

Clase 16

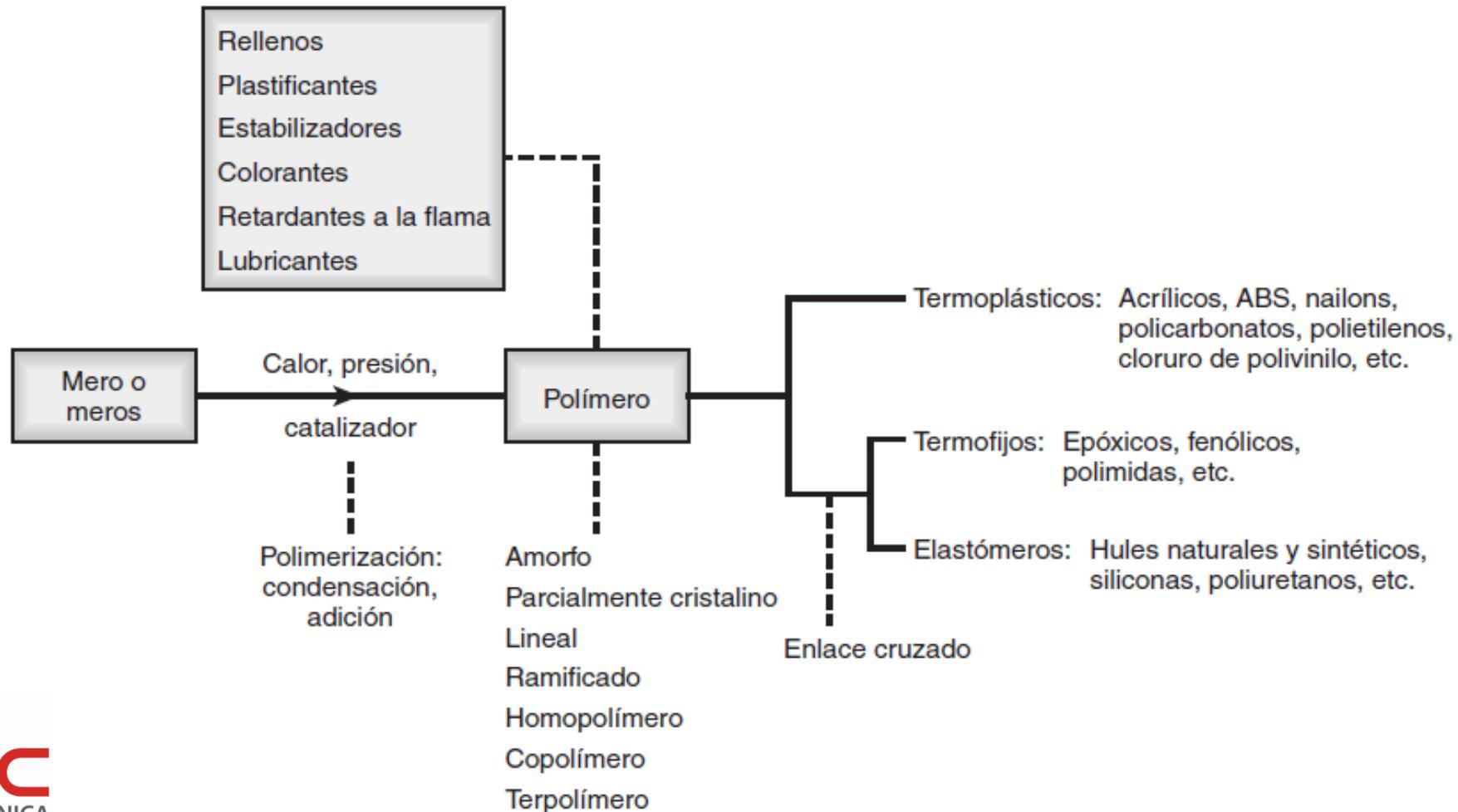
- Polímeros – Extrusión de plásticos

Propiedades de los Polímeros

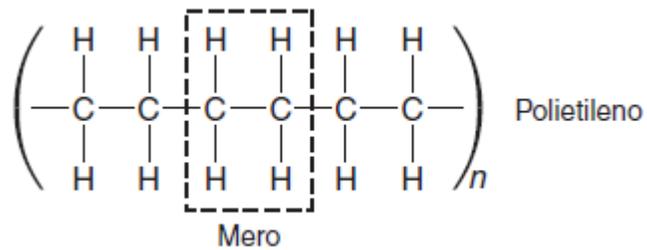
Gama de propiedades mecánicas para diversos plásticos de ingeniería a temperatura ambiente

Material	UTS (MPa)	E (GPa)	Elongación (%)	Relación de Poisson (ν)
ABS	28–55	1.4–2.8	75–5	—
ABS, reforzado	100	7.5	—	0.35
Acetal	55–70	1.4–3.5	75–25	—
Acetal, reforzado	135	10	—	0.35–0.40
Acrílico	40–75	1.4–3.5	50–5	—
Celulósico	10–48	0.4–1.4	100–5	—
Epóxico	35–140	3.5–17	10–1	—
Epóxico, reforzado	70–1400	21–52	4–2	—
Fluorocarbono	7–48	0.7–2	300–100	0.46–0.48
Nailon	55–83	1.4–2.8	200–60	0.32–0.40
Nailon, reforzado	70–210	2–10	10–1	—
Fenólico	28–70	2.8–21	2–0	—
Policarbonato	55–70	2.5–3	125–10	0.38
Policarbonato, reforzado	110	6	6–4	—
Poliéster	55	2	300–5	0.38
Poliéster, reforzado	110–160	8.3–12	3–1	—
Polietileno	7–40	0.1–1.4	1000–15	0.46
Polipropileno	20–35	0.7–1.2	500–10	—
Polipropileno, reforzado	40–100	3.5–6	4–2	—
Poliestireno	14–83	1.4–4	60–1	0.35
Cloruro de polivinilo	7–55	0.014–4	450–40	—

Propiedades de los Polímeros



Propiedades de los Polímeros



Polímero	Monómero	Mero de repetición	Fórmula química
Polipropileno	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ \text{C} = & \text{C} \\ & \\ \text{H} & \text{CH}_3 \end{array}$	$\left[\begin{array}{cc} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C} & -\text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{CH}_3 \end{array} \right]_n$	$(\text{C}_3\text{H}_6)_n$
Cloruro de polivinilo	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ \text{C} = & \text{C} \\ & \\ \text{H} & \text{Cl} \end{array}$	$\left[\begin{array}{cc} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C} & -\text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{Cl} \end{array} \right]_n$	$(\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl})_n$
Poliestireno	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ \text{C} = & \text{C} \\ & \\ \text{H} & \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	$\left[\begin{array}{cc} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C} & -\text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} \right]_n$	$(\text{C}_8\text{H}_8)_n$
Politetrafluoretileno (teflón)	$\begin{array}{c} \text{F} & \text{F} \\ & \\ \text{C} = & \text{C} \\ & \\ \text{F} & \text{F} \end{array}$	$\left[\begin{array}{cc} \text{F} & \text{F} \\ & \\ -\text{C} & -\text{C}- \\ & \\ \text{F} & \text{F} \end{array} \right]_n$	$(\text{C}_2\text{F}_4)_n$
Poliisopreno (caucho natural)	$\begin{array}{cccc} \text{H} & \text{H} & & \text{H} \\ & & & \\ \text{C} & -\text{C} = & \text{C} & -\text{C} \\ & & & \\ \text{H} & & \text{CH}_3 & \text{H} \end{array}$	$\left[\begin{array}{cccc} \text{H} & \text{H} & & \text{H} \\ & & & \\ -\text{C} & -\text{C} = & \text{C} & -\text{C}- \\ & & & \\ \text{H} & & \text{CH}_3 & \text{H} \end{array} \right]_n$	$(\text{C}_5\text{H}_8)_n$

