

# **Materiales compuestos**

- Diferentes aplicaciones de alta tecnología requieren materiales con propiedades inusuales, por ejemplo:
- Industria aeroespacial
- Industria automotriz
- Industria de la construcción
- Industria del deporte



# Materiales compuestos

- Combinan materiales con el objetivo de obtener la mejor combinación de propiedades
  - Ej: la flexibilidad y peso de un polímero con la resistencia de una cerámica
- Principio de acción combinada
  - Las mejores propiedades se obtienen por la combinación razonada de dos o más materiales diferentes.
  - Materiales compuestos en la naturaleza:
  - Madera ( fibras de celulosa flexible rodeadas y sostenidas por la lignina que es rígida).
  - Huesos (Colágeno suave y el mineral duro y frágil apatita)
- Un material compuesto es en este contexto un material hecho artificialmente. Sus constituyentes son químicamente distintos y separados por diferentes interfases.

# Terminología/Clasificación

- **Compuestos:**

- Materiales multifase con proporciones Significativas de cada fase.

- **Matriz:**

- La fase continua

- Su propósito es:

- transferir esfuerzo a otras fases
      - proteger la fase del ambiente

- Clasificación: MMC, CMC, PMC

metal      cerámico      polímero

                 ↗                   ↗                   ↗

- **Fase dispersa:**

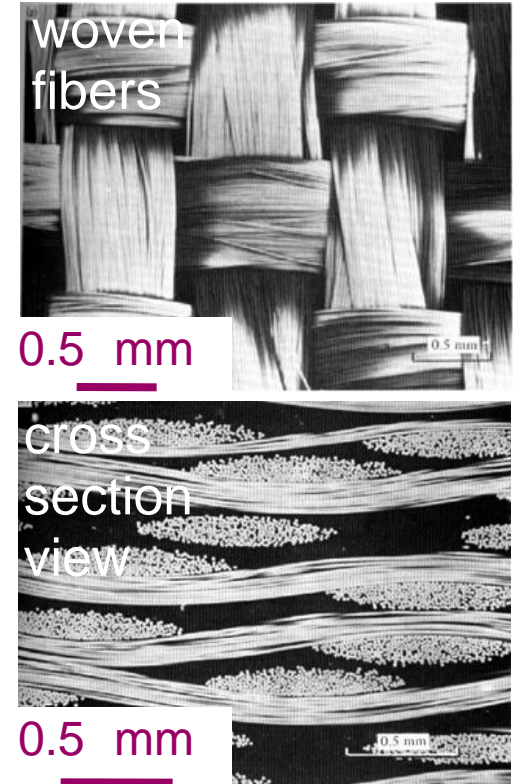
- Propósito: aumentar las propiedades de la matriz

