9.2. Fundamentos	122
9.2.1. Comportamiento viscoelástico en los plásticos.....	122
9.2.2. Relación entre gráficos de comportamiento a largo plazo	125
9.2.3. Fuentes de información	126
9.3. Ejercicio propuesto	130
9.3.1. Objetivo.....	130
9.3.2. Metodología	130
9.3.3. Resultados	131
9.4. Cuestiones	131
10. Propiedades físico – químicas de los plásticos. Reciclado.....	133
10.1. introducción	133
10.2. fundamentos.....	137
10.3. ejercicio propuesto	144
10.3.1. Objetivo.....	144
10.3.2. Metodología	144
10.3.3. Resultados	145
10.4. cuestiones.....	146
Bibliografía	147

Capítulo 1

Introducción a las técnicas y ensayos de caracterización de materiales poliméricos

1.1. Introducción

Un ensayo es la medida, en unas condiciones determinadas de una o varias propiedades de una muestra. Las condiciones de ensayo pueden determinarse según el uso destinado de la muestra o bien siguiendo las especificaciones de normas a efectos comparativos con otros ensayos.

En general los ensayos se realizan para:

- **Obtener datos para el diseño**

El ensayo permite conocer las propiedades del material tales como resistencia máxima, alargamiento, conductividad eléctrica,... Así como sus características a la hora de su procesado tales como viscosidad, temperatura de degradación,...

Para el diseño de una pieza es necesario conocer las especificaciones del material del que se va a construir, a partir de esas especificaciones, se pueden optimizar el proceso de fabricación óptimo, el dimensionamiento, el precio, ...

- **Obtener unas bases de “bondad”**

El ensayo permite obtener propiedades de los materiales. A partir de estas propiedades, se pueden establecer unos requisitos mínimos a cumplir por el material en determinadas aplicaciones.

Los resultados obtenidos a partir de ensayos nos permiten establecer:

- **Seguridad**

Determinadas aplicaciones requieren unos requisitos de seguridad elevados (cable de ascensor, gancho de grúa, ...). La realización de ensayos permite obtener datos para realizar el dimensionado con relativa seguridad.

- **Protección en caso de responsabilidad**

El ensayo permite conocer de forma segura las características de un material. Con ello ante cualquier litigio a causa del fallo o no cumplimiento de los requisitos de la pieza, el ensayo realizado proporciona una prueba irrefutable del comportamiento del material en determinadas condiciones.

- **Control de calidad**

El ensayo permite realizar un control de calidad del material, es decir, permite detectar errores en la producción o posibles defectos en las cualidades a cumplir por el material.

- **Establecer estándares y especificaciones**

El ensayo permite establecer las principales características del material. Las especificaciones del material es un elemento básico para ser utilizado con fines comerciales, pues es bien sabido que son un requisito fundamental a la hora de incorporar un material nuevo en el mercado.

- **Evaluar productos de la competencia**

Para estudiar los productos de la competencia, es necesario conocer las características del material que utiliza. Mediante ensayos se puede estudiar el comportamiento del material ante determinadas condiciones, evaluarlo y realizar las acciones necesarias.

- **Establecer estrategias**

La obtención de datos a partir de ensayos permite planear estrategias para mejorar las cualidades de materiales, en base a la aplicación a que se dedique.

1.2. Normas

Las conocidas como normas, bien sean normas UNE, EN, ISO, ASTM,... son un conjunto de dictados tecnológicos creados por los comités técnicos de normalización, de los que forman parte todas las entidades y agentes implicados e interesados en los trabajos del comité. Por regla general estos comités suelen estar formados por agencias acreditadoras, fabricantes, consumidores y usuarios, administración, laboratorios y centros de investigación.

Las condiciones de ensayo vienen determinadas por normas. Las designaciones de las normas varían según el país en que se apliquen. Cada país posee una designación para sus normas (ver tabla 1.1).

Tabla 1.1. Designación de las principales normas.

Norma	País
UNE	España
ISO	Internacional
DIN	Alemania
ASTM	E.E.U.U.
EN	Europea
BSI	Reino Unido
NF	Francia
JIS	Japón

De entre las diferentes normas de los principales países cabe destacar por su importancia las normas pertenecientes a países con un volumen de fabricación de polímeros elevado, tales como Alemania (Norma DIN) y E.E.U.U. (Norma ASTM). Además en España cabe destacar la norma UNE y por aplicabilidad a nivel europeo e internacional, las normas EN y norma ISO respectivamente.

