



9.1 Els plàstics

Polímers i plàstics

De plàstics n'hi ha de molts tipus: rígids, flexibles, elàstics, transparents... i amb propietats molt diferents. Com es pot aconseguir tanta varietat? Per descobrir-ho cal conèixer com estan formats i com és la seva estructura interna. Utilitzarem com exemple un dels plàstics més utilitzats: el polietilè.

Cadascuna de les molècules d'etilè amb l'enllaç trencat s'anomena **monòmer** (del grec *mono*, 'una', i *meros*, 'part'). Quan aquests monòmers s'uneixen entre si com si fossin les baules d'una cadena, formen una molècula més gran anomenada **polímer** (també del grec *polis*, 'molts' i *meros*, 'part'). Així doncs, la molècula formada per la unió de molts monòmers d'etilè és un polímer d'etilè conegut amb el nom de polietilè.

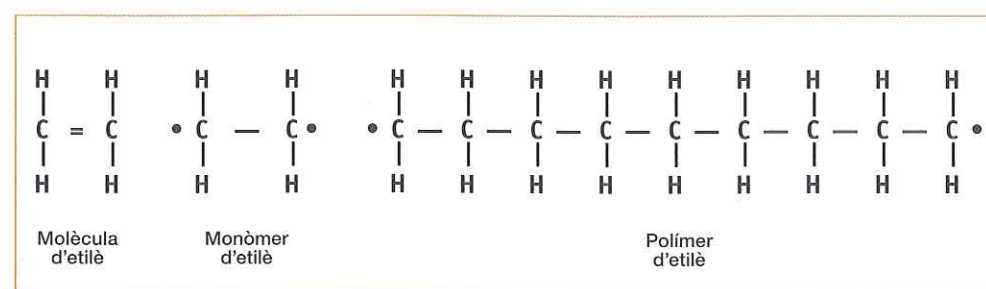


Fig. 9.2. Formació de l'etilè.

Els materials que coneixem amb la denominació de *plàstics* o de *resines* no són més que **polímers orgànics**, és a dir, molècules gegants formades per àtoms de carboni juntament amb d'altres d'hidrogen, oxigen i, en menor mesura, clor, fluor, nitrogen o silici.

■ **Naturals.** Són presents de manera espontània als productes naturals: cel·lulosa, cautxú, caseïna...

- **Artificials.** S'obtenen industrialment per modificació dels polímers naturals: cel·luloide, ebonita, gالاتita...

■ **Sintètics.** S'obtenen industrialment a partir dels seus components elementals: polietilè, polipropilè, PVC, niló...

- **Facilitat per elaborar peces acabades a partir de les matèries primeres.** L'elaboració d'objectes d'acer costa entre 3 i 70 cops més que l'obtenció de l'acer mateix. En canvi, elaborar un objecte de plàstic costa 6 cops menys que obtenir el seu material. Podem dir que donar forma als plàstics és un procés més ràpid, senzill i barat que si utilitzéssim metalls.

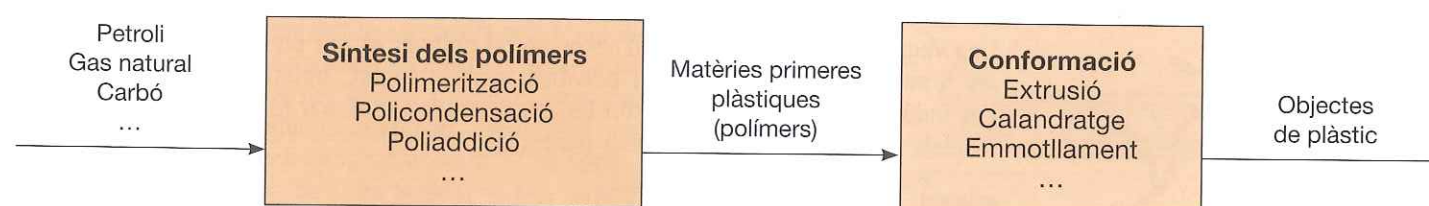
■ **Lleugeresa.** Els plàstics tenen uns valors de densitat compresos entre els $0,92 \text{ g/cm}^3$ del polietilè fins als $1,6 \text{ g/cm}^3$ del PVC (encara que en podem trobar alguns, com ara el politetrafluoretilè o tefló, que arriben als $2,2 \text{ g/cm}^3$). En canvi, la densitat d'un metall considerat lleuger, com l'alumini, és de $2,7 \text{ g/cm}^3$.

- **Resistència als agents atmosfèrics.** Quan s'elaboren objectes de metall, especialment de metalls fèrrics, cal tenir present l'efecte de la corrosió. Els objectes de plàstic, en canvi, són força resistents als agents atmosfèrics i no cal protegir-los amb pintures ni revestiments. Aquesta propietat, però, es torna un inconvenient a l'hora d'eliminar aquests materials, ja que no són biodegradables. Els residus plàstics no són assimilats per la natura i, per això, la seva presència contaminant dura molts anys.



Fig. 9.3. Les propietats dels polímers han convertit aquests materials en uns dels més utilitzats en tots els camps.

Elaboració d'objectes de plàstic



En el procés d'elaboració d'objectes de plàstic hi ha dues grans etapes ben diferenciades: l'obtenció del plàstic a partir de les matèries primeres (síntesi dels polímers) i la conformació per obtenir-ne els objectes o peces definitives.

La síntesi dels polímers

Actualment, la major part dels polímers produïts industrialment són sintètics. Els components elementals (productes químics que constitueixen els monòmers) per a la seva síntesi s'obtenen, bàsicament, del gas natural, del petroli i del carbó.

Els processos per a l'obtenció dels polímers industrials es coneixen amb el nom de **polimerització**, però hi ha dues formes diferents de realitzar aquest procés: la *poliaddició* i la *policondensació*.

El procés d'obtenció del polietilè a partir dels monòmers d'etilè es coneix com a **poliaddició**, **polimerització per addició** o **polimerització en cadena**.

En aquest procés, els monòmers van reaccionant entre si i es van unint un a un en forma de cadena, fins a formar una molècula gegant o polímer. La quantitat de monòmers continguts en aquesta molècula gegant es coneix com a **grau de polimerització**. Durant

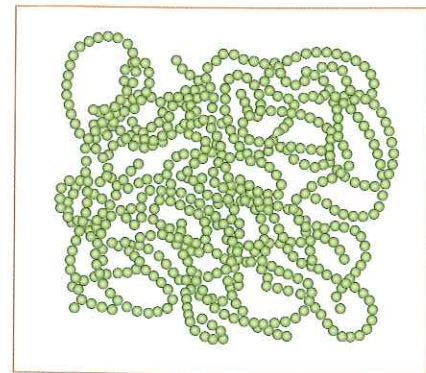


Fig. 9.4. Representació d'un homopolímer. Tots els monòmers són iguals.

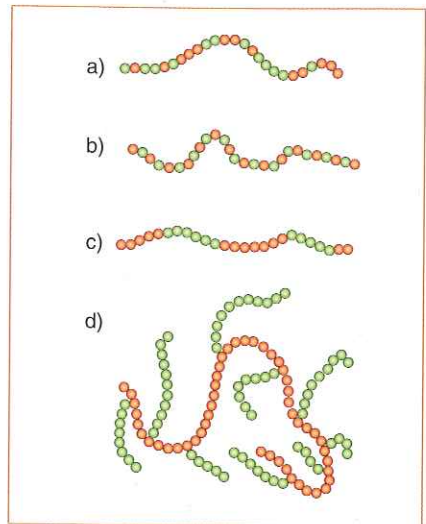


Fig. 9.5. Diferents tipus de copolímers: a) a l'atzar; b) alternat; c) en bloc; d) d'em-pelt. Els diferents monòmers es representen amb cercles de diferent color.

la síntesi dels polímers cal controlar aquest grau de polimerització, ja que en dependran algunes de les propietats del producte final. El plàstic sòlid s'obté a partir dels 70 monòmers aproximadament; si s'incrementa el grau de polimerització el plàstic obtingut és més rígid i resistent, fins a arribar als 700 monòmers, valor a partir del qual ja no varien les seves propietats mecàniques.

Amb la poliaddició s'obtenen **homopolímers** (formats per monòmers del mateix tipus) com el polietilè, el polipropilè, el PVC, el poliestirè, etc. Però també es poden obtenir **copolímers** (formats per una combinació de dos o més monòmers); llavors el procés es coneix com a **copolimerització**. Són copolímers, per exemple, l'acetat i el clorur de vinil (utilitzat per elaborar els discos fonogràfics, antecessors de l'actual disc compacte).

Segons com s'agrupin els diferents monòmers per formar el polímer, tindrem diferents tipus de copolímers.

El fenol i el formaldehid són dos productes químics que no poden formar polímers individualment. Però si es fan reaccionar químicament entre si, el producte resultant sí que polimeritza i produeix el fenol-formaldehid, conegut comercialment com a baquelita. Els processos com aquest s'anomenen de **policondensació**, perquè normalment es condensa aigua com a producte de la reacció química. També es coneix com a **polimerització per etapes**, perquè primer es produeix una reacció química i després la polimerització.

A part del fenol-formaldehid, són produïts per policondensació plàstics com ara el polièster, el niló, el policarbonat, etc.

Processos de conformació dels polímers

Una vegada finalitzat el procés d'obtenció, el polímer es pot presentar en qualsevol de les formes comercials següents: polvres, gels, granulat, boletes, pastilles, líquids... Les indústries transformadores són les encarregades de donar forma a aquesta primera matèria i convertir-la en objectes i productes útils.

Les indústries transformadores o manipuladores de plàstics utilitzen tècniques molt variades per donar-los forma; són els diferents **processos de conformació de polímers**. Els més importants són: **extrusió**, **emmotllament per extrusió i bufament**, **emmotllament per injecció**, **emmotllament per escumeig**, **emmotllament per buit**, **emmotllament per compressió** i **calandratge**.

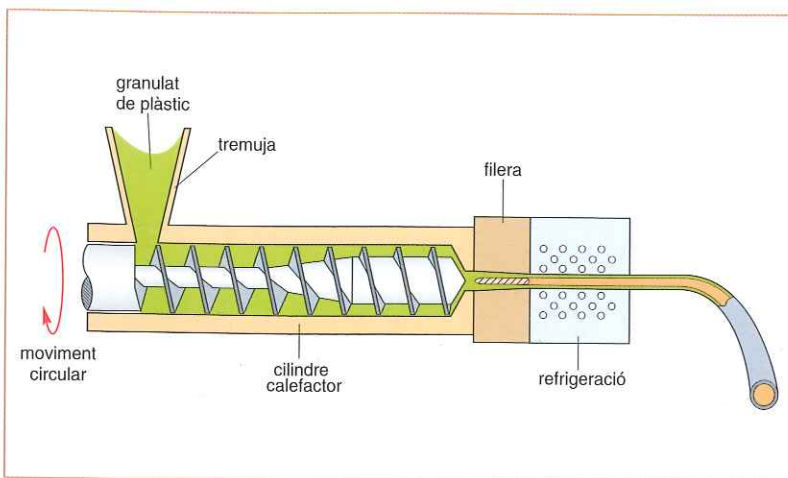


Fig. 9.6. Procés d'extrusió.

■ **Extrusió.** És una tècnica que consisteix a fer circular el granulat de plàstic per l'interior d'un tub escalfador gràcies a l'acció d'un caragol. La massa de plàstic fos surt per un extrem del tub on hi ha una filera amb la forma que es vol obtenir i passa a una cambra de refrigeració (per aire o aigua). D'aquesta manera es fabriquen objectes llargs, com ara tubs i perfils de tota mena.

■ **Emmotllament per extrusió i bufament.** Consisteix a obtenir un tub o preforma amb una extrusora i, abans que es refredi, tancar-lo a l'interior d'un motlle, mentre es bufa aire a pressió pel seu interior, forçant-lo així a adherir-se contra les parets del motlle. Després es tallen els extrems sobrants i s'obre el motlle per extreure'n la peça acabada. D'aquesta manera es fabriquen objectes buits com ara ampelles, pilotes i joguines en general.