- MMC:** aumenta  $\sigma_y$ ,  $TS$ , resist. A la fluencia

- CMC:** aumenta  $K_c$

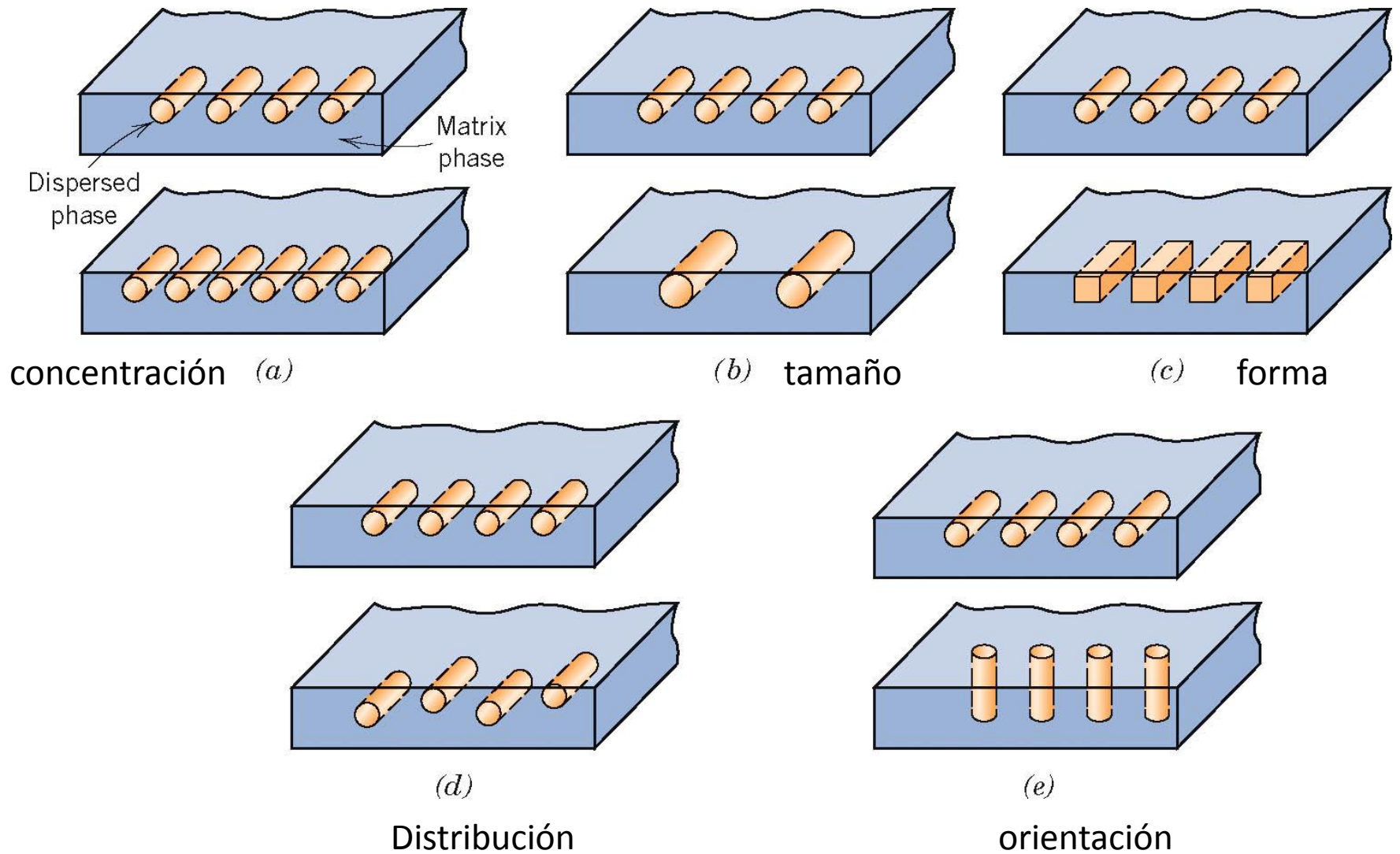
- PMC:** aumenta  $E$ ,  $\sigma_y$ ,  $TS$ , resist. A la fluencia