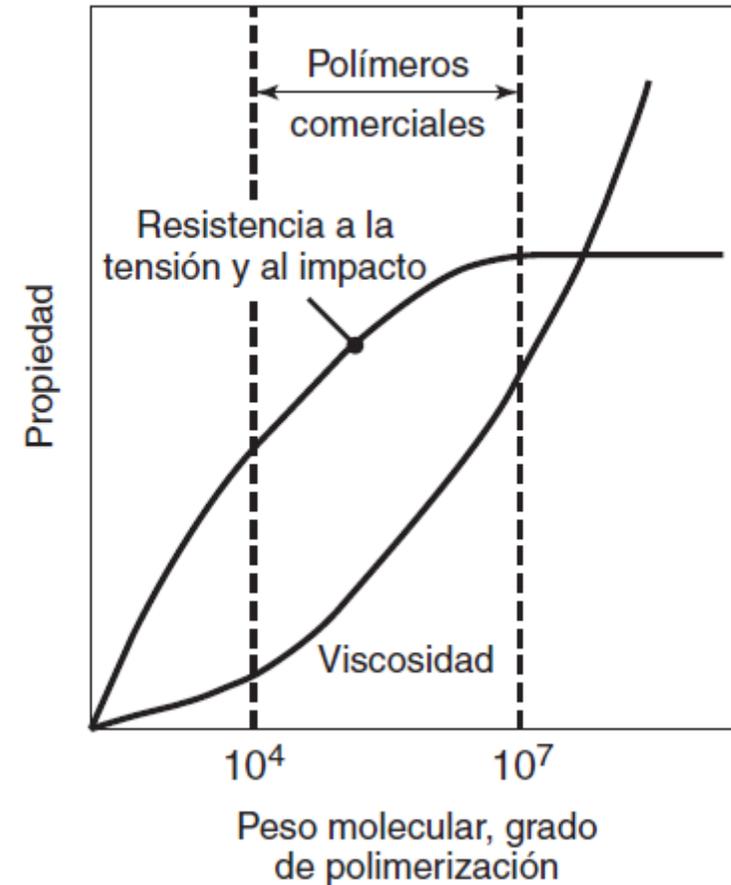
Propiedades de los Polímeros

<https://www.youtube.com/watch?v=INWc6xUf6U4>

Polímero	Unidad repetitiva	Fórmula química	Condensado
Nylon-6,6	$\left[\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{H}_6 \end{array} - \text{N} - \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{O} \\ \\ \text{C} \end{array} - \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{H}_4 \end{array} - \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{C} \end{array} - \text{N} - \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{O} \\ \\ \text{C} \end{array} - \text{N} \right]_n$	$[(\text{CH}_2)_6 (\text{CONH})_2 (\text{CH}_2)_4]_n$	H_2O
Polycarbonato	$\left[(\text{C}_6\text{H}_4) - \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} - (\text{C}_6\text{H}_4) - \text{O} - \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{O} \end{array} - \text{O} \right]_n$	$(\text{C}_3\text{H}_6 (\text{C}_6\text{H}_4)_2 \text{CO}_3)_n$	HCl
Fenol formaldehído	$\left[\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{C}_6\text{H}_4 - \text{C} \\ \quad \\ \text{OH} \quad \text{H} \end{array} \right]_n$	$[(\text{C}_6\text{H}_4)\text{CH}_2\text{OH}]_n$	H_2O
Urea formaldehído	$\left[\begin{array}{c} \text{NH} \\ \\ \text{C} = \text{O} \\ \\ \text{NH} \end{array} - \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{H} \end{array} \right]_n$	$(\text{CO}(\text{NH})_2 \text{CH}_2)_n$	H_2O

Propiedades de los Polímeros

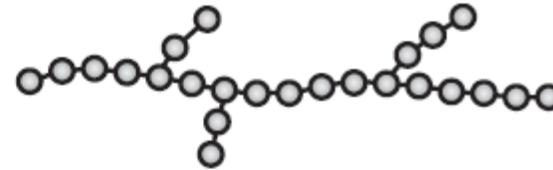
Polimerización	Estado PE
1	Gas
6	Líquido
35	Grasa
140	Cera
1350	Sólido rígido



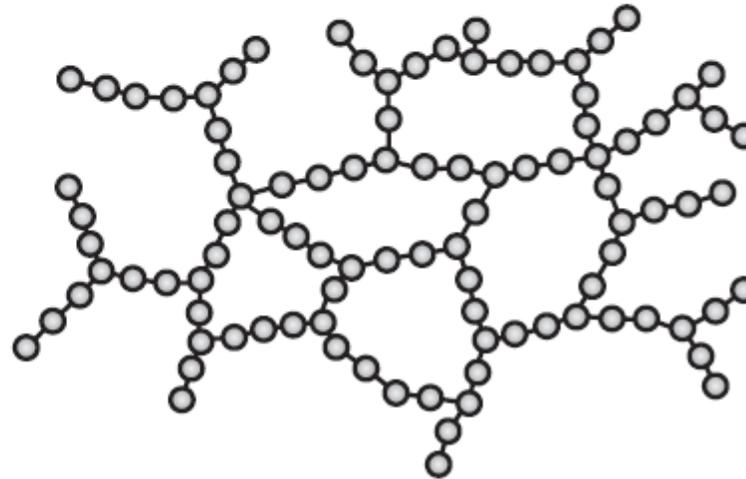
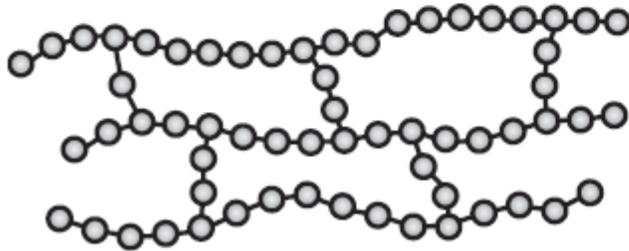
Propiedades de los Polímeros



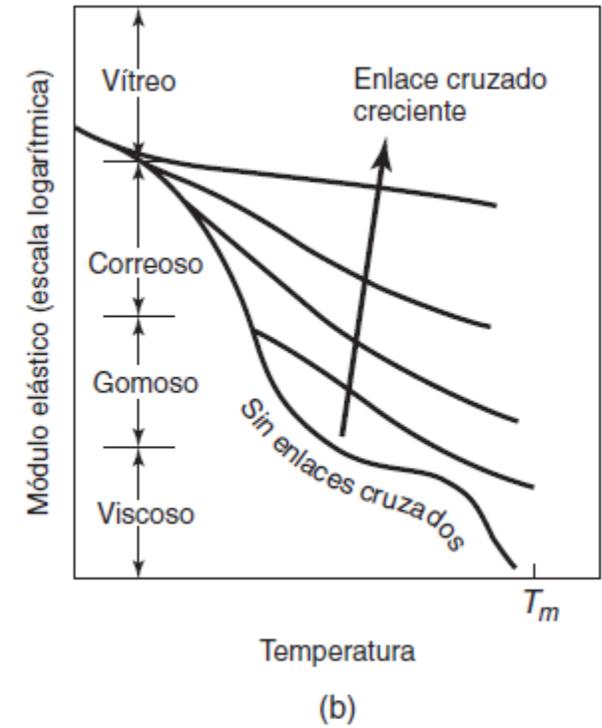
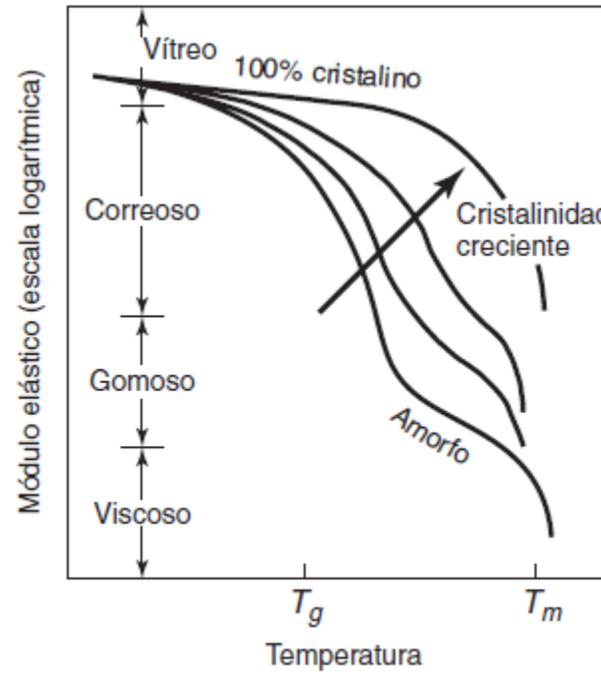
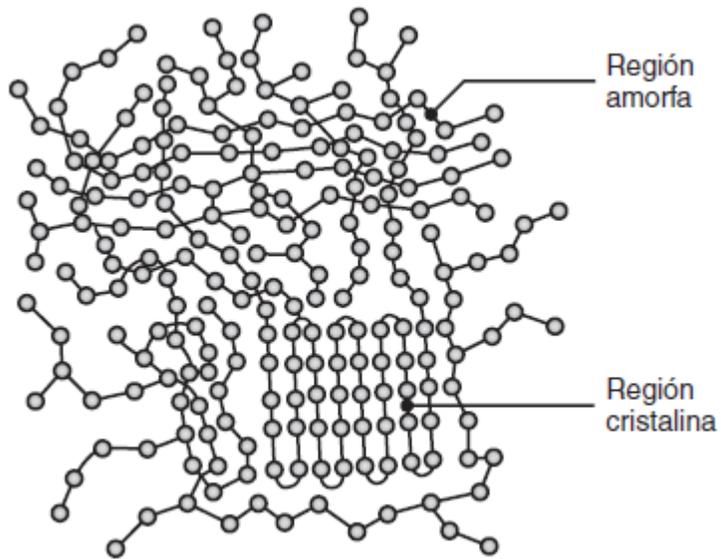
(a) Lineal