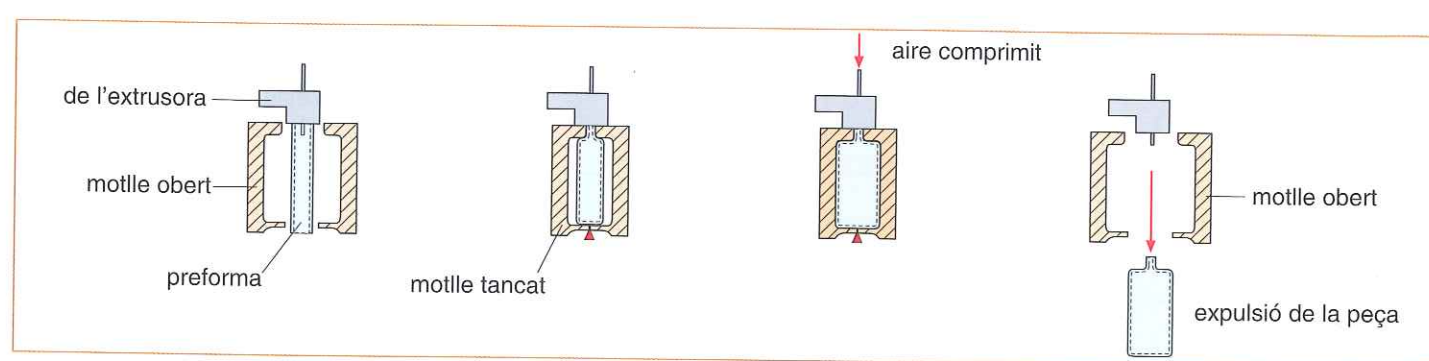


Fig. 9.7. Procés d'emmotllament per extrusió i bufament.

■ **Emmotllament per injecció.** Consisteix a fer circular el granulat de plàstic per l'interior d'un tub escalfador (similar al de l'extrusora) gràcies a l'acció d'un caragol. Quan la massa de plàstic fos arriba al final del tub, tot el caragol es desplaça longitudinalment i força la seva entrada dins d'un motlle. El caragol es retira i, un cop refredat el plàstic dins el motlle, aquest s'obre i s'extreu la peça acabada. D'aquesta manera es fabriquen objectes de formes complicades i que requereixen un bon acabat, com ara les carcasses d'electrodomèstics, peces d'automòbils, etc.

■ **Emmotllament per escumeig.** Per tal d'aplicar aquesta tècnica cal que la matèria primera contingui un additiu escumejant. El material se situa dins d'un motlle i s'escalfa a la temperatura adequada. Per acció de la calor aplicada, el plàstic s'infla i augmenta de volum ocupant la totalitat del motlle i formant una massa sòlida però esponjosa. Els productes escumats tenen una gran importància, ja que presenten una densitat aparent i una conductivitat tèrmica molt baixes a causa de l'aire atrapat al seu interior. Amb aquesta tècnica es fabriquen embalatges de tota mena, aïllaments tèrmics i acústics, farcits de tapisseries, etc.

■ **Emmotllament per buit.** Consisteix a utilitzar un motlle obert que disposa d'uns petits canals per on pot circular l'aire. Damunt d'aquest motlle es col·loca una làmina de plàstic i s'escalfa per tal d'estovar-la. Un cop la làmina té la plasticitat adequada, s'extreu l'aire situat entre la làmina i el motlle utilitzant una bomba de buit. Per acció de la pressió atmosfèrica, la làmina queda comprimida contra el motlle i n'adopta la forma. D'aquesta manera es fabriquen embalatges poc profunds o objectes grans amb formes complicades.

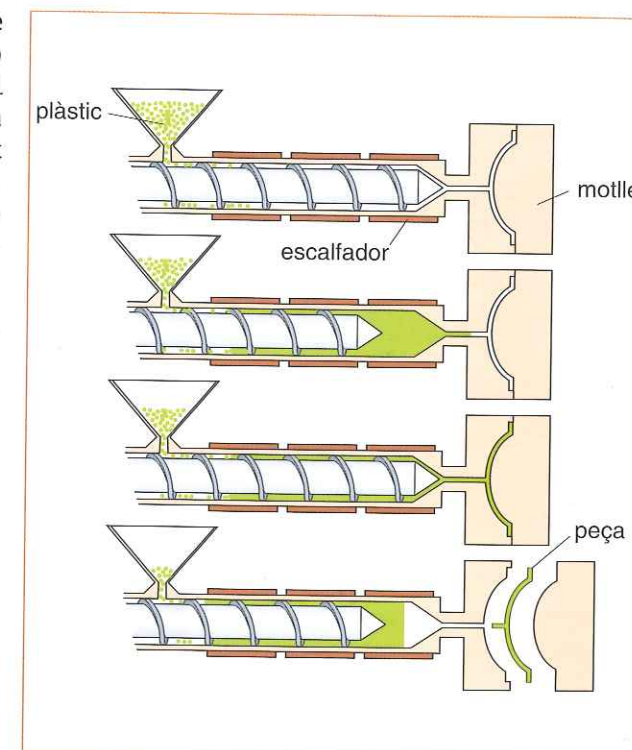


Fig. 9.8. Procés d'injecció.

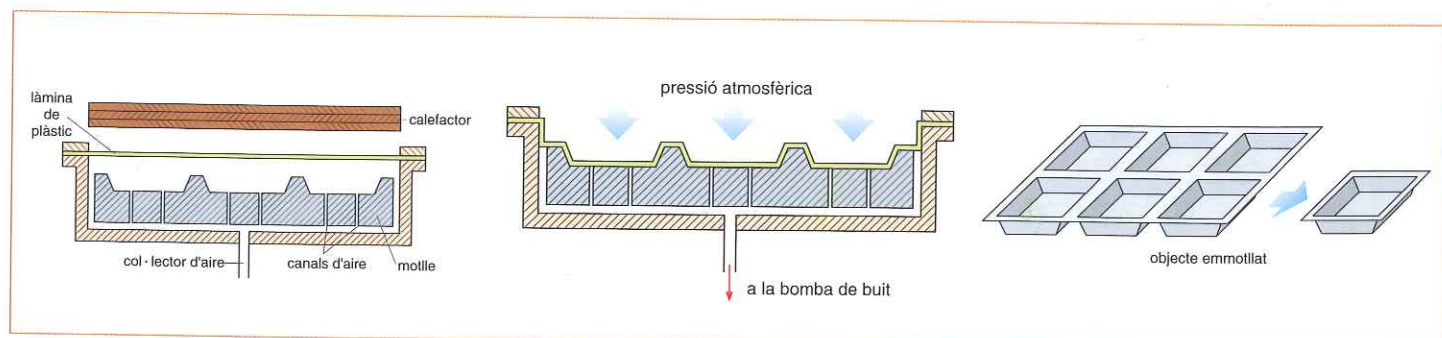


Fig. 9.9. Procés d'emmotllament per buit.

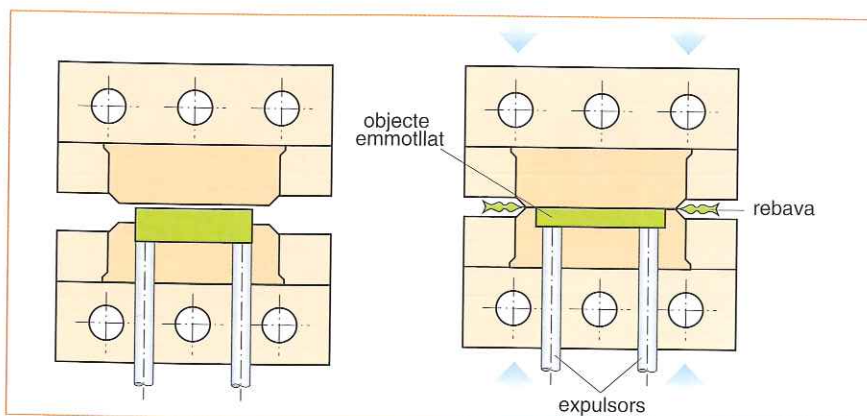


Fig. 9.10. Procés d'emmotllament per compressió.

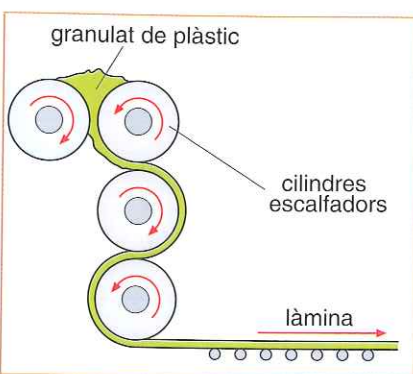


Fig. 9.11. Calandratge.

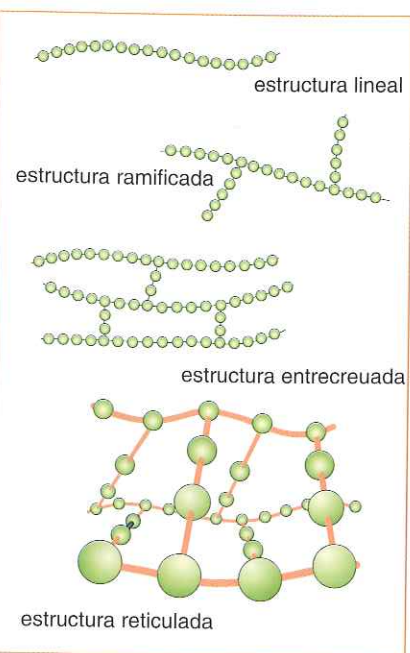


Fig. 9.12. Diferents estructures moleculars dels polímers.

Estructures moleculars dels polímers

Les propietats dels polímers no solament depenen del grau de polimerització, sinó també de l'estructura que tinguin les seves cadenes moleculars. En el grup de les molècules dels polímers, els monòmers poden estar units entre si formant diferents estructures: *lineal*, *ramificada*, *entrecreuada* o *reticulada*:

- L'**estructura lineal** dona cadenes llargues i flexibles que es comporten com una massa d'espaguetis. El polietilè, el poliestirè i el PVC són exemples de polímers lineals.
- L'**estructura ramificada** és produïda per petites reaccions químiques en el procés de síntesi i dona lloc a polímers menys resistents als esforços mecànics.



Els polímers lineals i ramificats, en què la unió entre les seves molècules és molt feble, formen els **termoplàstics**, és a dir, plàstics que s'estoven quan s'escalfen i s'endureixen quan es refreden, en un procés reversible que es pot repetir moltes vegades.

- L'**estructura entrecreuada** és similar a la d'una xarxa de pesca: una malla que podria ser plana i que admet una gran deformació sense que se'n trenquin els enllaços.



Els polímers entrecreuats formen els **elastòmers**, és a dir, plàstics amb un comportament elàstic que poden ser deformats fàcilment sense que es trenquin els seus enllaços ni se'n modifiqui l'estructura.

- L'**estructura reticulada** també és semblant a la d'una xarxa, com en el cas de l'entrecreuada, però en aquest cas és més complexa: és tridimensional i no permet cap deformació sense trencar-ne els enllaços. Es tracta, per tant, d'una estructura rígida.

- **Emmotllament per compressió.** Consisteix a utilitzar un motlle amb dues parts, una de fixa i una altra de mòbil amb sistemes d'escalfament. Se situa la quantitat adequada de polímer a l'interior de la part fixa i es tanca el motlle aplicant una gran pressió a la part mòbil. Per efecte de la temperatura i de la pressió, el material adopta la forma del motlle. S'utilitza aquesta tècnica preferentment per a l'elaboració de peces de polímers termoestables, com ara mànecs d'estrís de cuina, endolls elèctrics, etc.

- **Calandratge.** Consisteix a alimentar uns corròs escalfadors amb el granulat del plàstic que es vol conformar. El material en fase viscosa es fa circular entre els corròs fins que adopta el gruix i la textura desitjades. D'aquesta manera es fabriquen tota mena de làmines.



Els polímers reticulats tenen enllaços covalents molt forts entre les molècules i si es trenquen aquests enllaços també es trenquen les molècules. Per tant, són sempre **termoestables**, és a dir, s'endureixen quan s'escalfen per primer cop (perquè es produeix la reticulació) i ja no poden tornar a ser estovats.