- Clasificación: **Particle**, **fiber**, **structural**

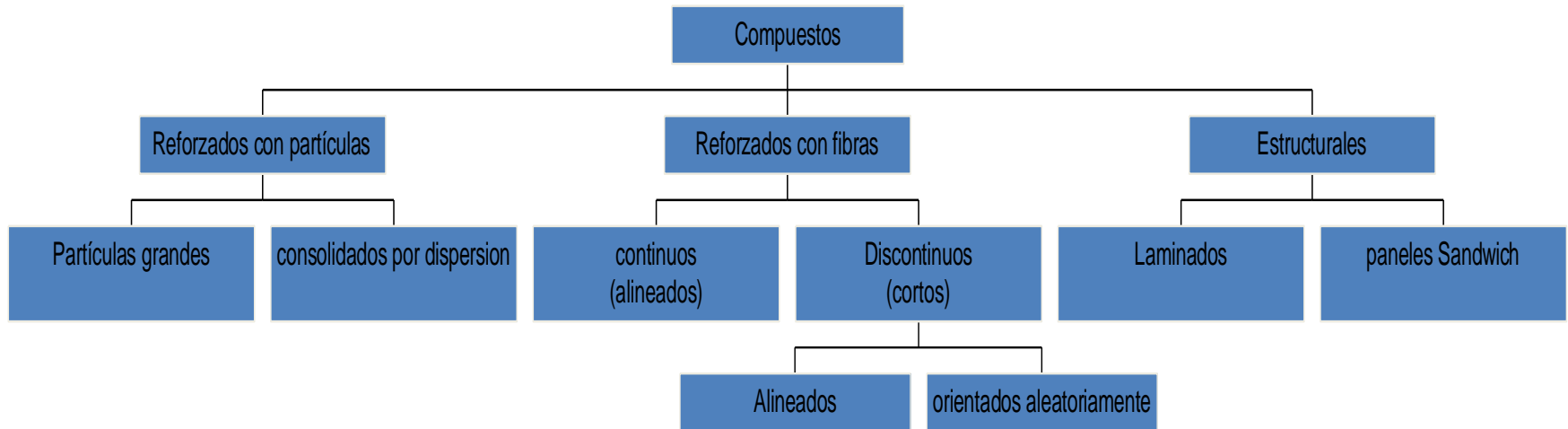




## Representación de los materiales compuestos



# Clasificación de Materiales compuestos



# Reforzados con partículas

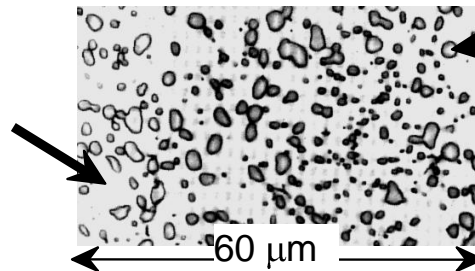
-partículas grandes      Interacciones matriz-partícula no se puede describir a nivel atómico  
Sino mediante la mecánica continua

- Consolidados por dispersión      Partículas pequeñas: 10 a 100 nm

- Ejemplos:

- Spheroidite steel

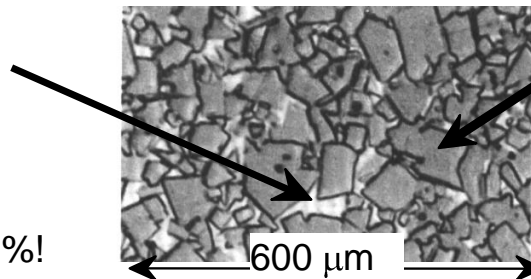
matrix:  
ferrite ( $\alpha$ )  
(ductile)



particles:  
cementite  
( $\text{Fe}_3\text{C}$ )  
frágil)

- WC/Co  
cemented  
carbide

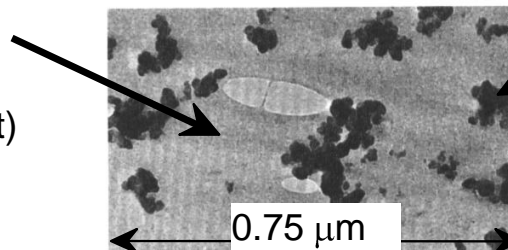
matrix:  
cobalt  
(ductile)  
 $V_m$  :  
10-15 vol%!



particles:  
WC  
(frágil,  
duro)

- Llantas de  
automóviles

matrix:  
rubber  
(compliant)