(b) Ramificada



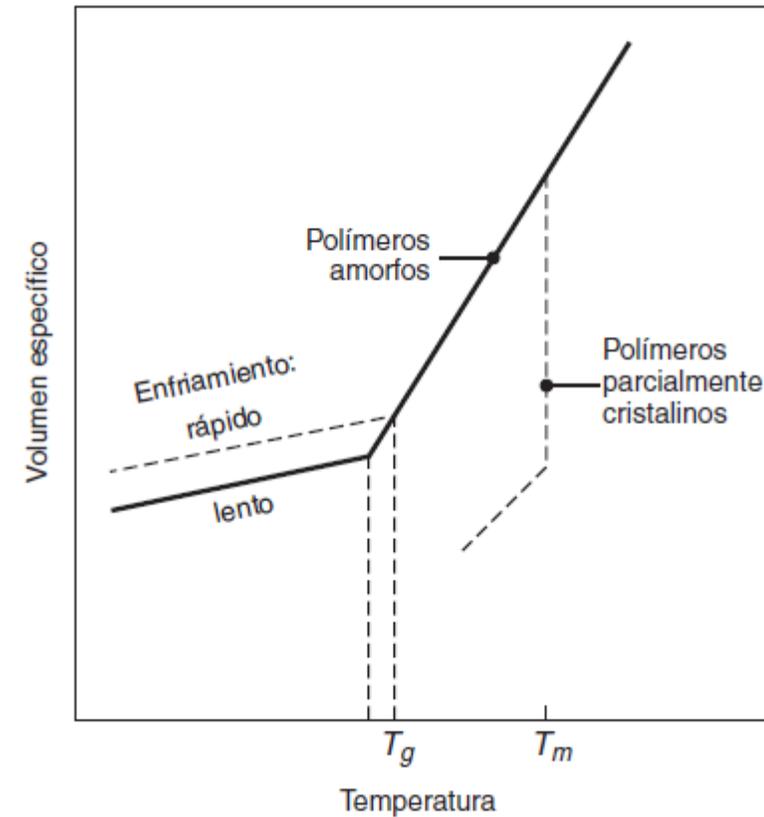
Propiedades de los Polímeros



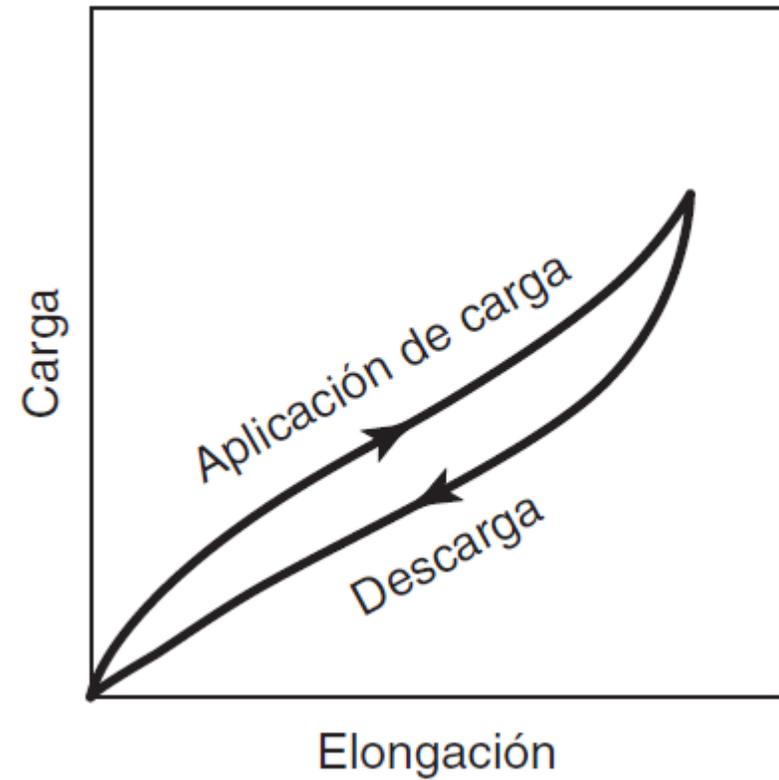
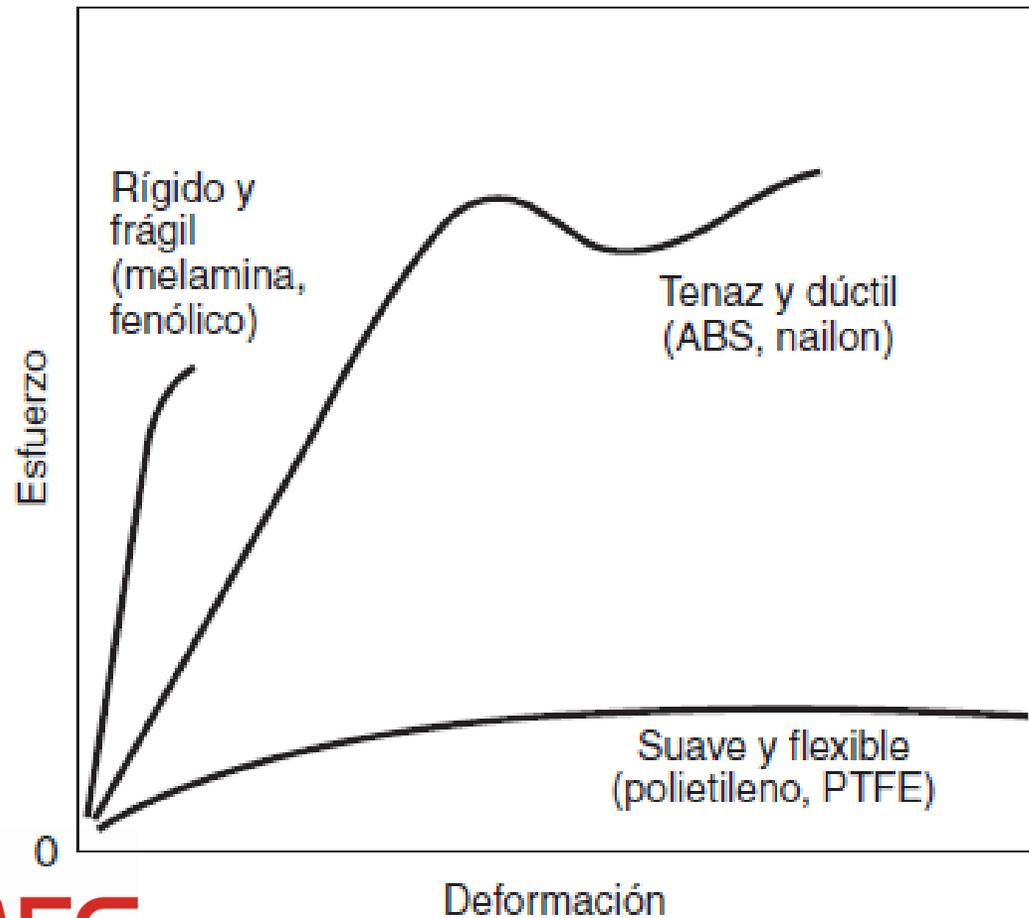
Propiedades de los Polímeros

TABLA 7.2

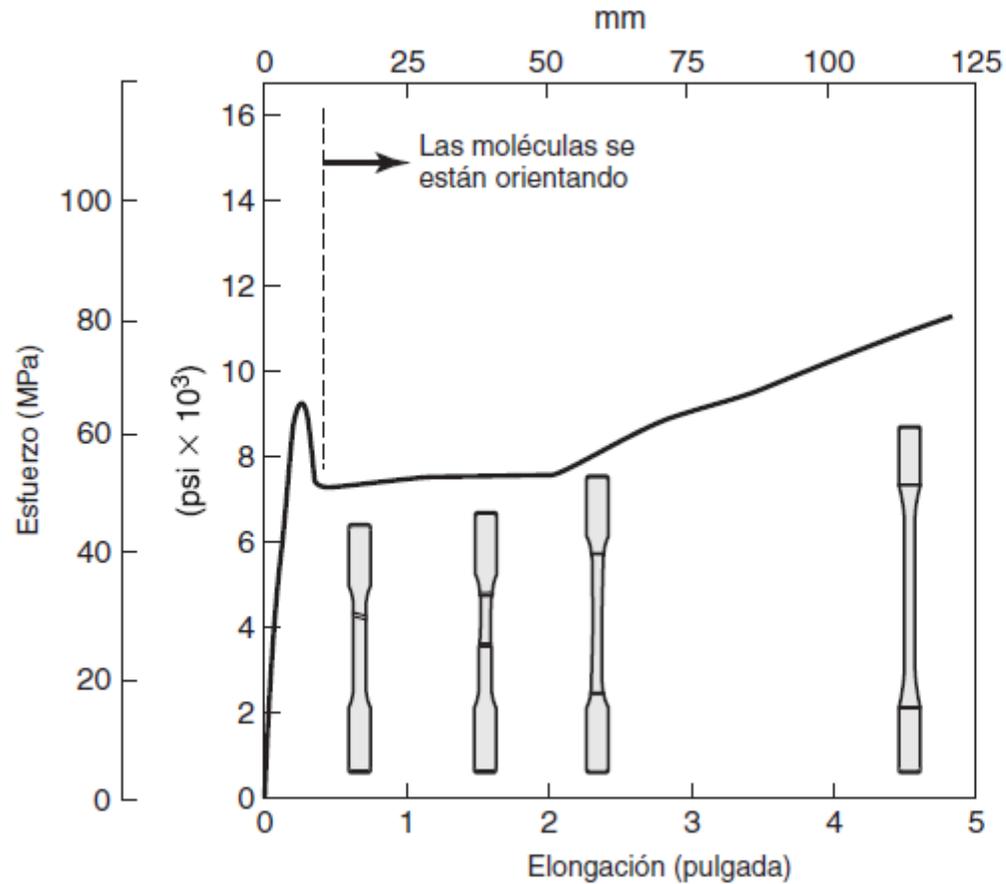
Temperaturas de transición vítrea y de fusión de algunos polímeros		
Material	T_g (°C)	T_m (°C)
Nailon 6,6	57	265
Policarbonato	150	265
Poliéster	73	265
Polietileno		
Alta densidad	-90	137
Baja densidad	-110	115
Polimetilmetacrilato	105	—
Polipropileno	-14	176
Poliestireno	100	239
Politetrafluoroetileno	-90	327
Cloruro de polivinilo	87	212
Hule	-73	—