Els additius

Les diferents propietats dels polímers, que depenen del grau de polimerització i de l'estructura molecular, poden ser modificades o millorades afegint-hi diverses substàncies o **additius**. Els additius més comuns són les *càrregues*, els *plastificants*, els *estabilitzants*, els *colorants*, els *ignífugs*, els *desemmotllants* i els *lubrificants*.

- Les **càrregues** són substàncies minerals, com ara la sílice, el vidre, l'argila, el talc, la calcària, etc., o vegetals com ara les serradures de fusta, el paper, el cotó, etc., que milloren la resistència mecànica i la tenacitat, a més d'abaratir el cost del producte final.
- Els **plastificants** són substàncies orgàniques, com ara la parafina, la glicerina, el glicol, etc., que redueixen la duresa i la fragilitat dels polímers, augmentant-ne la ductilitat i la tenacitat. S'utilitzen els plastificants en l'elaboració de polímers que són fràgils a temperatura ambient, com ara el PVC.
- Els **estabilitzants** són compostos químics que augmenten la resistència dels polímers al deteriorament per l'acció de la radiació ultraviolada (present a la llum solar) i de l'oxidació.
- Els **colorants** són compostos que donen color al polímer. Poden ser *tints* i incorporar-se a l'estructura molecular del polímer, o bé *pigments*, que se situen en els espais que deixen lliures les molècules.
- Els **ignífugs** també es coneixen com a retardadors de flama i dificulten la inflamació i posterior propagació de la flama en els polímers. Aquests additius són molt útils en fibres tèxtils, joguines, etc., ja que la majoria de polímers són inflamables.
- Els **desemmotllants** són substàncies orgàniques que faciliten el desemmotllament de les peces de plàstic.
- Els **lubrificants** són substàncies que milloren els problemes de lliscament sobre les superfícies de màquines, matrius, etc.

Propietats dels polímers

Els polímers són molt menys resistents a la tracció i més dúctils que els metalls. Ara bé, en els polímers aquestes propietats són molt més sensibles a la temperatura que no pas en els metalls. Els valors de les propietats mecàniques dels polímers són molt variats, així com el tipus de deformació quan els és aplicat un esforç de tracció.

En general, les propietats mecàniques d'un polímer milloren quan se n'augmenta el grau de polimerització, de cristallinitat i d'encreuament. En el cas del polietilè:

Grau de polimerització (monòmers/molècula)	250	430	680	820	1 200
Resistència al trencament (N/mm^2)	$4 \cdot 10^6$	$6,5 \cdot 10^6$	$10 \cdot 10^6$	$16,5 \cdot 10^6$	$21 \cdot 10^6$
Allargament (%)	40	100	500	300	125

Taula 9.1. Variació de les propietats mecàniques del polietilè en funció del grau de polimerització.

Però aquestes propietats també varien en funció de la temperatura a què es troba el polímer. Mireu l'exemple del *polimetacrilat de metil* (PMMA), a la fig. 9.14.

La **resistència a l'impacte** dels polímers es mesura amb l'*assaig del pèndol de Charpy* o d'*Izod*, igual que en els metalls, i s'obté, d'aquesta manera, un *valor de la resiliència* del material. Aquest valor depèn molt de la temperatura: a baixes temperatures els polímers acostumen a tenir un trencament fràgil; a una temperatura determinada es produeix una transició de comportament fràgil-dúctil, mentre que a temperatures altes, la resistència a l'impacte és pràcticament nul·la.

La **resistència a la fatiga** i el límit de fatiga dels polímers tenen un valor més baix que el dels metalls. La **resistència a la torsió** és proporcional a la de tracció i la **duresa** es mesura amb el mateix tipus d'assaig que en els metalls.

Polímer	Símbol	Densitat ρ (kg/m^3)	Mòdul elàstic E (MPa)	Resistència trencament σ_r (MPa)
Polietilè d'alta densitat	HDPE	950-960	1070-1090	22-31
Polietilè de baixa densitat	LDPE	920-930	170-280	8,3-31
Clorur de polivinil	PVC	1300-1600	2400-4100	41-52
Polipropilè	PP	900-910	1140-1550	31-41
Poliestirè	PS	1040-1050	2280-3280	36-52
Polimetacrilat de metil	PMMA	1170-1200	2240-3240	48-76
Poliamida (niló)	PA	1130-1150	1580-3790	76-94
Polietilè tereftalat	PET	1290-1400	2760-4140	48-72
Policarbonat	PC	1190-1210	2380	57-69
Politetrafluoroetilè (tefló)	PTFE	2140-2200	400-550	14-34
Resina epoxi	EP	1110-1400	2410	28-90
Resina fenòlica	PF	1240-1320	2760-4830	34-62
Resina de polièster	UP	1040-1460	2070-4410	41-90

Taula 9.2. Propietats dels polímers termoplàstics i termoestables.

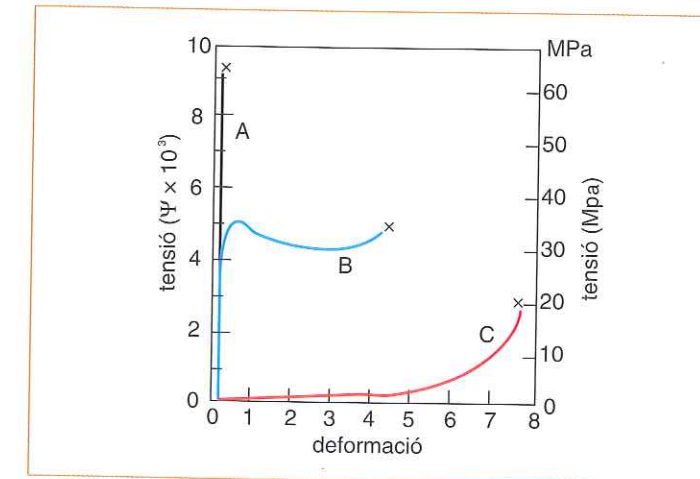


Fig. 9.13. Diagrama de tracció de tres polímers. La corba A pertany a un polímer fràgil, com el poliestirè o el polimetacrilat de metil: es trenca gairebé sense deformació prèvia. La corba C, en canvi, pertany a un polímer totalment elàstic, com és el cas del cautxú i dels elastòmers: amb petits esforços s'aconsegueixen deformacions elàstiques molt grans abans del trencament. La corba B pertany a polímers amb un comportament més semblant al dels metalls (però amb valors diferents, és clar) com ara el polipropilè o el PVC: amb una zona elàstica seguida d'una zona plàstica abans del trencament.

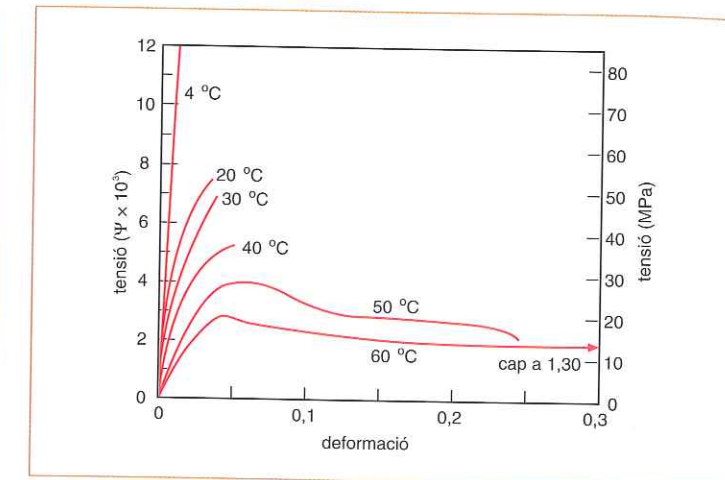


Fig. 9.14. Diagrames de tracció del PMMA a diferents temperatures. El polimetacrilat de metil pot variar des d'un comportament totalment fràgil a 4 °C fins a un comportament totalment plàstic a 50 °C o 60 °C.

Allargament unitari ϵ (%)	Temperatura de fusió t_f (°C)	Conductivitat tèrmica λ ($W/m \cdot ^\circ C$)	Resistivitat elèctrica ρ ($\Omega \cdot m$)	Coefficient dilatació lineal α_l ($^\circ C^{-1}$) $\cdot 10^{-6}$	Grau de cristal·linitat (%)
10-1200	130-137	0,48	10^{13} - 10^{17}	60-110	70-80
100-650	98-115	0,48	10^{13} - 10^{17}	100-220	40-50
40-80	212	0,18	—	50-100	Amorf
100-600	168-175	0,12	$> 10^{15}$	80-100	50-60
1,2-2,5	88-110	0,13	$> 10^{14}$	50-83	Amorf
2-10	60-100	0,21	$> 10^{12}$	50-90	Amorf
15-300	255-265	0,24	10^{12} - 10^{13}	80	30-40
30-300	245-265	0,14	10^{12}	65	0-30
110	150	0,20	10^{15}	68	Amorf
200-400	327	0,33	$> 10^{16}$	70-120	50-70
3-6		0,19	10^{14}	45-65	Amorf
1,5-2	100-170	0,15	10^9 - 10^{10}	68	Amorf
< 2	100-270	0,19	10^{11}	55-100	Amorf



Polímer	Símbol	Densitat ρ (kg/m ³)	Mòdul elàstic E (MPa) (per a un 100% d'allargament)
Cautxú natural	NR	920-1040	3,3-5,9
Butadiè-estirè	SBR	1000	2,1-10,3
Butadiè-acronitril	NBR	1000	3
Neoprè	PCP	1230-1250	0,7-20
Poliuretà	PUR	1020-1250	0,17-34,5
Silicona	SI	1100-1600	—

Taula 9.3. Propietats dels elastòmers.

Classificació dels polímers

Hi ha moltes classificacions possibles dels polímers. En aquest cas els clasifiquem en funció de les seves aplicacions. Distingim entre **polímers plàstics** (tots aquells amb què es fa allò que coneixem vulgarment com a objectes de plàstic) i **polímers elastòmers** (tots aquells que, com el cautxú natural, tenen com a característica principal la seva gran elasticitat).

Dintre dels polímers plàstics fem una altra classificació en funció del seu comportament davant l'augment de temperatura: els **termoplàstics** (que poden ser emmotllats reiteradament per aplicació de calor) i els **termoestables** (un cop polimeritzats, l'aplicació de calor no els estova, sinó que trenca els seus enllaços atòmics i els degrada).

Dins d'aquest grup de plàstics cal tenir present que, segons els additius o el seu procés de polimerització, alguns polímers (com és el cas dels polièsters) poden presentar un comportament termoplàstic o termoestable.

Polímers	Adhesius	Resina epoxi (araldite)
		Cianocrilats
		Fenolformaldehid, ureaformaldehid
		Poliacetat de vinil
	Fibres	Acetat i triacetat de cel·lulosa (viscosa, raíó...)
		Poliàmides (niló)
		Polièsters (tergal, terilene, trevira)
		Acrílics (crilenka, draló, leacril, ...)
	Pintures	Elastòmers (neoprè, licra)
		Resines alcídiques
		Resines epoxi
		Poliuretà

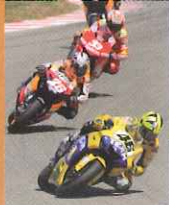
Taula 9.4. Polímers.



Resistència trencament σ_r (MPa)	Allargament unitari ϵ (%)	Temperatura mínima de servei $T_{\min}$ (°C)	Temperatura màxima de servei $T_{\max}$ (°C)	Resistència a l'abració	Resistència a l'esquinçament
24-32	500-760	-75	250	Excel·lent	Excel·lent
12-21	450-500	-75	250	Excel·lent	Excel·lent
7-24	400-600	-60	300	Excel·lent	Bona
3,5-24	100-800	-60	225	Excel·lent	Bona
5-60	250-800	-65	250	Excel·lent	Extraordinària
10	100-800	-175	600	Pobra	Normal

Polímers	Plàstics	Cel·lulòsics	Nitrocel·lulosa (CN)
			Acetat de cel·lulosa (CA)
			Etilcel·lulosa (ET)
			Polietilè de baixa densitat (LDPE)
			Polietilè d'alta densitat (HDPE)
		Termoplàstics	Polipropilè (PP)
			Poliestirè (PS)
			Poliestirè expandit (EPS)
			Clorur de polivinil (PVC)
			Polimetacrilat de metil (PMMA)
	Elastòmers	Polièsters	Politetrafluoroetilè (tefló) (PTFE)
			Poliàmides (niló) (PA)
			Policarbonats (PC)
			Epoxídics (EP) (resina epoxi)
			Fenòlics (PF) Fenolformaldehid (baquelita)
		Termoestables	Ureics (UF) Ureaformaldehid
			Melamínics (MF) Melaminaformaldehid
			Polièsters insaturats (UP) (resina de polièster)
			Poliisoprè (NR) Cautxú natural vulcanitzat
			Butadiè/estirè (SBR)
			Butadiè/acronitril (NBR)
			Poliuretans (PUR) (escumats rígids i flexibles)
			Policlopropè (PCP) (neoprè)
			Polisiloxà (SI) (silicones)

Taula 9.5. Classificació dels polímers (continuació).