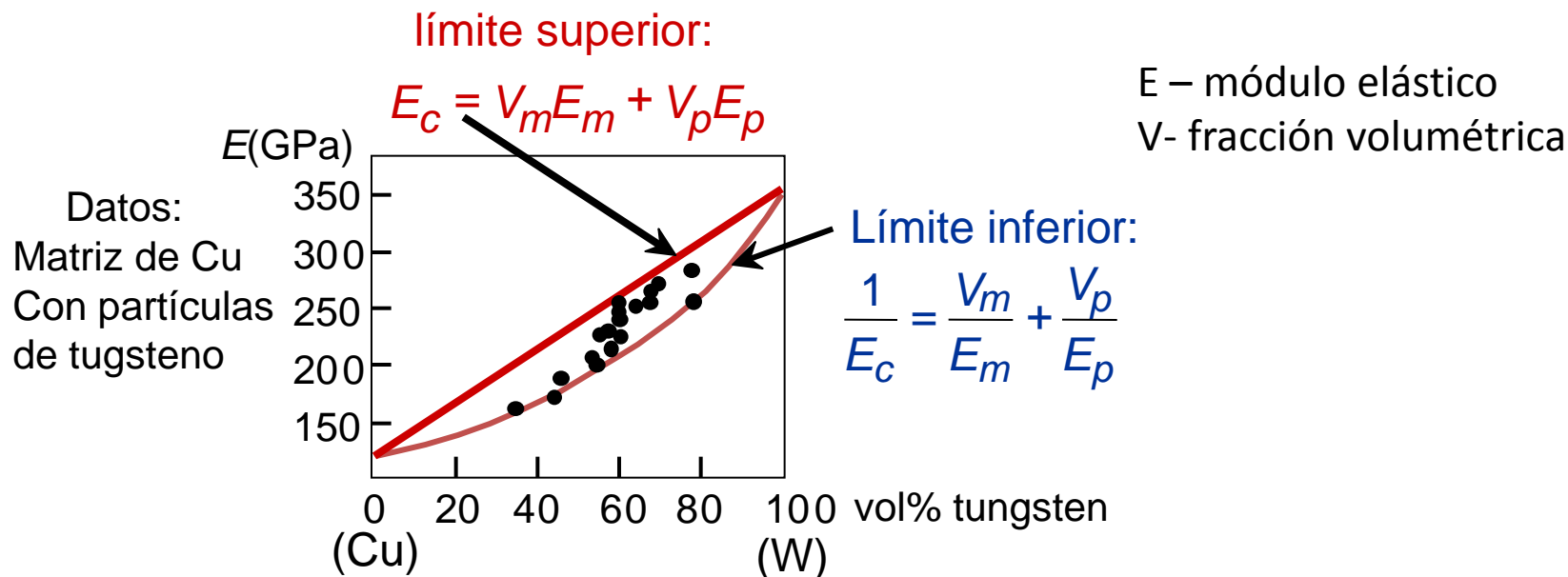


particles:  
C  
(rígido)

- **Módulo elástico de materiales compuestos,  $E_c$ :**  
-- dos aproximaciones.

## Regla de las mezclas:

predice que el módulo elástico está comprendido entre un máximo y un mínimo



- Aplicación a otras propiedades:
  - **conductividad Eléctrica**,  $\sigma_e$ : Reemplazar  $E$  por  $\sigma_e$ .
  - **Conductividad térmica**,  $k$ : Reemplazar  $E$  por  $k$ .



# Materiales reforzados con fibras

Son muy importantes tecnológicamente

- Resistencia elevada y rigidez a baja densidad
- Estas características se expresan mediante los parámetros
  - Resistencia específica – resistencia a la tracción/peso específico
  - Módulo específico – Módulo elástico/peso específico
- Ej: fibra de vidrio
  - Filamentos continuos de vidrio en una matriz polimérica
  - Resistencia debido a las fibras
  - El polímero únicamente las mantiene unidas.