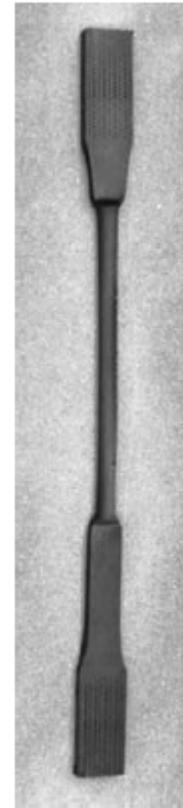
Propiedades de los Polímeros



Propiedades de los Polímeros

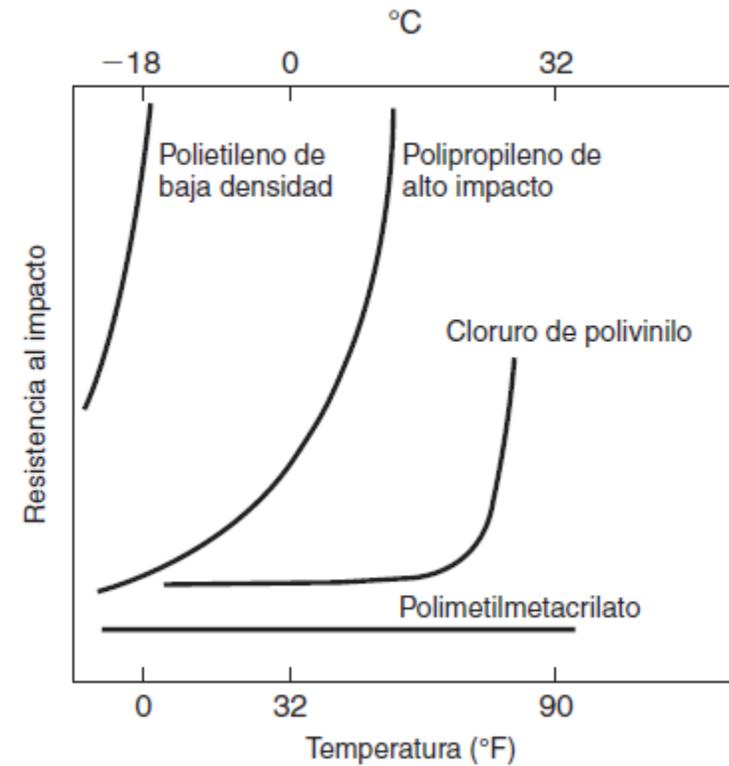
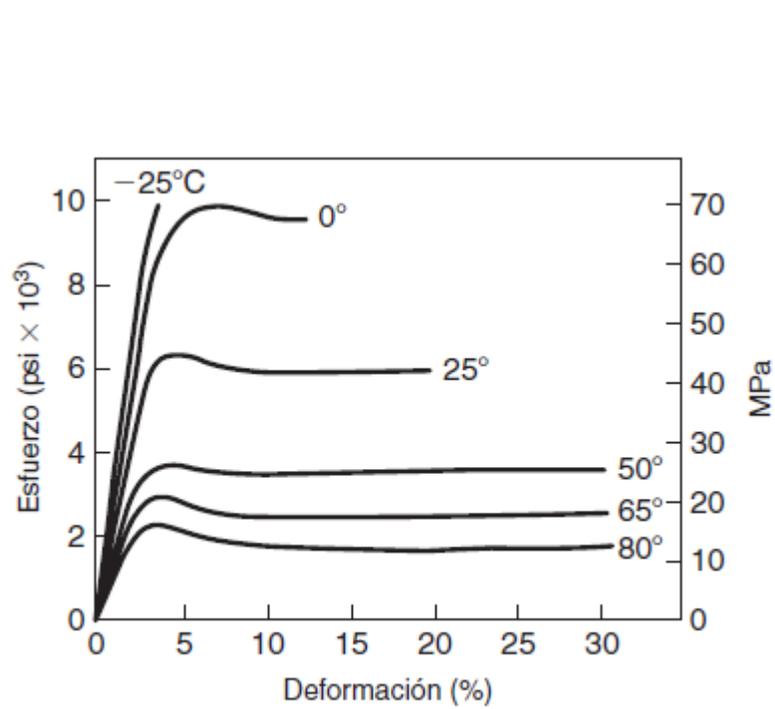


(a)

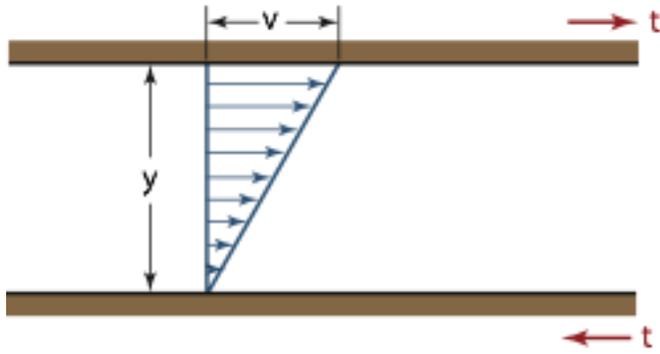


(b)

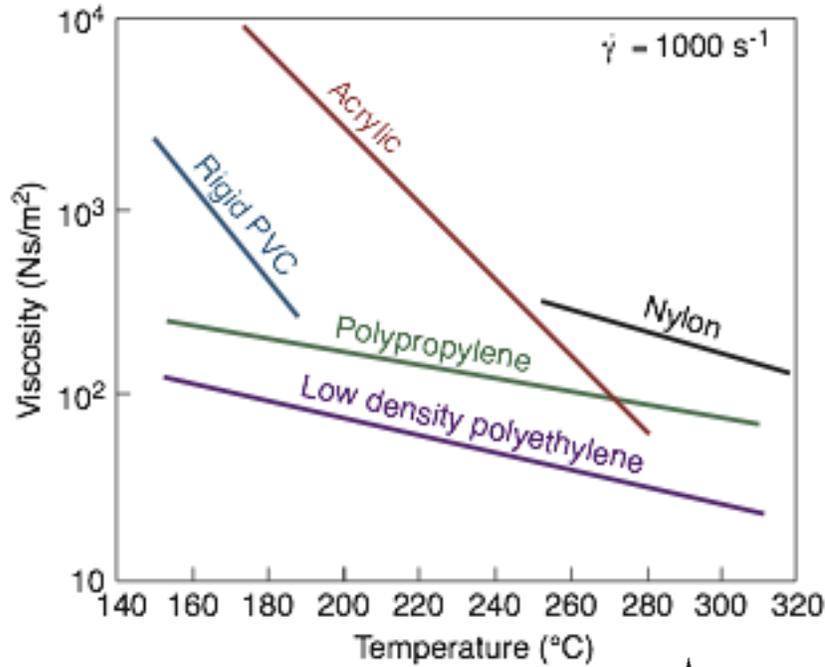
Propiedades de los Polímeros



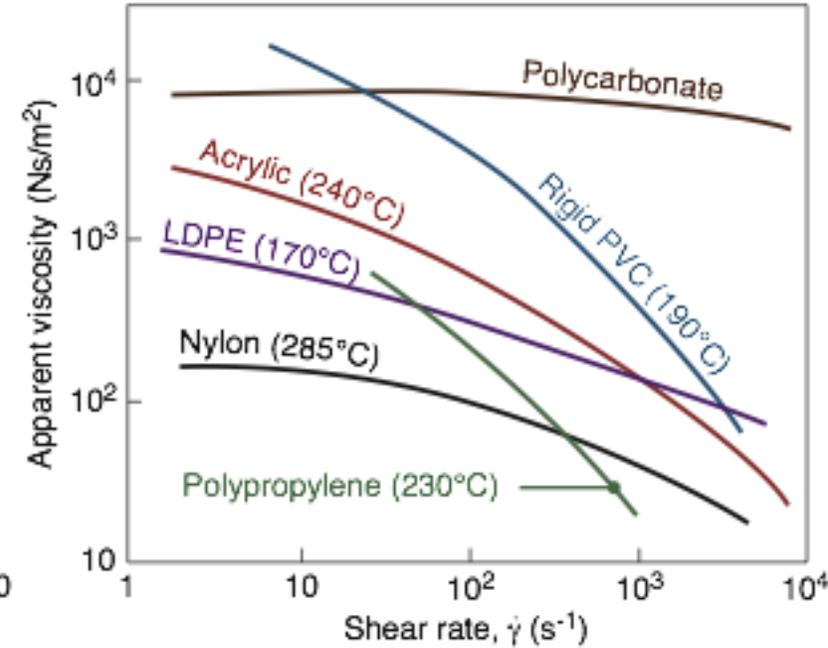
Propiedades de los Polímeros



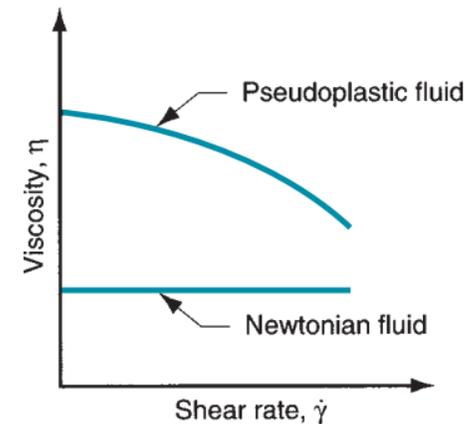
$$\tau = \eta \left(\frac{dv}{dy} \right) = \eta \dot{\gamma}$$