Propietats i aplicacions dels polímers més comuns

Poliètil·lè. Bara, flexible, tenaç, aïllant elèctric i resistent a la corrosió. En forma de poliètil·lè de baixa densitat s'utilitza en bosses de compra i d'escombraries, revestiment de cables elèctrics, films protectors per a l'agricultura i l'alimentació... En forma de poliètil·lè d'alta densitat s'utilitza per a ampelles flexibles, tubs, joguines...

Polièstirè. Aïllant, transparent, bara, resistent a la humitat. En forma compacta s'aplica en envasos de productes alimentaris. Pot ser escumat per tal d'obtenir l'EPS o porexpan (també conegut com a suro blanc) que té aplicacions com a aïllant tèrmic i acústic i, en embalatges, actua com a protector dels cops.

Clorur de polivinil. Aïllant elèctric, resistent als àcids i els àlcals. Revestiment de terres (paviments), canonades, revestiment de cables elèctrics, ampelles d'oli i aigua mineral, cortines de bany, entapissats de vehicles, estructures de finestres...

Polimetacrilat de metil. Transparent, mecanitzable, resistent a la intempèrie, indiferent als canvis de temperatura, tenaç. Substitut del vidre en avions, trens, vaixells, etc., en objectes de decoració, peces d'òptica (encara que es ratlla amb facilitat), ulleres protectores...

Politereftalat d'etilè. Resistent a la tracció, la torsió, la fatiga, la humitat, els àcids, els olis, els dissolvents i la radiació ultraviolada. Envasos de begudes carbòniques, encordellat de pneumàtics, cintes magnetofòniques...

Polipropilè. Lleuger, tenaç, resistent a la fatiga per flexió, a la humitat, a la calor i als productes químics, bara. És un dels plàstics amb més aplicacions domèstiques, en revestiments protectors, en contenidors de tota mena (especialment per a productes alimentaris), en mobles de jardí; en embalatges s'utilitza quan es requereix una gran resistència a la fatiga per flexió (taps amb unions flexibles), en carcasses d'electrodomèstics...

Tefló. Incombustible, resistent als productes químics i la calor, baix coeficient de fricció, antiadherent. Revestiments antiadherents d'estrís alimentaris i químics, revestiments antifricció de coixinets, aïllament de cables per a altes temperatures, cintes d'enregistrament...

Nílo. Resistència mecànica, tenacitat, baix coeficient de fricció. Coixinets, engranatges, peces antifricció i mecàniques en general, connectors elèctrics, fibres per a la confecció tèxtil, per a l'encordellament de pneumàtics i mànegues...

Policarbonat. Tenaç, transparent, resistent als productes químics, a la calor i a les radiacions ultraviolades. Indicadors lluminosos i fars d'automòbils, cascos de protecció i seguretat, col·lectors solars, lents òptiques, bases per a pel·lícules fotogràfiques...

Resines epoxi. Resistents als esforços mecànics i a la corrosió, dures i barates. Revestiments protectors i decoratius, endolls, adhesius...

Resines fenòliques. Dures, rígides, resistents als productes químics, barates. Suports aïllants en la indústria elèctrica, botoneres i agafadors, plaques de base per a circuits impresos, adhesius per a fusta contraplacada i aglomerada...

Resines d'urea i de melamina. Rígides, tenaces, barates, resistents a la calor, la llum i la humitat. Per a agafadors i botons, adhesius en contraplacats i aglomerats de fusta, làmines decoratives per a taulers de fusta aglomerada per a la fabricació de mobles...



Resines de polièster insaturat. Barates, resistents als productes químics, aïllants elèctrics, adherents. Base del material compost amb fibra de vidre per a carrosseries lleugeres de vaixells, trens i altres mitjans de transport.

Cautxú natural i sintètic (NR, SBR, NBR). Resistència a l'abració. Pneumàtics, calçat, mànegues, corretges, juntes, revestiments...

Poliuretà. Aïllant tèrmic, escumable. En forma d'escuma rígida s'utilitza en mobiliari, en la construcció de petites embarcacions i en l'aïllament de frigorífics i habitatges. En forma d'escuma flexible s'utilitza en coixins, matalassos i en proteccions d'embalatges.

Neoprè. Resistent a l'abració, a l'ozó, a la llum, als agents atmosfèrics, als olis i a les benzines, incombustible. Revestiments de mànegues i cables en contacte amb olis i benzines, equipament esportiu de muntanya i de submarinisme...

Silicones. Ampli marge de temperatures d'utilització (de -100 °C a 250 °C), repel·leixen la humitat; aïllants elèctrics, resistents als àcids i a la llum. Juntes, aïllants elèctrics, antiadherents per desemmotllament, adhesius...

Copolímer d'acrilonitril/butadiè/estirè (ABS). Tenaç i resistent als esforços mecànics. Revestiments interiors de frigorífics, carcasses d'electrodomèstics i maquinària, canonades...

Reciclatge dels polímers

El consum de plàstics a l'Estat espanyol no ha deixat de créixer en els darrers anys, i la major part correspon als termoplàstics, el 42 % dels quals són aplicats a l'elaboració d'envasos i embalatges, que són objectes amb una vida útil molt curta.

Els objectes de plàstic, quan deixen de ser útils, s'acaben convertint en residus, amb el corresponent impacte mediambiental. A l'Estat espanyol, cada any es generen 1.500.000 tones de residus plàstics (73 % de tot el plàstic consumit). Aquests residus són difícilment assimilables per la natura i es mantenen pràcticament inalterats durant molts anys.

En l'elaboració dels plàstics s'utilitzen productes químics i energia. La majoria de productes químics i també la major part de l'energia s'obtenen actualment del petroli, que és un recurs natural limitat.

És evident la necessitat que té la societat d'aprofitar els residus plàstics. Aquest aprofitament de recursos, en el cas dels polímers, pot venir per tres vies:

- La reelaboració d'objectes a partir dels residus de termoplàstics seleccionats, nets i trossets (itineraris 1, 2 i 3 del quadre de reciclatge). Els objectes realitzats amb plàstic reciclat poden tenir algunes limitacions (no poden ser utilitzats per a usos alimentaris).
- La recuperació dels productes químics primaris que contenen per tornar a elaborar polímers nous. Per obtenir aquests productes químics primaris cal sotmetre els residus a un procés de **piròlisi**, que consisteix a aplicar elevades temperatures en absència d'oxigen (itinerari 5).
- La recuperació de part de l'energia utilitzada en el procés de fabricació mitjançant la **incineració**. La incineració d'alguns plàstics, com ara el PVC, pot provocar greus problemes de contaminació si no es realitza de manera adequada (itinerari 4).

Els processos de reciclatge no són iguals per a tots els polímers. Abans de reciclar-los cal seleccionar els diferents tipus de plàstics. Per tal de facilitar la seva classificació a les plantes de recuperació, la majoria dels objectes de plàstic porten gravats o impresos uns símbols internacionals d'identificació.

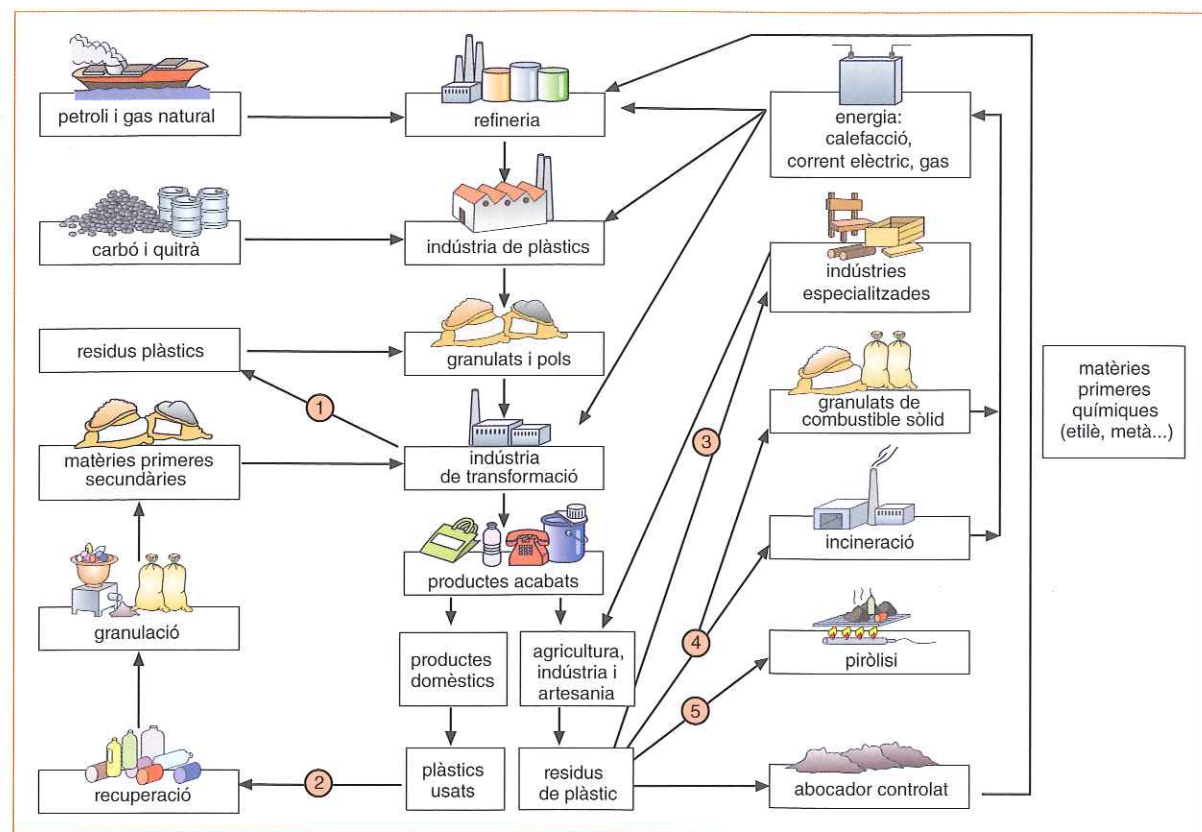


Fig. 9.15. Esquema de l'elaboració i reciclatge de materials polimèrics.

ACTIVITATS

- 1> Defineix els conceptes següents: monòmer, polímer, homopolímer i copolímer.
- 2> Com es pot aconseguir que una molècula senzilla s'uneixi a d'altres com ella i formi una llarga cadena de molècules?
- 3> Quins orígens poden tenir els polímers orgànics?
- 4> Quina diferència hi ha entre un polímer artificial i un altre de sintètic? Quins van ser els primers polímers (artificials i sintètics) que van ser elaborats?
- 5> Defineix els conceptes següents: poliaddició, poli-condensació i grau de polimerització.
- 6> Quines estructures moleculars poden tenir els polímers? Com es relacionen aquestes estructures amb el seu comportament tèrmic?
- 7> Com influeix el grau de cristal·linitat en les propietats d'un polímer?
- 8> Quines funcions tenen els lubricants quan s'afegeixen al procés d'obtenció dels plàstics?

- 9> Utilitza la taula de propietats dels polímers i identifica:
 - a) El polímer més dens i el més lleuger.
 - b) El millor aïllant de l'electricitat.
 - c) El més rígid per a esforços de tracció.
 - d) El més fràgil per a esforços de flexió.
 - e) El més plàstic dels termoplàstics i termoes-tables.
 - f) L'elastòmer més lleuger.
- 10> Les propietats dels polímers són molt variades. De quins factors depenen aquestes propietats?
- 11> Dissenya un assaig per obtenir els valors del mòdul elàstic a 100 % d'allargament per a elastò-mers.