- **Materiales en fibreas**

- **filamentos** – Monocristales muy delgados – su largo es grande comparado con su diámetro

- grafito, SiN, SiC
    - Alta perfección cristalina– extremadamente fuertes
    - very expensive

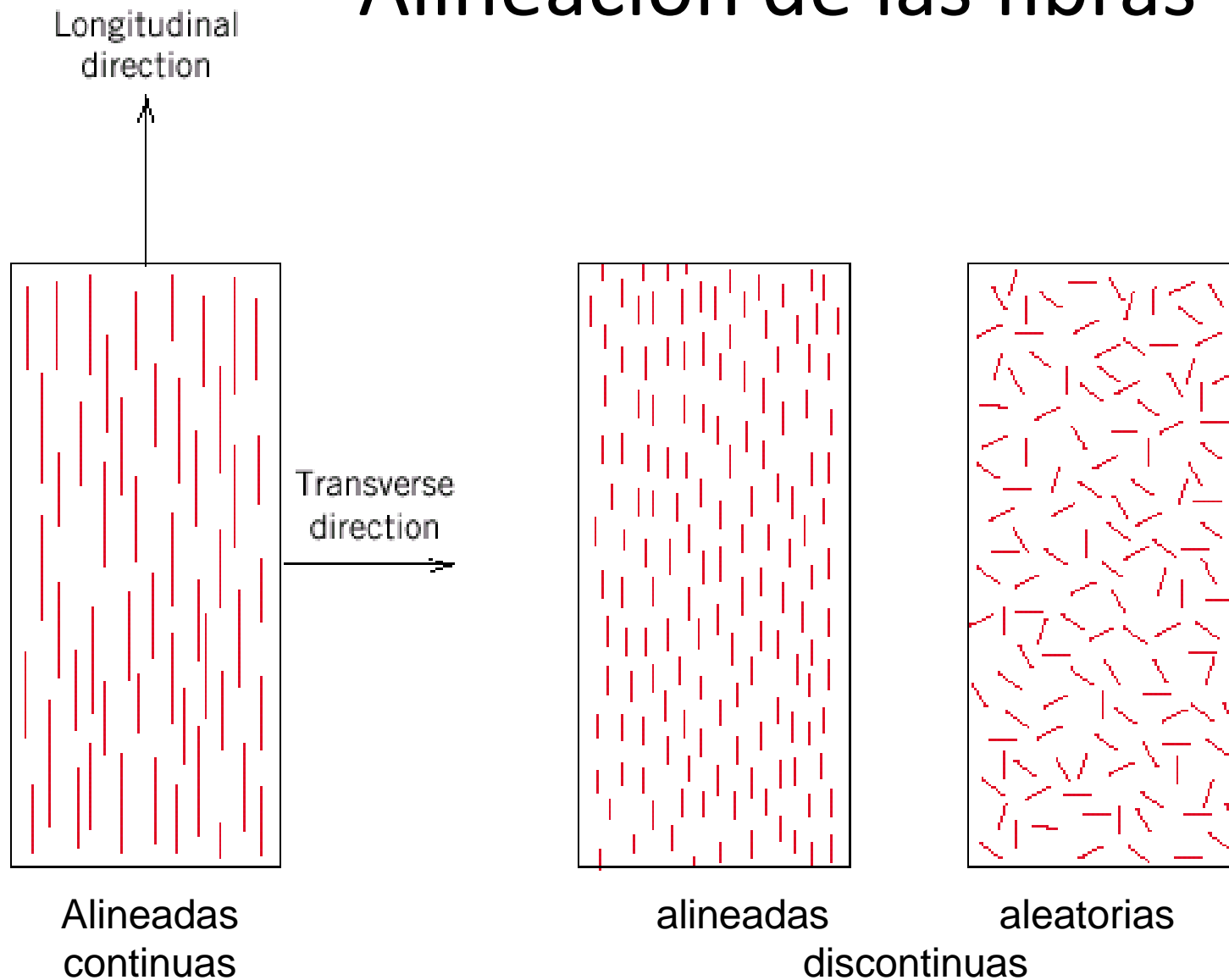
- **Fibras**

- policristalinas or amorfas
    - generalmente polímeros o cerámicos
    - Ex:  $\text{Al}_2\text{O}_3$  , Aramid, E-glass, Boron, UHMWPE