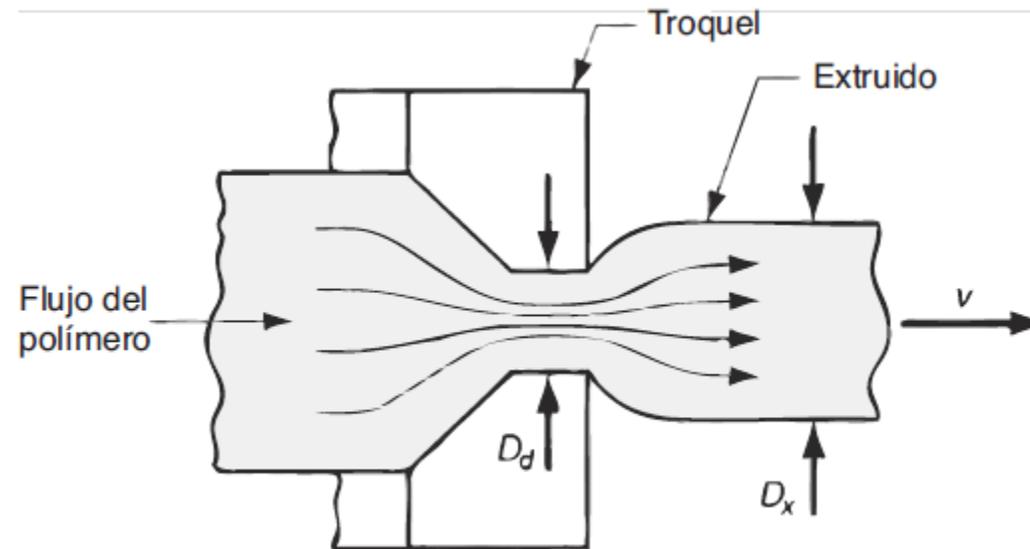
(a)



(b)



Propiedades de los Polímeros



Propiedades de los Polímeros

Plastic Recycling Symbols

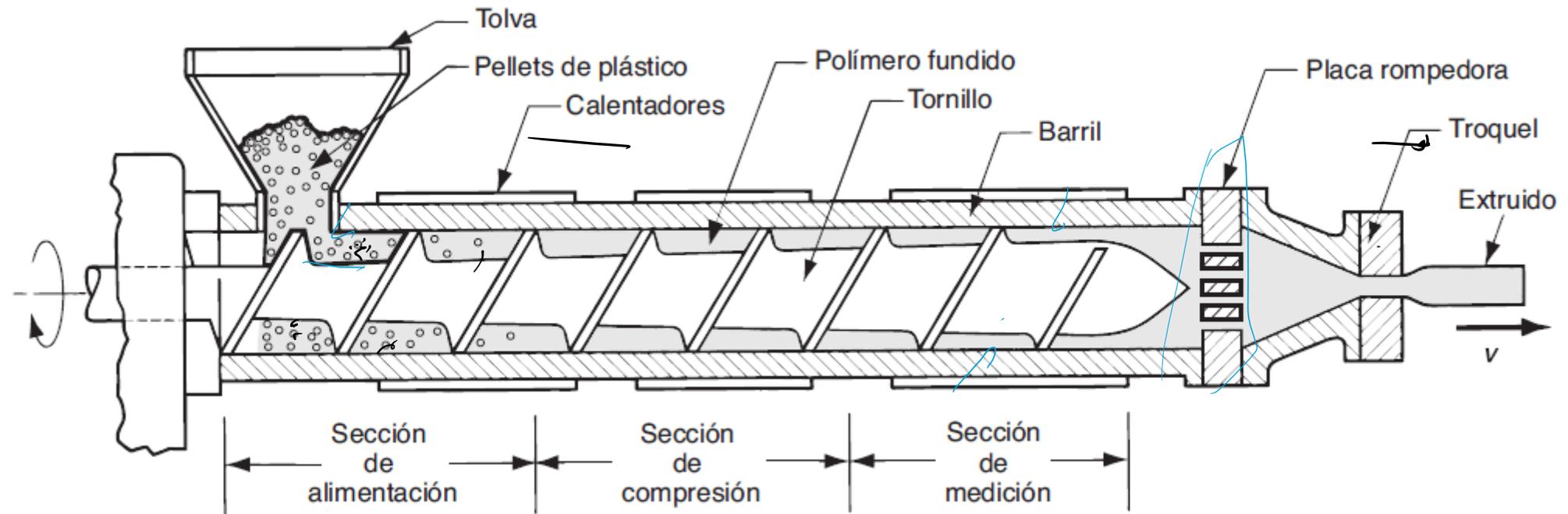
		Typical Products	Recycled Products
 1 PET	Polyethylene Terephthalate	Soft drinks containers Peanut butter jars	Pillow stuffing
 2 HDPE	High Density Polyethylene	Milk or juice jugs Some yogurt containers Shampoo bottles	Blue Boxes Playground equipment
 3 PVC	Polyvinyl Chloride	Water bottles	Floor tiles Bubble wrap Traffic cones
 4 LDPE	Low Density Polyethylene	Bread and grocery bags	Plastic lumber Compost bins
 5 PP	Polypropylene	Syrup and ketchup bottles	Ice scrapers
 6 PS	Polystyrene	Foam cups	Egg cartons
 7 OTHER	Other	Safety glasses Automotive tail lights	Outdoor signs

Procesos de los Polímeros

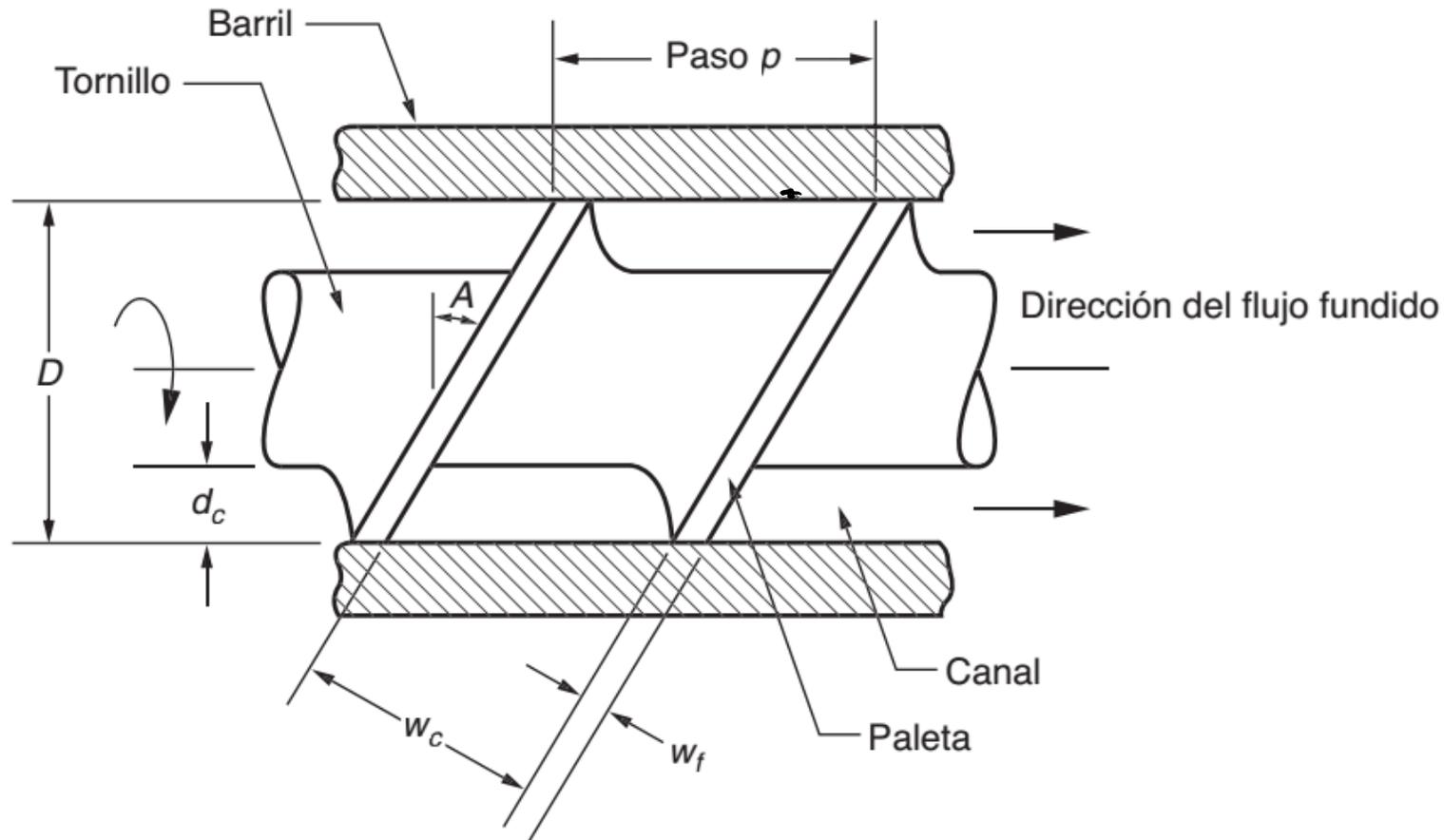
Características generales de los procesos de formado y moldeo para plásticos y materiales compósitos