- 12> Justifica per què s'utilitza el PET i no el PVC als envasos de begudes quan aquestes són gasoses (carbòniques).
- 13> Indica el nom de tres objectes de plàstic d'ús quotidià que tinguin una vida útil llarga i tres més de vida útil curta. Intenta identificar el tipus de polímer que s'ha fet servir en la seva elabo-ració.
- 14> Fes una comparació entre els avantatges i els in-convenients que ofereixen els plàstics i el vidre aplicats a l'emalatge alimentari.
- 15> Compara les diferents alternatives existents per a l'aprofitament dels residus plàstics i digues quina és, al teu entendre, la millor de totes.

9.2 Les fustes

La fusta és un material natural amb una estructura complexa i no homogènia que bàsicament està formada per molècules de **cel·lulosa** reforçades per una substància polimèrica anomenada **lignina**.

La fusta ha estat utilitzada per la humanitat des de la prehistòria com a material de construcció, per a l'elaboració d'eines i per a la decoració. Actualment continua essent utilitzada per a les mateixes aplicacions de sempre. Avui dia, però, disposem d'una gran varietat de productes que tenen com a base la fusta:

Fusta	Natural		Roure	Sapel·li	Faig
		Dura	Noguera	Freixe	Cirerer
			Tec	Castanyer	Til·ler
			Pi	Avet	
		Tova	Cedre	Teix	
	Artificial		Xiprer		
		Contraplacada			
			De partícules		
		Aglomerada		Sense resina (<i>tablex</i>)	
			De fibres	Amb resina (<i>DM</i>)	

Taula 9.6. Varietats de fusta.

Fusta natural

La **fusta natural** s'obté dels arbres a partir d'un procés de tala i desbrancatge abans de passar a la serradora. Les propietats de la fusta no són sempre les mateixes, ja que depenen del tipus d'arbre i de la part del tronc de què procedeixi.



En la indústria de la fusta, els arbres es classifiquen en arbres de *fusta tova* i arbres de *fusta dura*. Els de **fusta tova** són arbres de fulla perenne com ara el pi o l'avet (també s'anomenen *coníferes* o *gimnospermes*); en canvi, els de **fusta dura** són arbres de fulla caduca com el roure o el faig (també s'anomenen *frondoses* o *angiospermes*).

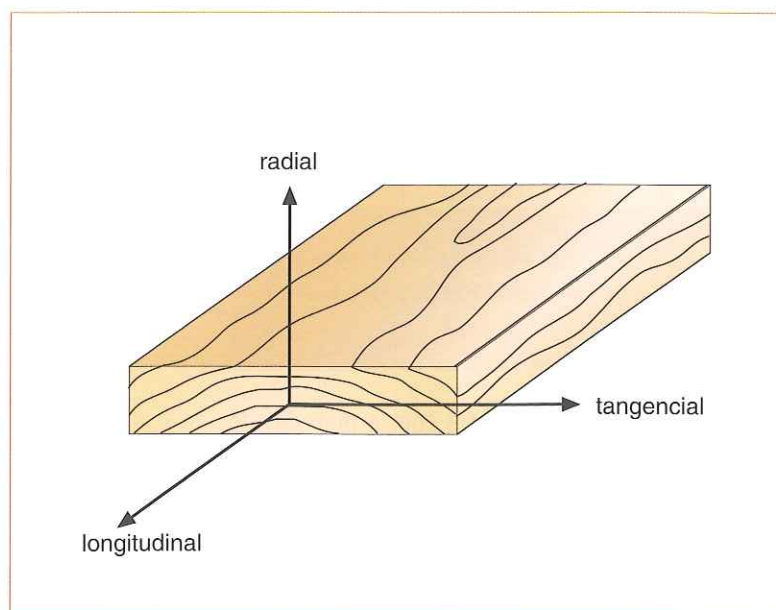


Fig. 9.16. Eixos de simetria de la fusta.

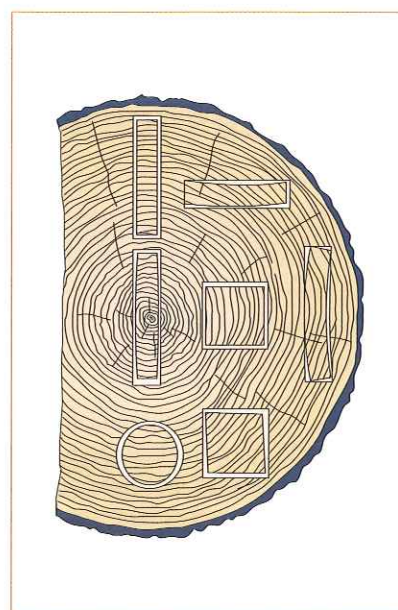


Fig. 9.17. Esquema de les contraccions.

Com ja has estudiat en unitats anteriors, la resistència mecànica en els metalls només depèn de la secció de la peça, i no de la direcció en què s'aplica l'esforç. En la fusta, en canvi, com que es tracta d'un material no homogeni (al contrari que els metalls) la resistència mecànica també depèn de la direcció en què s'aplica l'esforç.

Per determinar els diferents comportaments de la fusta, es defineixen tres tipus d'**eixos de simetria**: el *longitudinal*, el *radial* i el *tangencial*. La resistència mecànica més gran s'obté en sentit longitudinal i amb esforços de tracció. Una biga de fusta sotmesa a flexió cedirà abans per la cara interna (sotmesa a compressió) que per l'externa (sotmesa a flexió).

La fusta acabada de tallar es diu **fusta verda** i presenta un contingut d'humitat molt elevat que fa que no sigui aprofitable. És necessari, doncs, procedir a l'assecatge per tal que redueixi el seu grau d'humitat als nivells adequats per ser utilitzada. L'assecatge es fa a l'aire lliure (durant un any o més) o bé en forns d'aire calent (durant sis o set setmanes).

El **contingut d'humitat** de les fustes s'expressa en tant per cent en pes, segons l'expressió següent:

$$\text{humitat} = \frac{\text{pes de la fusta humida} - \text{pes de la fusta seca}}{\text{pes de la fusta seca}} \cdot 100$$

La fusta verda té un contingut d'humitat superior al 100%. Després de l'assecatge la humitat baixa fins al 10% o 15%. Aquest contingut d'humitat de la fusta varia sempre segons la temperatura i la humitat relativa de l'aire de l'ambient que l'envolta.

Quan la fusta es va assecat, pateix una **contracció** que fa augmentar la seva densitat i la seva resistència. Ara bé, la contracció per assecatge no és homogènia: depèn de la direcció en què es produeixi. És molt petita en direcció longitudinal (al voltant del 0,1%), més important en direcció radial (al voltant del 4%) i encara més en direcció tangencial (al voltant del 10%).

Un cop superada la fase d'assecatge, les fustes passen per un procés de serratge i ribotejat per tal de donar-ne les dimensions i l'aspecte definitius abans de ser comercialitzades.

Com que es tracta d'un material natural, la fusta és porosa i, per tant, té tendència a absorbir la humitat i a ser atacada per fongs i insectes. Per evitar-ho cal protegir-la amb revestiments externs, com ara els vernissos i les pintures.

Fusta artificial

Els productes elaborats a partir de la fusta s'acostumen a presentar en forma de taulers de diferents tipus: *taulers de xapes*, *taulers de partícules*, *taulers de fibres*, *taulers de llistons* i *xapes naturals i sintètiques*.

■ **Taulers de xapes (contraplacats)**. S'aconsegueixen encolant xapes de fusta natural de forma que les direccions de les vetes de les xapes contigües formin un angle de 90°. La fusta contraplacada és molt resistent en totes les direccions i presenta un acabat molt decoratiu.

A part de la realització de taulers, la fusta contraplacada també s'utilitza en l'elaboració d'elements resistents per a estructures d'edificacions, especialment per a la realització de cobertes de piscines, auditoris i naus amb molta llum (espai lliure entre suports), ja que suporten molt bé els canvis de temperatura i d'humitat, ofereixen un aspecte càlid i decoratiu i ajuden a aconseguir una bona acústica.

■ **Taulers de partícules (aglomerats)**. Formats a partir d'encenalls o partícules amb una grandària controlada encolades amb resines sintètiques a base de formaldehid i premsades per tal d'aconseguir la compactació. Les propietats d'aquests taulers depenen de la grandària de les partícules, però en general són més densos i menys resistents que la fusta natural i que la contraplacada. No suporten bé la humitat, ja que els fa augmentar de gruix i perdre la resistència. Avui dia es fabriquen taulers de partícules resistents a la humitat gràcies a la utilització de resines específiques.

■ **Taulers de fibres (tablex i DM)**. El **tablex** està format a partir de fibres de fusta (molt més petites que les partícules dels aglomerats), que són premsades humides i sense encolar (encara que amb algun aprest que fa de repel·lent de l'aigua).

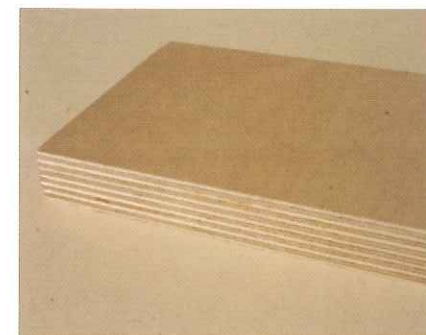


Fig. 9.18. Fusta contraplacada.



Fig. 9.19. Aglomerat.

Un cop seques, tenen molta duresa però poca resistència i són molt sensibles als canvis d'humitat, ja que els provoquen deformacions importants. Una aplicació característica en mobiliari són els fons d'armaris i de calaixos.

El **DM** està format també a partir de fibres de fusta, però premsades en sec i encolades amb resina sintètica formant làmines que després es tornen a premsar en calent. Aquest tauler és força dur, amb una textura molt fina i homogènia que en permet una bona mecanització (fins i tot el perfilament dels cantells) i un bon acabat. En funció del tipus de resina utilitzada, pot ser més o menys resistent a la humitat i la intempèrie.



Fig. 9.20. Tauler enllistonat sense revestir.



Fig. 9.21. Xapes naturals.

- **Taulers de llistons (enllistonats).** Formats a partir de llistons de fusta tova encolats lateralment amb resines sintètiques i revestits per les dues cares amb dues o quatre xapes de fusta dura amb la veta entrecreuada, com es fa amb el contraplacat. Tenen una resistència a mig camí entre l'aglomerat i el contraplacat.

Molts dels taulers que hi ha al mercat són revestits externament amb xapes decoratives per tal de millorar el seu aspecte final. Aquestes xapes poden ser de fusta natural o sintètiques, a partir de material plàstic (polimèric).

- **Xapes naturals.** S'obtenen amb talls tangencials del tronc utilitzant fulles de tall d'acer especial esmolades amb un gruix entre 0,3 i 0,6 mm. Quan han de ser utilitzades en l'elaboració de contraplacats s'obtenen amb un tall perifèric i amb un gruix entre 1,6 i 3,2 mm.
- **Xapes sintètiques.** S'obtenen a partir de resines sintètiques, generalment de melamina formaldehid (tipus *melamina*) o bé de fenol formaldehid (tipus *fòrmica*). Aquestes resines termoestables poden tenir acabats de fantasia o imitar la fusta natural, amb la combinació de diferents textures i colors.

ACTIVITATS

- 16>** Amb les fustes procedents de la tala i serratge d'un cirerer construïm dues calaixeres idèntiques, una amb la fusta serrada de poc i l'altra 14 mesos després del serratge. Hi haurà alguna diferència entre aquests mobles? Justifica la teva resposta.
- 17>** Explica el significat de l'expressió «la fusta que hi ha al magatzem té una humitat del 200%».
- 18>** Què passaria si fabriquéssim un tauler de fusta contraplacada amb les vetes de totes les xapes orientades en la mateixa direcció?

9.3 Les ceràmiques

Podem classificar els materials ceràmics, segons les seves aplicacions, en *argiles*, *ciments*, *refractaris*, *vidres* i *abrasius*.