Entre las diferentes normas aplicadas a cada uno de los países existen equivalencias que pueden facilitar su aplicación. Pese a todo esto las normas DIN son muy numerosas, y plantea el problema de no encontrar su equivalencia en norma ISO, UNE o EN.

La utilización de normas de diferentes países implica el uso de magnitudes con diferentes unidades. Por desgracia, el uso de unidades en el sistema internacional no es habitual en los países anglosajones (Norma ASTM, Norma BSI), por lo tanto será una práctica habitual el uso de normas el intercambio de unidades (tabla 1.2). También es de uso común en nuestro país la utilización del sistema técnico. En lo referente a las normas en vigor, la utilización del sistema técnico está completamente erradicado; pero es frecuente encontrarlo en libros de texto y menos frecuentemente en revistas especializadas.

Es práctica habitual utilizar abreviaturas a la hora de referirse a unidades, por la sencillez y comodidad que representa. El uso de estas abreviaturas debe ser importante para una mejor comprensión (tabla 1.3).

Tabla 1.2. Tabla de conversión de las principales unidades.

Tabla de conversión de unidades	
<i>Longitud</i>	<i>Energía</i>
1 in. = 2,540 cm	1 J = 0,7276 ft.lb
1 cm = 0,3937 in	1 kcal = 4,186 kJ
1 ft = 30,48 cm	1 Btu = 1055 J
1 m = 3,281 ft	1 eV = 1,60218 x 10 ⁻¹⁹ J
1 milla = 5280 ft = 1,609 km	
1 km = 0,6214 millas	
<i>Masa</i>	<i>Potencia</i>
1 kg = 2,20 lb (donde g=9,80 m/s ²)	1 W = 1 J/s = 1.341 x 10 ⁻³ hp
1 uma (u) = 1,660549 x 10 ⁻²⁷ kg	1 hp = 745,7 W
	1 W = 1,358 x 10 ⁻³ CV
	1 CV = 736 W
	1 CV = 0,986 hp
	1 hp = 1,014 CV
<i>Presión</i>	<i>Temperatura</i>
1 Pa = 1 N/m ² = 1,450 x 10 ⁻⁴ psi	0 °C = 273 K
1 atm = 1,01325 x 10 ⁵ Pa	0 K = -273 °C
1 psi = 6,90 x 10 ³ Pa	
1 mm Hg = 1,333 x 10 ² Pa	

Así mismo también supone una práctica habitual el uso de factores de multiplicación para designar magnitudes con valores pequeños o muy grandes (tabla 1.4). Es útil el uso de estos factores, así por ejemplo en valores de tensión, es uso común el utilizar el Megapascal en lugar del Pascal.

1.3. Técnicas de caracterización

Las propiedades macroscópicas de uso de los plásticos dependen de diversos factores de nivel microscópico. Estas propiedades pueden ser entre otras:

- **Composición química del polímero**

Evidentemente, las propiedades del polímero dependen de la composición química del mismo. La cadena o red del polímero estará compuesto por diferentes elementos, estos elementos tendrán un papel decisivo en el

comportamiento del polímero. Estos elementos que formarán el polímero, permitirán su identificación.

Tabla 1.3. Tabla de principales abreviaturas de unidades.

Abreviatura de unidades	
A = amperio	kg = kilogramo
Å = angstrom	lbf = libra-fuerza
Btu = unidad térmica británica	lb _m = libra-masa
C = culombio	kp = kilogramo fuerza
°C = grado celsius	m = metro
CV = caballo de vapor	mm = milímetro
cal = caloría (gramo)	mol = mol
cm = centímetro	MPa = megapascal
eV = electronvoltio	N = newton
°F = grado Fahrenheit	nm = nanómetro
ft = pie	P = poise
g = gramo	Pa = pascal
hp = horse power	s = segundo
in = pulgada	T = temperatura
mi = milla	μ = micrómetro (micra)
J = julio	W = watio
K = grado Kelvin	psi = libra por pulgada cuadrada

Tabla 1.4. Tabla de factores multiplicadores.