Proceso	Características
Extrusión	Secciones transversales continuas, uniformemente sólidas o huecas y complejas; altas capacidades de producción; costos de herramental relativamente bajos; tolerancias amplias.
Moldeo por inyección	Formas complejas de diversos tamaños; paredes delgadas; capacidades de producción muy altas; herramientas costosas; buena precisión dimensional.
Moldeo de espuma estructural	Partes grandes con alta relación de rigidez a peso; herramental menos costoso que en el moldeo por inyección; bajas capacidades de producción.
Moldeo por soplado	Partes huecas de pared delgada y botellas de varios tamaños; altas capacidades de producción; costos relativamente bajos de herramental.
Rotomoldeo	Accesorios grandes, huecos, de forma relativamente simple; costos relativamente bajos del herramental; capacidades de producción relativamente bajas.
Termoformado	Cavidades huecas o relativamente profundas; costos bajos de herramental; capacidades medias de producción.
Moldeo por compresión	Partes similares al forjado de matriz de impresión; herramental costoso; capacidades medias de producción.
Moldeo por transferencia	Partes más complejas que las de moldeo por compresión; capacidades más altas de producción; altos costos de herramental; cierta pérdida en desperdicios.
Fundición	Formas simples o intrincadas fabricadas con moldes rígidos o flexibles de bajo costo; bajas capacidades de producción.
Procesamiento de materiales compósitos	Tiempos largos de los ciclos; operación costosa; los costos del herramental dependen del proceso.

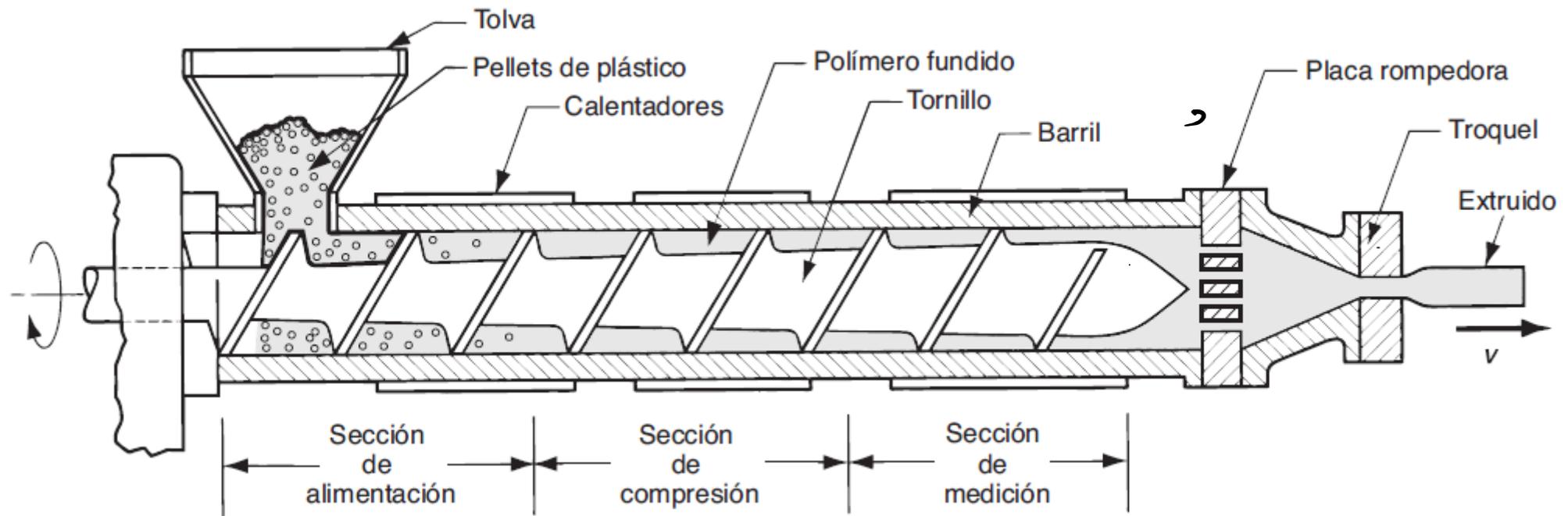
Extrusión



Flujo en tornillo de Extrusión



$$\tan A = \frac{p}{\pi D}$$



Flujo en el tornillo

Flujo por arrastre de tornillo

$$Q_d = 0.5\pi^2 D^2 N d_c \text{ sen } A \text{ cos } A$$

Flujo diferencia de presión

$$Q_b = \frac{\pi D d_c^3 \text{ sen}^2 A}{12\eta} \left(\frac{dp}{dl} \right)$$

$$Q_x = Q_d - Q_b$$

$$Q_x = 0.5\pi^2 D^2 N d_c \text{ sen } A \text{ cos } A - \frac{\rho\pi D d_c^3 \text{ sen}^2 A}{12\eta L}$$

Ejemplo

Un barril extrusor tiene un diámetro $D = 75$ mm. El tornillo gira a $N = 1$ rev/s. La profundidad del canal es $d_c = 6.0$ mm y el ángulo de la cuerda $A = 20^\circ$. La presión piezométrica en el extremo del barril $p = 7.0 \times 10^6$ Pa, la longitud del barril $L = 1.9$ m, y la viscosidad del polímero fundido se supone de $\eta = 100$ Pa. Determine el gasto volumétrico del plástico en el barril Q_x .

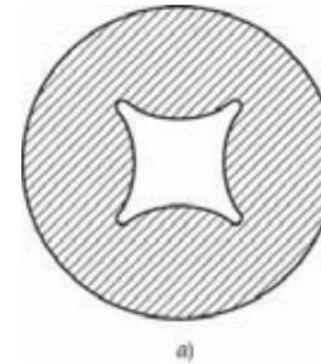
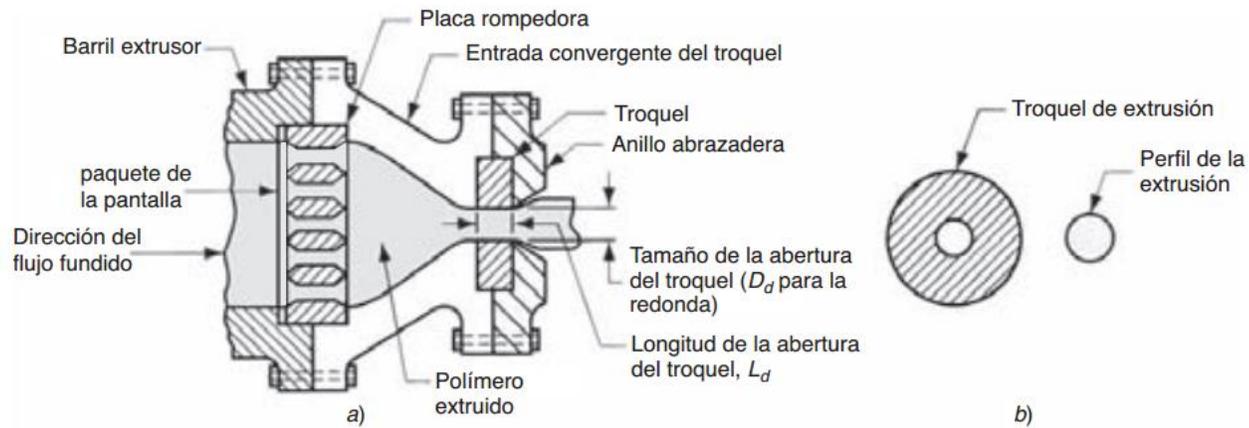
$$Q_d = 0.5\pi^2 D^2 N d_c \operatorname{sen} A \cos A$$

$$Q_b = \frac{\pi D d_c^3 \operatorname{sen}^2 A}{12\eta} \left(\frac{dp}{dl} \right)$$