Argiles

Les **argiles** es troben fàcilment a la natura i en afegir-hi aigua es transformen en una massa plàstica a la qual es pot donar molt fàcilment la forma desitjada. Aquesta massa adquireix les propietats d'una ceràmica després dels canvis químics produïts a les fases d'assecatge (amb aire calent) i de cocció (en forn entre 700 °C i 1400 °C).

Dins de les argiles, podem distingir entre les **estructurals** utilitzades en la fabricació de maons, totxanes, lloses, teules, etc.) i les **porcellanes** (de color blanc, un cop cuites, i utilitzades en la fabricació de sanitaris, vaixelles, aïllants, proteccions dentals, etc.).

Els components bàsics de l'argila utilitzada com a matèria primera són: el 80 % aproximadament de sílice (SiO_2) i alúmina (Al_2O_3), mentre que el 20 % restant correspon a impureses formades per altres tipus d'òxids. Les porcellanes contenen, aproximadament, el 50 % d'argila, el 25 % de quars i l'altre 25 % de feldspats.

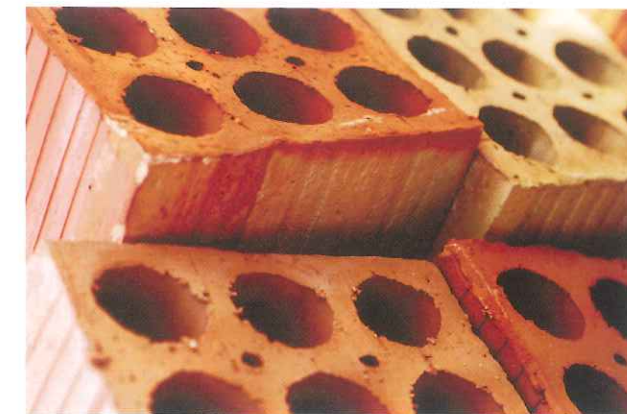


Fig. 9.22. Les argiles són bàsicament utilitzades en la construcció.

Ciments

Dins la denominació de **ciments** podem incloure diversos materials ceràmics: el *ciment pòrtland*, el *guix* i la *calç*. Tots aquests materials, en ser barrejats amb aigua, donen lloc a una massa plàstica, com en el cas de l'argila, que és molt fàcil de conformar i que després d'un cert temps s'agafa i s'endureix.

A diferència de l'argila, però, l'enduriment d'alguns ciments no es produeix per evaporació i cocció, sinó per complexes reaccions químiques del material amb l'aigua. L'argila mai no s'endurirà submergida en aigua, mentre que amb ciment es fan estructures submarines que endureixen sota l'aigua sense problemes. Aquest tipus de ciments són anomenats **hidràulics**.

El ciment es produeix per escalfament a 1400 °C en un forn giratori d'una mescla amb proporcions adequades d'argila i pedra calcària. El **clínquer**, o producte obtingut en aquest forn, es tritura molt fi i es barreja amb una petita quantitat de guix (sulfat de calci hidratat: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) per tal d'obtenir el ciment pòrtland.

Els ciments s'utilitzen en l'elaboració d'argamasses com el morter (ciment + sorra) o el formigó (ciment + sorra + grava) necessaris en edificació per unir materials ceràmics o formar estructures resistents com fonaments, pilars, bigues, etc.



Fig. 9.23. El ciment pòrtland i el guix són materials ceràmics agrupats dins la denominació de ciments.



Fig. 9.24. Llar de foc construïda amb blocs de ceràmica refractària.

Refractaris

Recordes com estaven recoberts internament els forns utilitzats per a l'obtenció de l'acer? Efectivament, amb blocs de ceràmica refractària. Aquest tipus de ceràmica té moltes aplicacions industrials gràcies a les seves propietats: suporten altes temperatures sense alterar-se, no reaccionen químicament amb els elements —sovint agressius— amb els quals entren en contacte i proporcionen un gran aïllament tèrmic.

Els **refractaris** estan formats per alúmina (Al_2O_3), sílice (SiO_2) i magnèsia (MgO). Segons el predomini d'un o un altre component, es coneixen com a refractaris d'**argila** (si hi ha predomini d'alúmina), **àcids** (si hi predomina la sílice) o **bàsics** (si hi predomina la magnèsia).

Els refractaris d'argila suporten temperatures al voltant dels 1580°C , però no tenen bones propietats mecàniques i, per tant, s'utilitzen en interiors de forns i com a aïllant tèrmic d'estructures resistents. Els refractaris àcids suporten temperatures d'uns 1650°C , tenen millors propietats mecàniques i suporten bé les escòries àcides (riques en sílice); s'utilitzen en la construcció dels sostres arquejats dels forns d'acer i de vidre. En els forns que tracten escòries riques en magnèsia i calç s'utilitzen els refractaris bàsics, ja que aquests compostos atacarien el refractari àcid.



Fig. 9.25. Bloc de ceràmica refractària.

Vidres

Els **vidres** són materials ceràmics formats per la fusió de sílice amb altres òxids i que tenen una estructura de sòlid amorf. A temperatura ambient, els vidres poden ser considerats líquids d'una gran viscositat, amb una gran transparència, fragilitat i duresa com a propietats principals.

Tipus de vidre	% de composició en pes						Propietats
	SiO_2	Na_2O	CaO	Al_2O_3	B_2O_3	altres	
Sílice fosa	99,5						Resistent al xoc tèrmic
Vycor	96				4		Resistent al xoc tèrmic i a l'atac químic
Pyrex	81	3,5			13		Resistent al xoc tèrmic i a l'atac químic
Envasos	74	16	5	1		4 MgO	Facilitat de conformació. Durable
Fibra de vidre	55		16	15	10	4 MgO	Facilitat per trefilar
Òptic (flint)	54	1				37 PbO + 8 K ₂ O	Alta densitat i alt índex de refracció
Vitroceràmica	70					4,5 TiO ₂ + 2,5 Li ₂ O	Resistència mecànica i resistent al xoc tèrmic

Taula 9.7. Vidres.



L'obtenció del vidre es produeix en un forn, amb l'escalfament de les matèries primeres que el formen fins a aconseguir-ne la fusió. En el cas dels vidres més comuns (els emprats per fabricar envasos i fines-tres) la sílice s'introdueix en forma de sorra de quars, la sosa en forma de cendra (Na_2CO_3) i la calç en forma de pedra calcària (CaCO_3).

Un cop aconseguida la fusió es procedeix tot seguit a donar-li la forma desitjada segons les seves aplicacions. Aquesta conformació del vidre es realitza a una temperatura inferior a la de fusió, la qual cosa provoca l'augment de la seva viscositat i el converteix en una massa molt plàstica, apta per poder-li aplicar alguna de les tècniques de conformació: *laminatge*, *premsatge*, *bufament*, *estirament* i *trefilatge*.

Si el procés de refredament del vidre no es fa prou lentament, es produeixen tensions internes que el fan molt trencadís. Per eliminar-les es pot sotmetre el vidre a un tractament tèrmic de **recuita**, és a dir, l'escalfament a una temperatura inferior a la de fusió i un refredament lent posterior.

A les grans portes i finestres, els parabrises dels vehicles de transport, etc., es requereixen vidres amb una resistència superior. Per tal d'aconseguir-la el vidre és sotmès a un **trempe** o escalfament a una temperatura adequada i a un refredament ràpid (amb aire o oli) de la superfície. Aquest tractament tèrmic introdueix unes tensions internes controlades, de manera que la superfície queda sotmesa a compressió, i fa el vidre més resistent.

Abrasius

En la indústria es necessiten materials capaços de polir, esmolar i tallar acers, metalls, roques i altres materials durs. Per a aquestes aplicacions es requereixen materials encara més durs, resistents al desgast (perquè durin), tenaços (perquè no es trenquin durant el treball) i refractaris (per suportar les altes temperatures que s'hi produeixen). Els materials que satisfan totes aquestes necessitats s'anomenen **abrasius**, i hi ha un grup de ceràmiques adequades per a aquestes aplicacions.

El material més dur és el diamant, però és car i fràgil i, per tant, no adequat per a moltes aplicacions. Les ceràmiques abrasives més usuals es formen a partir de carbur de silici (SiC), alúmina fosa o corindó (Al_2O_3), carbur de tungstè (WC) i òxid de zirconi (ZrO_2). Són utilitzats en forma de pòlvores, ja sigui soltes, fixades en làmines o fulls flexibles (teles d'esmeril), aglomerades amb resines orgàniques en forma de rodes (moles), sintetitzades en forma d'eines de tall (plaquetes per a eines de torn).



Fig. 9.28. Mola de disc tallant un metall.

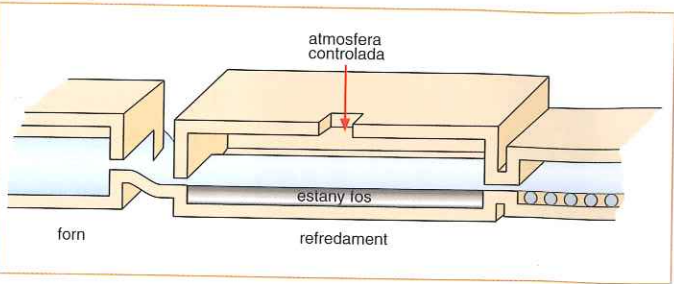


Fig. 9.26. Fabricació del vidre pla pel mètode float de flotació en estany fos.

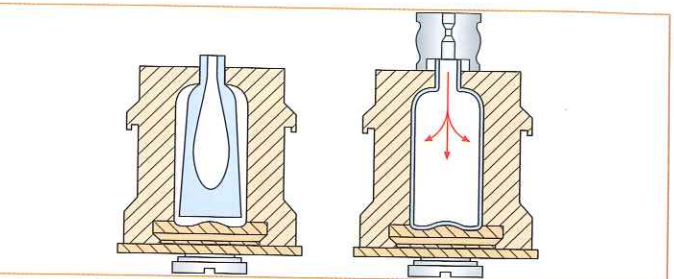


Fig. 9.27. Conformació d'ampolles de vidre pel mètode del bufament en motlle.

ACTIVITATS

- 19> Quines diferències existeixen entre els processos d'enduriment de les argiles i els dels ciments?

20> Creus que els mots *cristall* i *vidre* són sinònims des del punt de vista tecnològic? Justifica la teva resposta.
- 21> En què es diferencien les argiles de les porcellanes?

22> Quina diferència hi ha entre un refractari àcid i un altre de bàsic?

23> Quins efectes tenen el tremp i la recuita en els vidres?

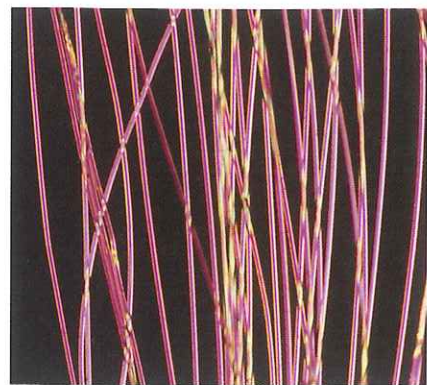


Fig. 9.29a. Filaments.

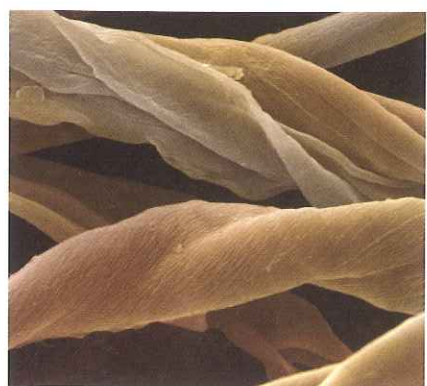


Fig. 9.29b. Fibres vegetals vistes al microscopi.



Fig. 9.29c. Fibres sintètiques en forma de filaments.

9.4 Les fibres tèxtils

La roba de vestir, la roba de casa, els entapissats, les cordes... són productes que tenen en comú la utilització de les *fibres tèxtils* com a primeres matèries. Les fibres tèxtils tenen una forma molt prima i allargada (aproximadament entre 10 i 50 μm de gruix i entre 10 i 50 mm de llarg, encara que n'hi ha que poden arribar als 750 mm) i s'utilitzen soltes per a farciment, o en forma de fils: estirades i caragolades per tal d'incrementar la seva resistència mecànica.