Factor Multiplicador	Prefijo	Símbolo
10 ¹²	tera	T
10 ⁹	giga	G
10 ⁶	mega	M
10 ³	kilo	k
10 ²	hecto	h
10 ¹	deca	da
10 ⁻¹	deci	d
10 ⁻²	centi	c
10 ⁻³	mili	m
10 ⁻⁶	micro	μ
10 ⁻⁹	nano	n
10 ⁻¹⁰	-	Å
10 ⁻¹²	pico	p

- **Tamaño de molécula**

El peso molecular y distribución de la molécula, entendiendo la molécula como la repetición de una unidad molecular (mero), afectará de forma determinante a las propiedades del material (viscosidad, cristalinidad, resistencia...)

- **Topología de las macromoléculas**

El nivel de ramificaciones y entrecruzamiento de las macromoléculas afectará de forma decisiva al comportamiento del polímero. Así, por ejemplo, un termoplástico con muchos entrecruzamientos poseerá una viscosidad mayor que otro con menor número de entrecruzamientos.

- **Microestructura (isómeras, estereoquímica)**

La microestructura también juega un papel decisivo en el comportamiento del polímero, la disposición de las cadenas moleculares afecta al comportamiento macroscópico del material (isometría, esteroquímica)

- **Morfología de los agregados**

La cristalinidad afecta al comportamiento del polímero, así un polímero parcialmente cristalino tendrá más resistencia y menos ductilidad, por el contrario, en el caso de ser completamente amorfo poseerá menos resistencia pero más ductilidad.

- **Transiciones de estructura (T^a transición vítrea, T^a de fusión)**

Un factor determinante en el comportamiento del polímero son las transiciones de estructura que posea. Así el comportamiento no será el mismo si se encuentra situado por debajo o por encima de su temperatura de transición vítrea, algo similar evidentemente ocurre con la temperatura de fusión del polímero.

Para conocer todas estas propiedades se utilizan las técnicas de caracterización. En definitiva, las técnicas de caracterización buscan explicar el comportamiento de los materiales, es decir, las propiedades obtenidas en los ensayos de materiales. En la tabla 1.5 se muestran las diferencias entre técnicas de caracterización y técnicas de ensayos de materiales.

Tabla 1.5. Diferencias entre técnicas de caracterización y técnicas de ensayo de materiales.

Técnicas de caracterización	Técnicas de ensayo
Estudian propiedades microscópicas.	Estudian propiedades macroscópicas.
Se obtienen resultados absolutos que sólo dependen de la técnica.	Su resultado depende de las condiciones de ensayo.
Su finalidad es caracterizar propiedades para explicar el comportamiento del polímero.	Su finalidad es conocer el comportamiento del material en situaciones de uso.
Se utiliza equipo sofisticado.	Se utiliza equipo sencillo.
Los resultados exigen un análisis complejo.	Los resultados son de fácil interpretación.
El método de análisis es más libre.	Suelen estar sujetos a normas.

Estas son las diferencias entre dos conceptos de ensayo, sin embargo, hay casos en los que la frontera de las técnicas no está muy definida (Densidad, Peso molecular, Termogravimetría).

1.4. Toma de muestras

Uno de los principales problemas que acontecen a la hora de realizar un ensayo, es la necesidad de utilizar una muestra del material para la construcción de probetas, la mayoría de las ocasiones los ensayos son destructivos, por lo que la utilización de la probeta sólo puede ser utilizada para tan sólo un ensayo. La realización de un ensayo implica en ocasiones la utilización de varias probetas.

Las probetas pueden sacarse de las piezas, pero un control de producción con este método puede elevar excesivamente el coste. En los productos semielaborados, se debe especificar en cada caso particular la orientación y lugar de donde se tomó la muestra.

En la elección de las probetas hay que tener en cuenta una serie de factores:

- **Representatividad estadística**

Debe ser elegida la probeta representativa de una serie de productos, siguiendo cualquier método estadístico.

- **Selección aleatoria**

En el caso de producción en serie se realiza un muestreo de material de forma aleatoria, éste es un mecanismo sencillo de control de la calidad.

- **Selección adecuada**

En el caso de piezas con zonas donde se ha producido rotura o fallo, se realiza la selección en dicha zona, para encontrar la posible causa de fallo.