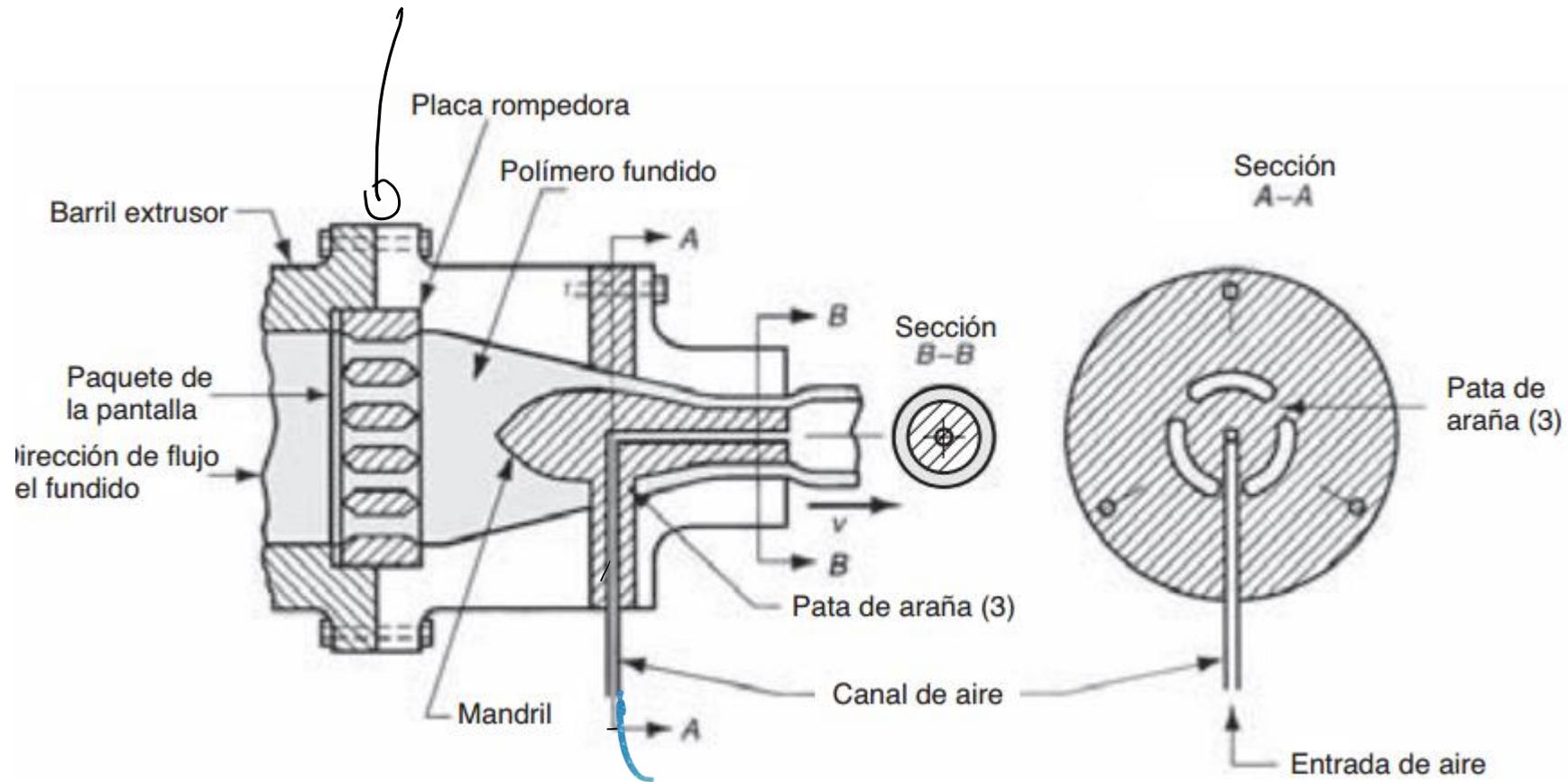
$$Q_x = Q_d - Q_b$$

$$Q_x = 0.5\pi^2 D^2 N d_c \operatorname{sen} A \cos A - \frac{p\pi D d_c^3 \operatorname{sen}^2 A}{12\eta L}$$

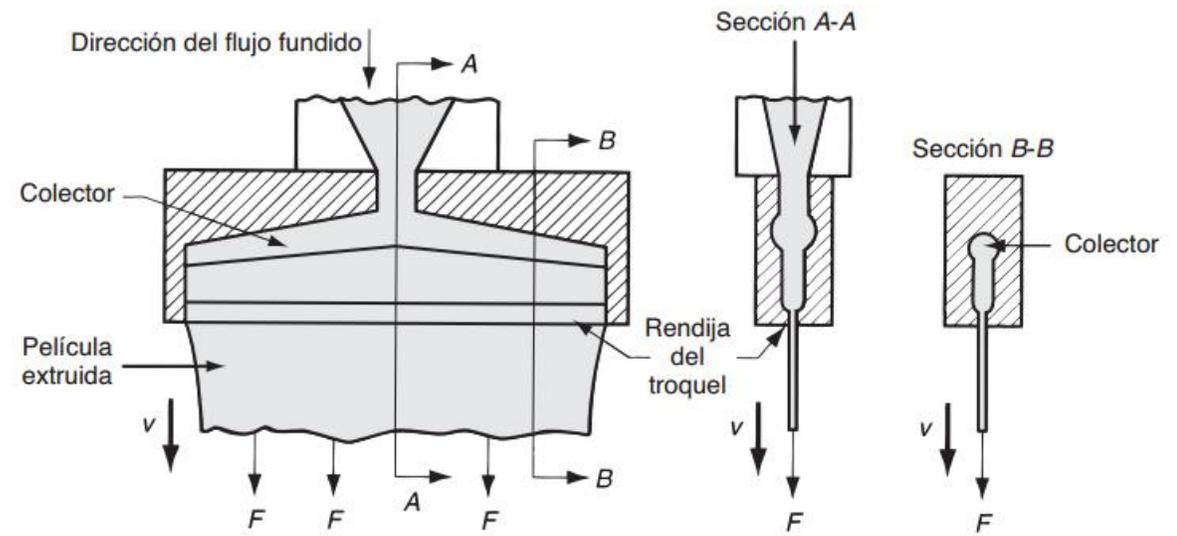
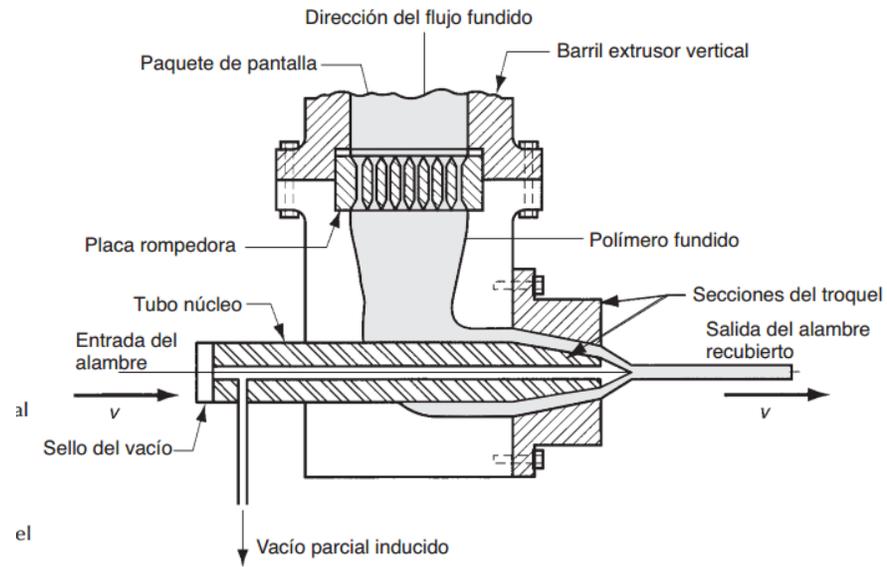
Troqueles



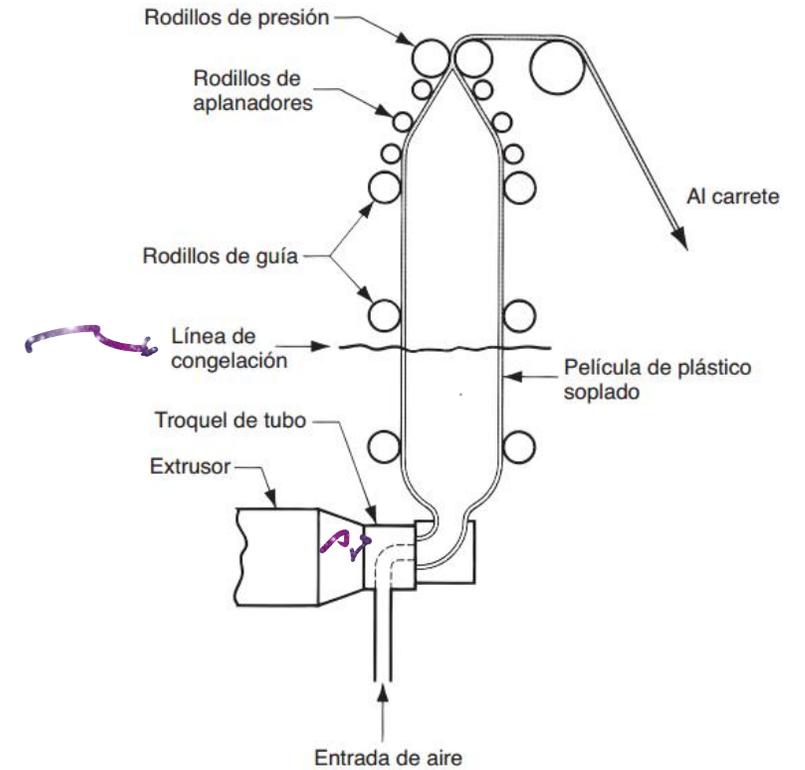
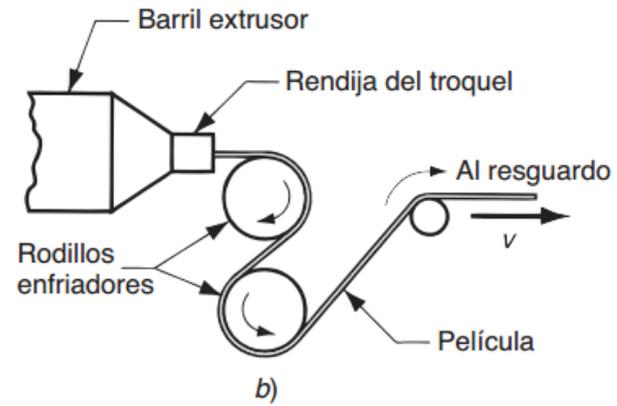
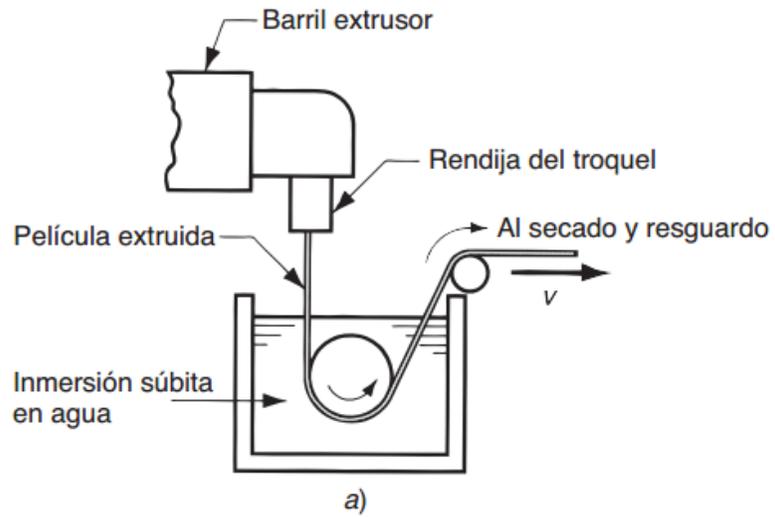
Troqueles