- **Alambres**

- Metales – acero, Mo, W

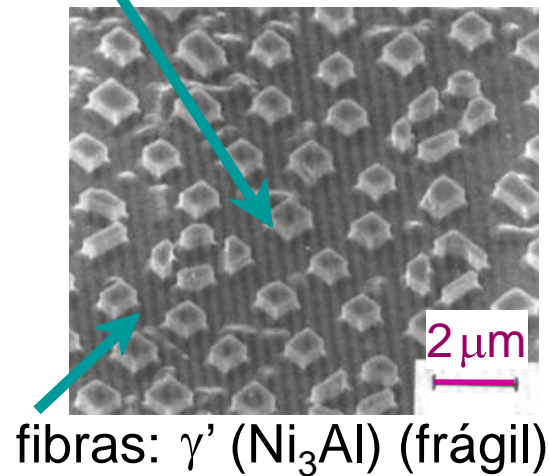
# Alineación de las fibras



- Fibras Alineadas Continuas

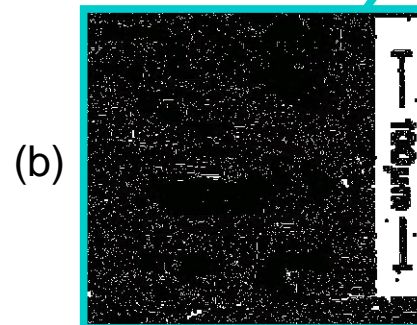
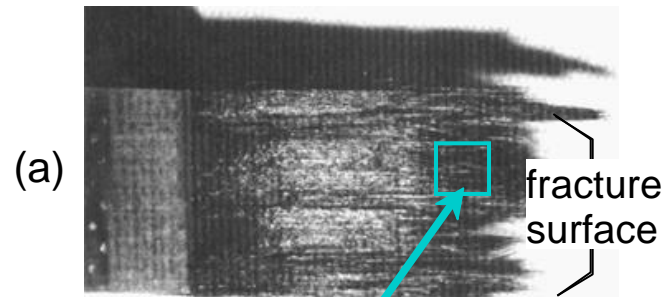
- Ejemplos

-- **Metal:**  $\gamma'(\text{Ni}_3\text{Al})$ - $\alpha(\text{Mo})$   
por solidificación eutéctica.  
matriz:  $\alpha(\text{Mo})$  (dúctil)



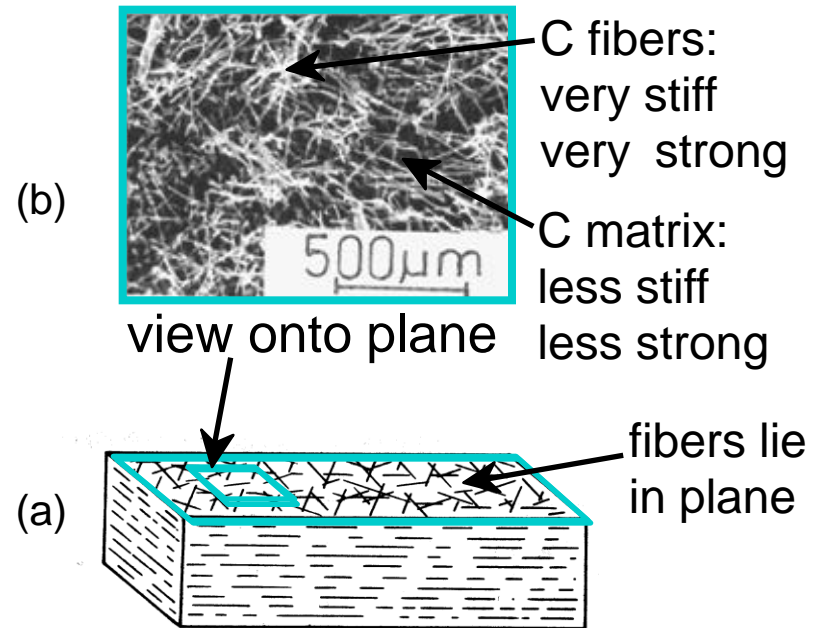
-- **Cerámico:** Vidrio con fibras de SiC

$E_{\text{vidrio}} = 76 \text{ GPa}$ ;  $E_{\text{SiC}} = 400 \text{ GPa}$ .