La principal aplicació de les fibres tèxtils és la **filatura** (formació de fils) i el posterior **tissatge** (elaboració de teixits) per a la confecció de roba. Però hi ha altres tipus de fibres que tenen altres aplicacions industrials com a aïllants, filtres, per a cordes i com a component dels materials compostos que estudiarà a l'apartat següent.

Classificació de les fibres tèxtils

Les fibres, segons el seu origen, es poden classificar en:

Fibres	Naturals	Vegetals	Del fruit o llavor: cotó, coco...
			De la tija: lli, canem, jute...
			De la fulla: espart, pita...
		Animals	D'ovelles: llana...
			De cabres: moher, caixmir...
			De conills: angora...
	Artificials	Minerals	Altres: seda, alpaca, cavall
		Raió-cuproamoniaca	Amiant
	Sintètiques	Raió-viscosa	
		Raió-acetat	
		Poliàmides: niló, perlé...	
		Polièsters: tergal, terlenka, terilene, trevira...	
		Poliacrilonitrils: orló, leacryl, draló, crilenka...	
		Poliuretans: licra...	

Taula 9.8. Classificació de les fibres tèxtils.

Les **fibres vegetals** tenen com a component bàsic la cel·lulosa i les més importants són el cotó i el lli. Les **fibres animals** s'obtenen del pèl de diferents animals i estan formades bàsicament per *proteïnes*. L'única **fibra mineral** natural és l'amiant, que destaca per la seva incombustibilitat i que ha estat molt utilitzat com a component d'un material anomenat *fibrociment* (més conegut per la denominació comercial *uralita*). Actualment està en desús perquè es tracta d'un producte molt perjudicial per a la salut si entra als pulmons per inhalació.

Les **fibres artificials** s'obtenen per la transformació de productes naturals a partir de cel·lulosa, principalment. La fabricació industrial d'aquestes fibres la va iniciar a França Hilaire de Chardonnet el 1889, i no va ser fins a finals de la dècada de 1920 que es van

començar a fabricar a Catalunya per part d'empreses com ara la SAFA a Blanes i La Seda al Prat de Llobregat. Aquest tipus de fibres s'obtenen en forma de filament continu, però de vegades es tallen per ser filades soles o barrejades amb altres fibres. Les fibres de raió de viscosa, quan són tallades, es coneixen amb la denominació de **fibrana**.

Les **fibres sintètiques** no necessiten cap producte natural per a la seva elaboració, sinó que s'obtenen directament a partir dels seus components elementals. Aquest tipus de fibres són polímers obtinguts en forma de filament pels processos de polimerització (poliaddició i policondensació) que ja has estudiat en aquesta unitat.

Propietats i aplicacions

A part de la llargària, el gruix i la textura externa que determinen l'aptitud d'una fibra per ser filada, les propietats més importants de les fibres tèxtils són les següents:

- La **resistència a la tracció**, per suportar els esforços del tissatge i de l'ús dels teixits.
- L'**elasticitat**, ja que la roba elàstica és més còmoda i adaptable al cos.
- La **uniformitat**, atès que permet d'obtenir productes més homogenis.
- La **higroscopicitat**, que indica la capacitat per absorbir la humitat (la suor del cos, per exemple). La manca d'higroscopicitat pot provocar al·lèrgies en pells sensibles.
- L'**aïllament tèrmic**, ja que un teixit aïllant proporcionarà abrís a l'hivern (evitarà la pèrdua de calor del cos) i un teixit conductor proporcionarà frescor a l'estiu.
- La **suavitat al tacte**, fonamental quan han d'anar en contacte directe amb la pell durant moltes hores.
- La **resistència als productes químics**, per facilitar la tintura, el rentatge i permetre, d'aquesta manera, un ús prolongat.

- En general, els **teixits de fibres naturals** són higroscòpics i suaus al tacte; a més:

El **cotó** és elàstic, conductor tèrmic, tendeix a encongir-se i s'arruga amb facilitat. És la fibra tèxtil més utilitzada.

El **lli** és molt resistent i conductor tèrmic, poc elàstic i s'arruga encara molt més que el cotó. S'utilitza per a roba d'estiu i estovalles.

La **llana** és molt elàstica i és un bon aïllant tèrmic, però té molta tendència a encongir-se i no suporta bé l'aplicació de calor.

La **seda** és molt resistent a la tracció i suau, elàstica i aïllant tèrmic; s'utilitza en l'elaboració de productes tèxtils de gran qualitat.

- Els **teixits de fibres artificials** tenen com a característiques comunes la uniformitat i la suavitat al tacte; a més:

El **raió cuproamoniaca** és més prim que la seda natural i s'utilitza per a l'elaboració de mitges, folres, etc.

El **raió de viscosa** o **fibrana** és la fibra artificial més utilitzada, especialment en roba de vestir i llenceria.

El **raió d'acetat** és molt semblant a la seda natural i té molt poca higroscopicitat; s'utilitza en teixits de fantasia, gavadines i paraigües.

- Els **teixits a base de fibres sintètiques** són molt uniformes, resistent a la tracció i als productes químics, s'arruguen poc, són sensibles a la calor i molt poc higroscòpics; a més:

Les **poliàmides** són molt resistent a la tracció i difícils de tenyir.

Els **polièsters** són fàcils de mantenir nets i duradors.

Els **poliacrilonitrils** (acrílics) són molt resistent a la llum del sol i llueixen; s'utilitzen en jerseis i mantes, encara que tenen certa tendència a formar "boles" a causa de l'ús.

Els **poliuretans** són molt elàstics, ideals per a la fabricació de roba esportiva, banyadors, mitges i, en general peces que s'hagin d'arrapar al cos.

ACTIVITATS

- 24> Tria una de les fibres artificials, cerca informació sobre el seu procés d'obtenció i presenta un breu informe.
- 25> A quina mena de fibres tèxtils es fa referència quan s'utilitza la denominació de «seda artificial»?
- 26> Quin tipus de fibra seria la més adequada per a l'elaboració d'un teixit resistent, aïllant tèrmic i suau? Justifica la resposta.

- 27> Molts cops, els fils de llana amb què s'elaboren els jerseis i altres peces de roba com els teixits de punt, estan formats per una barreja de fibres de llana natural i unes altres fibres no naturals. Quines creus que poden ser aquestes altres fibres? Justifica la resposta.

- 28> Quins elements constitutius diferencien les fibres vegetals de les animals i les sintètiques?



Fig. 9.30. Pont damunt la línia de l'AVE a Lleida, elaborat totalment amb perfils estructurals de material compost (fibres recobertes de resina polimèrica). S'aconsegueix molta rigidesa amb molt poc pes.

9.5 Els materials compostos

Als enginyers de disseny de productes els cal seleccionar els materials que aportin millors propietats a la solució que busquen. Sovint, la tria d'un material suposa acceptar-ne també els inconvenients. Normalment, els materials més resistents acostumen a ser molt densos, els durs acostumen a ser fràgils, altres materials són cars o difícils d'obtenir, d'altres no mantenen les seves propietats a temperatures elevades, etc.

Per a la construcció aeronàutica es requereixen materials lleugers, resistents a la tracció, a l'abració i a la corrosió i que siguin rígids i tenaços. Per tal de satisfer aquestes necessitats han estat desenvolupats els anomenats *compòsits* o *materials compostos*.



Els **materials compostos** estan formats per dos o més materials de composició, forma i grandària diferent, sense que hi hagi combinació química entre si.

En un material compost no és difícil de distingir cadascun dels materials que el formen. Aquest tipus de materials tenen unes propietats superiors a les que presenten els seus components individualment.

A la natura hi ha materials que podríem anomenar compostos: la fusta és formada per fibres de cel·lulosa flexibles envoltades per lignina rígida, els ossos són formats per una proteïna resistent i tova (el col·lagen) i un mineral dur (l'apatita), etc. Però quan es parla de materials compostos es fa referència a aquells que són produïts artificialment amb la intenció d'obtenir unes determinades propietats.

Alguns dels materials compostos més utilitzats són el formigó, les resines polimèriques reforçades amb fibres i els contraplacats i emparedats.

Formigó

El **formigó** és un material compost format per ciment pòrtland, sorra i grava. Presenta una alta resistència a la compressió; ara bé, té un greu inconvenient: la seva baixa resistència a la tracció, que el fa inadequat per a la construcció de bigues i pilars alts.

Per augmentar la resistència a la tracció, se li afegeix un altre component: les barres o malles d'acer. Obtenim així un nou material compost: el **formigó armat**. La combinació de propietats del formigó i de l'acer és possible perquè tots dos tenen un coeficient de dilatació tèrmica molt similar i una bona adherència; a més, l'acer queda protegit de la corrosió a l'interior del formigó. L'adherència de l'acer al formigó es pot millorar utilitzant acer *corrugat*, és a dir, amb una superfície rugosa o arrugada.

Una altra manera d'augmentar la resistència del formigó és sotmetre les barres d'acer a un esforç de tensió (sense superar el límit elàstic) mentre el formigó s'agafa i s'endureix. Un cop ha endurit el formigó, es retira l'esforç de les barres d'acer i aquestes tendeixen a contraure's per efecte de l'elasticitat. Aquesta contracció produeix un esforç de compressió al formigó quan està en repòs. El formigó produït així s'anomena **formigó pretesat** i és molt més resistent perquè gran part de la càrrega de treball s'ha de dedicar a *destesar* el formigó abans que deformar-lo. Amb el formigó pretesat es poden elaborar estructures resistents més esveltes i lleugeres (ponts, viaductes, torres, etc.) que amb el formigó armat sense pretesar.

Resines reforçades amb fibres

Aquest grup de materials són formats per fibres que aporten resistència a la tracció i rigidesa situades a l'interior d'una massa de resina polimèrica que aporta tenacitat. Les resines més utilitzades són les *insaturades de polièster* (UP) i les *epoxi* (EP). Les fibres més utilitzades són la de *vidre*, la de *carboni* i la *Kevlar*.

El **Kevlar** és una fibra formada per poliamida amb una estructura molecular molt rígida. De les tres fibres esmentades, la de vidre és, a causa del seu baix preu, la més utilitzada, per bé que té unes propietats inferiors a les altres.

Material	Resistència al trencament σ_r (MPa)	Mòdul elàstic E (GPa)	Tenacitat $(J/m^2) \cdot 10^6$	Densitat ρ (kg/m ³)
Resina de polièster	40-90	2-4,4	10,6-21,2	1100-1460
Resina epoxi	55-130	2,8-4,2	5,3-53	1200-1300
Fibra de vidre	2410	69	—	2540
Fibra de carboni	3100	220	—	1750
Kevlar 49 (aramida)	3617	124	—	1480

Taula 9.9 Propietats mecàniques de resines i fibres utilitzades en materials compostos.

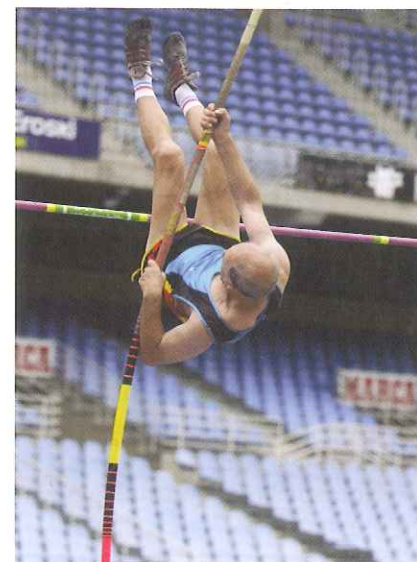


Fig. 9.31. L'esport és un dels camps d'aplicació dels materials compostos.