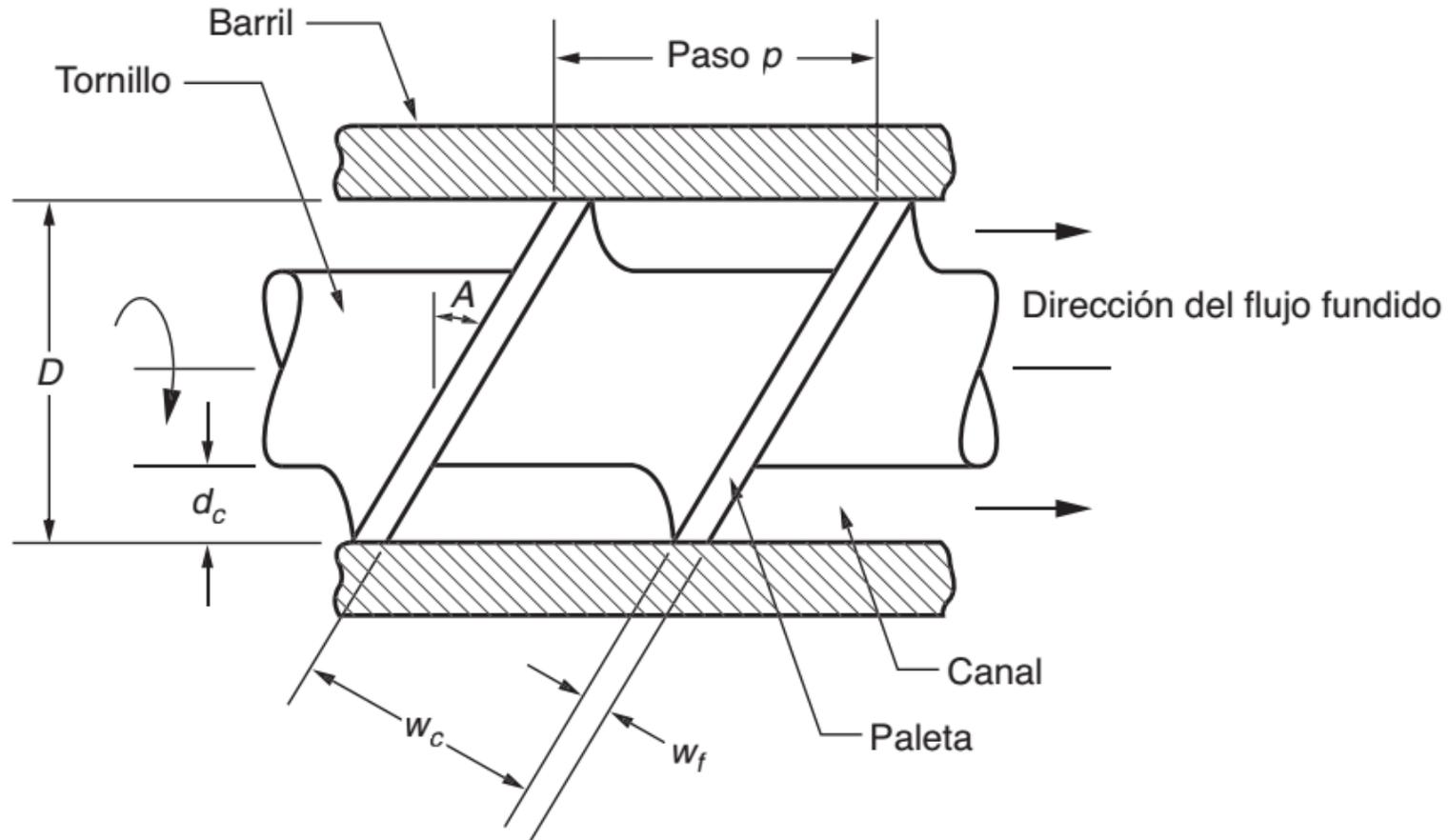
Cables y planchas



Extrusión de films



Flujo en tornillo de Extrusión



$$\tan A = \frac{p}{\pi D}$$

Presión y flujo máximo

$$Q_x = 0.5\pi^2 D^2 N d_c \text{ sen } A \text{ cos } A - \frac{p\pi D d_c^3 \text{ sen}^2 A}{12\eta L}$$

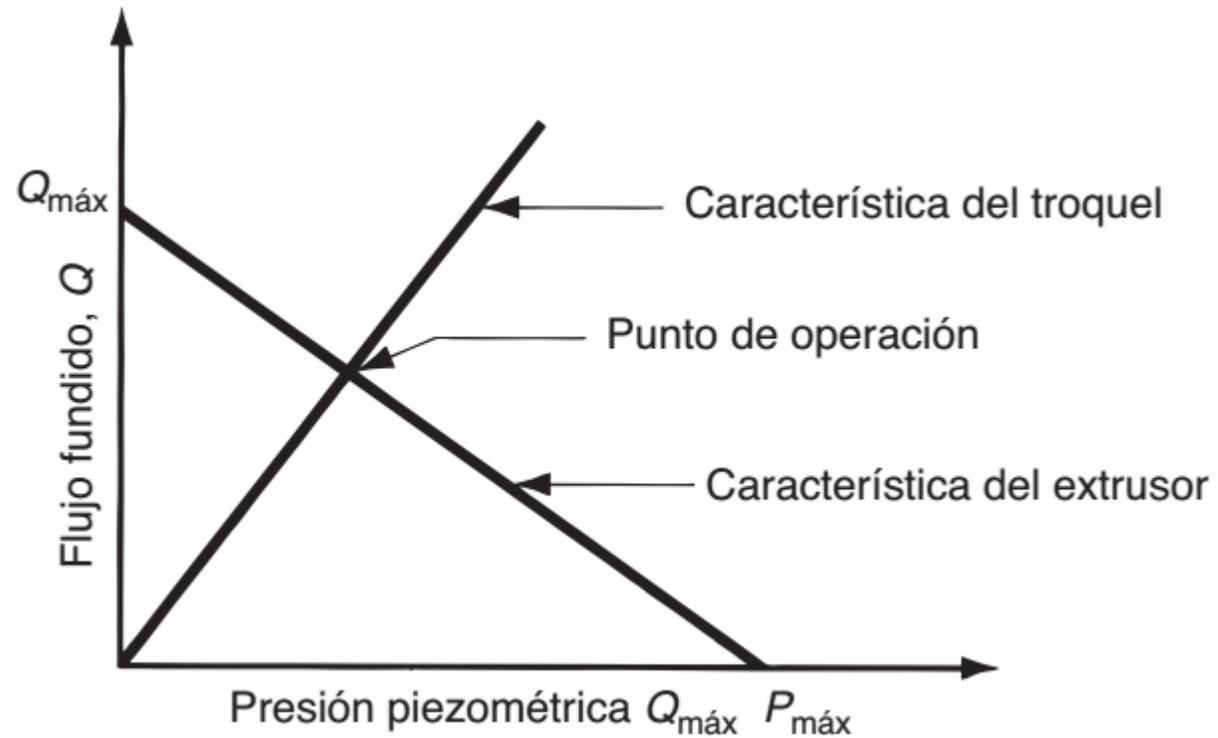
$$P_{\text{máx}} = \frac{6\pi D N L_{\eta} \text{ cot } A}{d_c^2}$$

$$Q_{\text{máx}} = 0.5\pi^2 D^2 N d_c \text{ sen } A \text{ cos } A$$

Contrapresión del Troquel

$$Q_r = K(p)$$

$$k_s = \frac{\pi D_d^4}{128\eta L_d}$$



Ejemplo

Considere el extrusor del ejemplo 13.1, en el que $D = 75$ mm, $L = 1.9$ m, $N = 1$ rev/s, $d_c = 6$ mm y $A = 20^\circ$. El plástico fundido tiene una viscosidad cortante $\eta = 100$ Pa·s. Determine:
a) $Q_{\text{máx}}$ y $p_{\text{máx}}$, b) el factor de forma K_s para una abertura circular de troquel en el que $D_d = 6.5$ mm y $L_d = 20$ mm y c) los valores de Q_x y p en el punto de operación.

✓