- Fibras Discontinuas, aleatorias 2D

- Ejemplo: Carbono-Carbono
  - proceso: fiber/pitch, calcinado a 2500°C
  - usos: frenos de disco, álabes De turbinas de escape



- Otras variantes
  - Discontinuas, aleatorias 3D
  - Discontinuas, 1D

# Influencia de la longitud de la fibra

- Longitud crítica de la fibra para un fortalecimiento y endurecimiento efectivo

$$l_c = \frac{\sigma_f d}{\tau_c}$$

Resistencia de la fibra a la tracción

Diámetro de la fibra

fiber length > 15

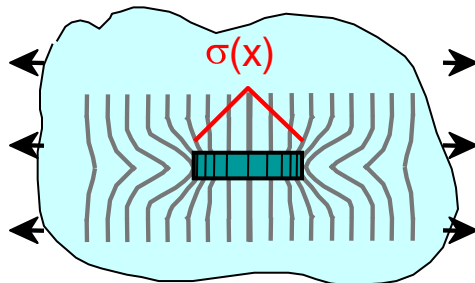
$$\frac{\sigma_f d}{\tau_c}$$

Resistencia al corte de La interfaz matriz-fibra

- Ej: Para fibra de vidrio, se necesita longitud de la fibra > 15 mm
- Por qué? Fibras más largas pueden transportar el esfuerzo más eficientemente

Shorter, thicker fiber:

$$\text{fiber length} < 15 \frac{\sigma_f d}{\tau_c}$$

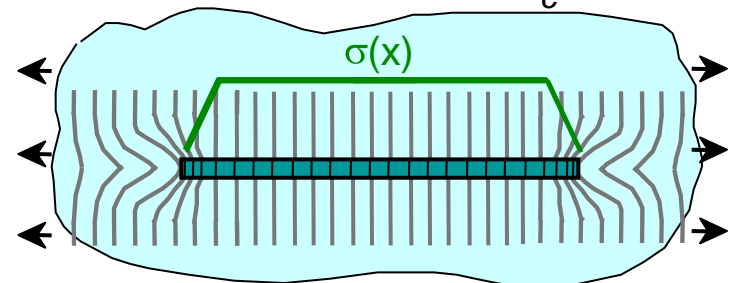


Poorer fiber efficiency

Adapted from Fig. 16.7, Callister 7e.