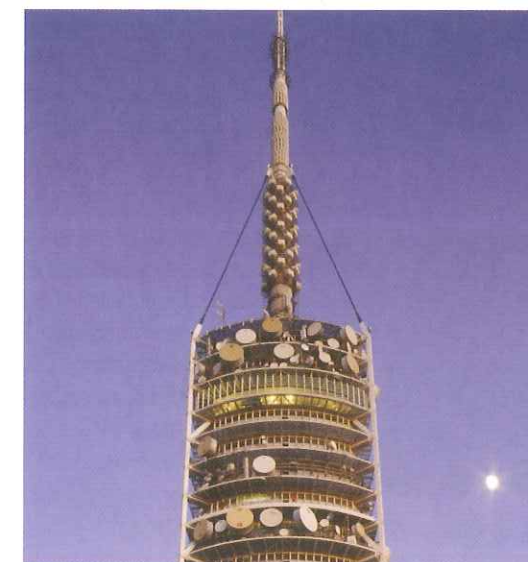


Fig. 9.32. Els tres tirants superiors de la Torre de Collserola (Barcelona) són d'un material compost a base d'aramida.

La gran importància d'aquests materials compostos es posa de manifest quan es comparen els seus valors de resistència en funció de les seves densitats. Aquesta relació s'anomena **resistència específica**. Les fibres de Kevlar 49, per exemple, tenen una resistència específica 30 vegades més elevada que la d'un acer amb alt contingut de carboni.

Normalment les fibres de vidre es barregen amb resines de polièster, i les de carboni i de Kevlar amb les resines epoxi. També existeixen resines epoxi amb un reforçament intern de fibres de carboni i de vidre alhora.

La resistència específica ($\sigma_{\text{específica}}$) de les fibres de Kevlar 49 és:

$$\sigma_{\text{específica}} = \frac{\sigma_p}{\rho} = \frac{3617 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2}{1480 \text{ kg/m}^3} = 2,44 \cdot 10^6 \text{ N/kg}$$



Fig. 9.33. El formigó armat i l'acer són els materials bàsics usats en la construcció de grans obres com el viaducte de Milhau (França), que és el més alt del món.

Contraplacats i emparedats

Els **contraplacats** i **emparedats** són dues tècniques d'elaboració de materials compostos que tenen com a objectiu comú l'obtenció de materials lleugers, rígids i resistents.

Ja saps que la fusta suporta bé els esforços aplicats en el mateix sentit de les seves fibres (la veta) però es trenca amb facilitat si s'hi apliquen perpendicularment. Si encolem diferents làmines primes de fusta de tal manera que les fibres de cadascuna formin un angle de 90° amb les fibres de les làmines adjacents, haurem superat el problema i tindrem un material lleuger i resistent. Aquest material és la **fusta contraplacada**.

La indústria aeronàutica necessita materials rígids, resistents i lleugers alhora. Una manera d'aconseguir aquesta combinació de propietats és la utilització de la tècnica de les estructures de tipus *sandvitx* (emparedat): fixar un material en forma de rusc entre dues làmines primes mitjançant un adhesiu o una soldadura. Els materials utilitzats per a aquests **emparedats** poden ser diversos: per als aeroplans s'utilitzen els aliatges d'alumini, en el cas de les portes interiors dels habitatges s'utilitza el cartró per a l'interior i la fullola o el contraplacat de fusta per a les cares externes, etc.

ACTIVITATS

- | | |
|--|---|
| <p>29> L'acer, com ja saps, està format per ferro i carboni. El podríem incloure dins dels materials compostos? Justifica la resposta.</p> <p>30> Defineix el concepte <i>material compost</i>.</p> <p>31> Indica les diferències existents entre el formigó, el formigó armat i el formigó pretensat.</p> <p>32> Quines propietats finals es busquen quan s'elabora un material contraplacat o emparedat?</p> | <p>33> Creus que el formigó sense barres d'acer en el seu interior pot ser considerat com un material compost? Justifica la resposta.</p> <p>34> Calcula les resistències específiques de la fibra de carboni i del duralumini. Compara els valors obtinguts i digues quin dels dos materials és millor per a aplicacions estructurals. Justifica les respostes.</p> <p>35> Per quin motiu creus que els materials lleugers són tan importants en els vehicles de transport?</p> |
|--|---|

Ciència, tecnologia i societat

Nanotubs de carboni

Un dels materials nous que possiblement tindrà més aplicacions en el futur són els nanotubs de carboni (CNT).

Els nanotubs de carboni són una forma al·lotròpica del carboni, com ho és també el grafit. Estan constituïts per xarxes hexagonals de carboni corbades i tancades sobre si mateixes, formant tubs de carboni nanomètrics amb una sèrie de propietats molt interessants que han desembocat en nombroses aplicacions tecnològiques. Són sistemes lleugers, buits i porosos que tenen una alta resistència mecànica i, per tant, són útils per al reforçament estructural de materials i la formació de compòsits de pes baix, d'una alta resistència a la tracció i d'una elasticitat enorme.

Electrònicament, s'ha comprovat que els nanotubs es comporten com fils quàntics ideals monodimensionals amb un comportament aïllant, semiconductor o metàl·lic, depenent dels paràmetres geomètrics dels tubs. Si aquests paràmetres són els adequats condueixen l'electricitat molt millor que el coure, fet que representaria un estalvi molt important en el transport de l'energia si les línies d'alta tensió es poguessin fer amb nanotubs de carboni. Una altra de les seves propietats interessants és l'alta capacitat d'emissió d'electrons que presenten.

En aquest camp, el seu interès es basa en el fet que siguin capaços d'emetre electrons a 0,11 eV d'energia, mentre que els millors emissors d'electrons utilitzats actualment emeten en un rang entre 0,6 i 0,3 eV. A més de l'estret rang d'emissió d'energia, els CNT presenten altres avantatges respecte dels cristalls líquids utilitzats en les pantalles planes, com: un angle ampli de visió, la capacitat de treballar en condicions extremes de temperatura, i lluentor suficient per poder veure les imatges a la llum del sol. Una altra de les seves aplicacions com a emissors d'electrons és la seva utilització en la fabricació de fonts d'electrons per a microscopis electrònics. En el camp de l'energia, els CNT poden ser usats per a la preparació

d'elèctrodes per a supercondensadors i bateries de liti, per a l'emmagatzematge d'hidrogen i com a suport de catalitzadors de platí en piles de combustible, una aplicació molt important a l'hora de fabricar motors d'hidrogen.

En aplicacions biomèdiques s'utilitzen en sistemes de reconeixement molecular com a biosensors, i per a la fabricació de músculs artificials. També es poden modificar per introduir gens a les cèl·lules, cosa que fins ara només es podia fer amb virus com a portadors dels gens que es volien introduir. Una altra de les aplicacions dels CNT és la producció de materials d'alt valor afegit, amb propietats estructurals i funcionals millorades.

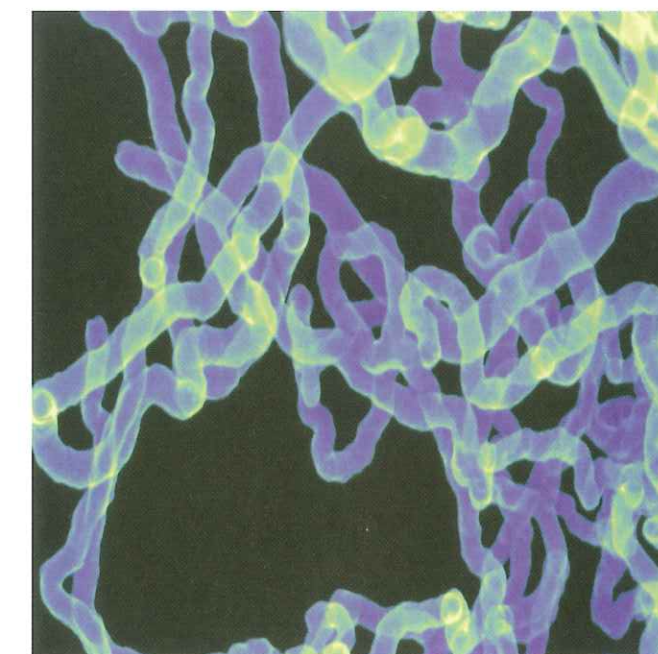


Fig. 9.34. Nanotubs de carboni.



Activitats finals

Qüestions

- 1> Els principals elements químics que formen els polímers orgànics són:
 - a) El carboni, les resines i la cel·lulosa.
 - b) L'hidrogen, el clor i el carboni.
 - c) El carboni, l'hidrogen i l'oxigen.
 - d) L'etilè, el propilè i el vinil.
- 2> Si vols millorar la resistència mecànica d'un polímer, pots:
 - a) Afegir-li additius estabilitzants.
 - b) Afegir-li càrregues.
 - c) Rebaixar-li el grau de polimerització.
 - d) Fer-li una copolimerització d'empelt.
- 3> Un dels processos de conformació de materials plàstics en què no cal utilitzar motlle és:
 - a) El calandratge.
 - b) L'extrusió.
 - c) El bufament.
 - d) La injecció.
- 4> Una de les característiques de la fusta és:
 - a) Que és un material homogeni.
 - b) Que és un material heterogeni.
 - c) Que la seva resistència mecànica no depèn de la direcció en què s'aplica la força.
 - d) Que quan s'asseca es dilata.
- 5> Les resines sintètiques a base de formaldehid són necessàries per a l'elaboració de:
 - a) Taulers enllistonats.
 - b) Taulers contraplacats.
 - c) Taulers de fibres (de tipus DM i *tablex*).
 - d) Taulers de partícules (de tipus aglomerat).
- 6> Un material refractari:
 - a) Suporta temperatures elevades sense deteriorar-se.
 - b) Suporta esforços elevats sense deteriorar-se.
 - c) Reflecteix la major part de la llum incident.
 - d) Repel·leix la humitat.
- 7> Els tractaments tèrmics són aplicables als metalls i:
 - a) A les ceràmiques.
 - b) Als vidres.
 - c) Als polímers.
 - d) A les fustes.
- 8> Les fibres que s'obtenen per polimerització són:
 - a) El lli i el raïó.
 - b) La viscosa i la licra.
 - c) Les sintètiques.
 - d) Les artificials.
- 9> Les fibres sintètiques més utilitzades en l'elaboració de roba esportiva de bany són:
 - a) Els poliuretans (licra).
 - b) El raïó d'acetat.
 - c) Les poliamides (niló).
 - d) Els polièsters (trevira).
- 10> Dues de les propietats més destacades en un material compost o compòsit són:
 - a) La duresa i la tenacitat.
 - b) La tenacitat i la lleugeresa.
 - c) La duresa i la rigidesa.
 - d) La rigidesa i la lleugeresa.

Avaluació del bloc 3

- 1> Un perfil d'alumini dels utilitzats en la construcció de marcs de finestres té una llargària $L_o = 2$ m a la temperatura $T_1 = 0^\circ\text{C}$. Quina serà la seva llargària L_f quan en un dia d'estiu, a ple sol, assoleixi la temperatura $T_2 = 40^\circ\text{C}$?
- 2> Les forces de cohesió:
 - a) Són les responsables de la plasticitat dels materials.
 - b) Són inversament proporcionals a la resistència mecànica.
 - c) S'oposen a la deformació i a les forces externes.
 - d) Són les que, aplicades sobre els materials, tendeixen a aixafar-los o a comprimir-los.
- 3> L'aliatge anomenat *invar* (64% Fe + 36% Ni) és molt utilitzat en aplicacions que requereixen un coeficient de dilatació lineal baix. Quina quantitat de ferro m_{Fe} es necessita per obtenir $m_{\text{Invar}} = 3$ kg d'*invar*?
 - a) $1,05 \cdot 10^6$ N/m³
 - b) 948,82 kg/N
 - c) 27,16 kN/kg
 - d) $0,948 \cdot 10^6$ N m/kg
- 4> L'afinament d'un metall consisteix en...
 - a) L'eliminació de la major part de les impureses que acompanyen un metall per tal d'augmentar-ne la puresa.
 - b) La reducció del gra en l'acabat superficial per tal d'augmentar-ne la lluentor
 - c) La separació dels elements d'aliatge per tal de tornar a tenir-lo pur.
 - d) Aconseguir una superfície de tall prou esmolada
- 5> Una fibra de vidre amb un mòdul elàstic de 69 GPa, una resistència a la tracció de 2410 MPa i una densitat de 2540 kg/m³ presenta una resistència específica de...
 - a) $1,05 \cdot 10^6$ N/m³
 - b) 948,82 kg/N
 - c) 27,16 kN/kg
 - d) $0,948 \cdot 10^6$ N m/kg