Una vez seleccionadas las probetas, tendrá lugar su extracción, posteriormente se preparará la muestra para el ensayo, adaptando la forma y geometría de la muestra según la norma correspondiente o exigencias del ensayo. Por último, tendrá lugar la realización del ensayo para la obtención de los resultados y su posterior análisis. La figura 1.1 muestra de forma esquemática todo el proceso para la realización de un ensayo, diferenciando las distintas etapas que en él se siguen.

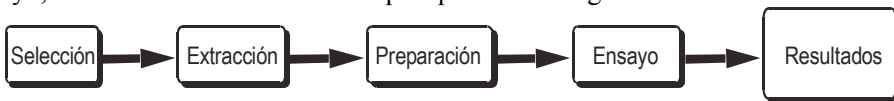


Figura 1.1. Etapas en la realización de un ensayo.

1.5. Clasificación de los polímeros

En la mayoría de los casos los resultados obtenidos en un ensayo por un material polimérico, tiene su origen en la estructura del mismo. Existe una clasificación de materiales poliméricos en base a su estructura, según este criterio los polímeros se pueden clasificar en polímeros lineales (termoplásticos), polímeros tridimensionales (termoestables), polímeros lineales entrecruzados (elastómeros)

- **Polímeros termoplásticos**

Dentro de los polímeros termoplásticos existen dos grandes grupos con comportamientos bien diferenciados: amorfos y semicristalinos.

Los materiales termoplásticos poseen una estructura formada por cadenas poliméricas unidas mediante enlaces secundarios (figura 1.2). La distinción entre un termoplástico amorfo de uno semicristalino es precisamente la disposición de estas cadenas poliméricas.

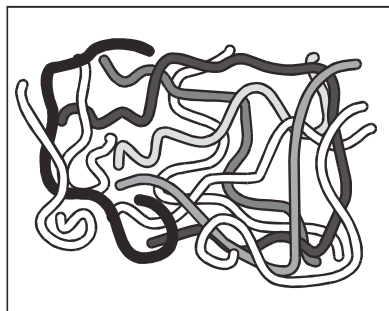


Figura 1.2. Estructura material termoplástico.

Mientras en los termoplásticos semicristalinos (figura 1.3) estas cadenas presentan cierto orden (cadenas paralelas, cadenas plegadas), en los termoplásticos amorfos, las cadenas se encuentran completamente desordenadas.

El porcentaje de cristalinidad de los termoplásticos semicristalinos nunca llega a alcanzar el 100%, ya que es imposible que las cadenas sean completamente simétricas. El porcentaje de cristalinidad se determina a partir de la siguiente expresión:

$$\% \text{Cristalinidad} = \frac{\text{Volumen zona cristalina}}{\text{Volumen total}}$$

Esta situación de cristalinidad condiciona el comportamiento mecánico, ya que las estructuras cristalinas cuestan más de deformar que las estructuras amorfas. De cualquier forma, el comportamiento mecánico no sólo se ve influido por la disposición de las cadenas poliméricas, ya que interviene en gran medida la T_g (Temperatura de Transición Vítre) del material, que implica un cambio de comportamiento dúctil a frágil.

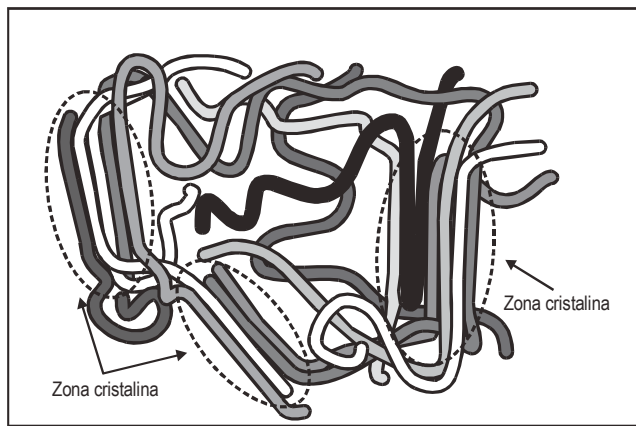


Figura 1.3. Estructura material termoplástico semicristalino.

Las principales características de los termoplásticos son las siguientes:

- Pueden fundir con aplicación de calor.
- Son reciclables y reprocesables.
- Son fáciles de transformar, ya que pueden fundir.
- Su comportamiento mecánico abarca un rango muy amplio, dependiendo del tipo de plástico, desde plásticos rígidos a plásticos muy blandos.

Para seguir leyendo haga click aquí