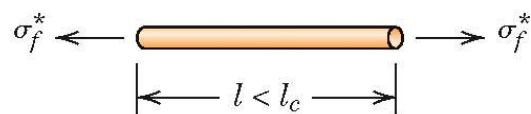
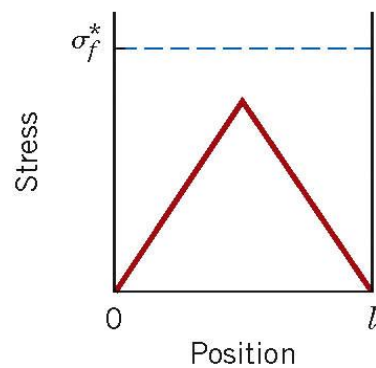
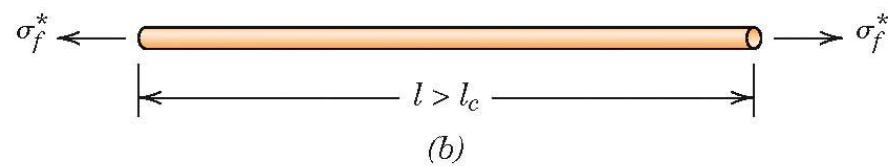
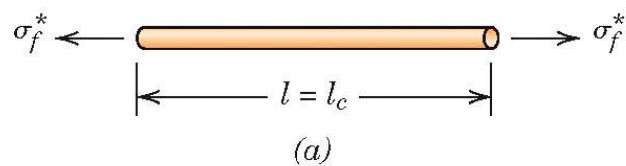
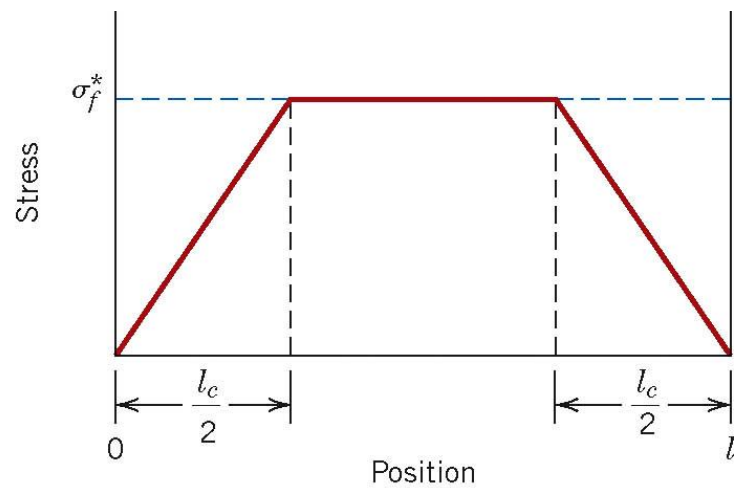
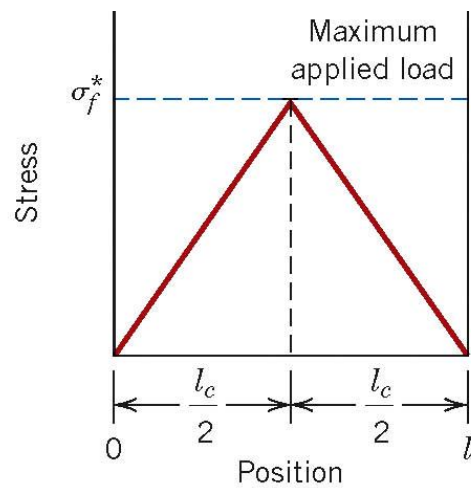
Longer, thinner fiber:

$$\text{fiber length} > 15 \frac{\sigma_f d}{\tau_c}$$



Better fiber efficiency





(c)

# Carga longitudinal

**Fibras continuas**- Estimar la resistencia para un material compuesto reforzado con fibras continuas largas e nuna matriz.

- Deformación Longitudinal

$$\sigma_c = \sigma_m V_m + \sigma_f V_f$$

fracción volumétrica

but

$$\epsilon_c = \epsilon_m = \epsilon_f$$

igual deformación

$$\therefore \boxed{E_{ce} = E_m V_m + E_f V_f}$$

módulo longitudinal (extensional)

$$\frac{F_f}{F_m} = \frac{E_f V_f}{E_m V_m}$$

$f$  = fibra  
 $m$  = matriz

# Carga transversal

- En carga transversal las fibras cargan menos – igual esfuerzo

$$\sigma_c = \sigma_m = \sigma_f = \sigma$$

$$\varepsilon_c = \varepsilon_m V_m + \varepsilon_f V_f$$

$\therefore$

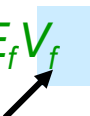
$$\frac{1}{E_{ct}} = \frac{V_m}{E_m} + \frac{V_f}{E_f}$$

Módulo transversal

- Estimar  $E_c$  y  $TS$  para fibras discontinuas:

-- válido cuando longitud de la fibra  $> 15 \frac{\sigma_f d}{\tau_c}$

-- Módulo elástico en la dirección de la fibra:

$$E_c = E_m V_m + K E_f V_f$$


Factor de eficiencia:

- alineado 1D:  $K = 1$  (aligned  $\parallel$ )
- alineado 1D:  $K = 0$  (aligned  $\perp$ )
- aleatorio 2D:  $K = 3/8$  (isotropía 2D)
- aleatorio 3D:  $K = 1/5$  (isotropía 3D)

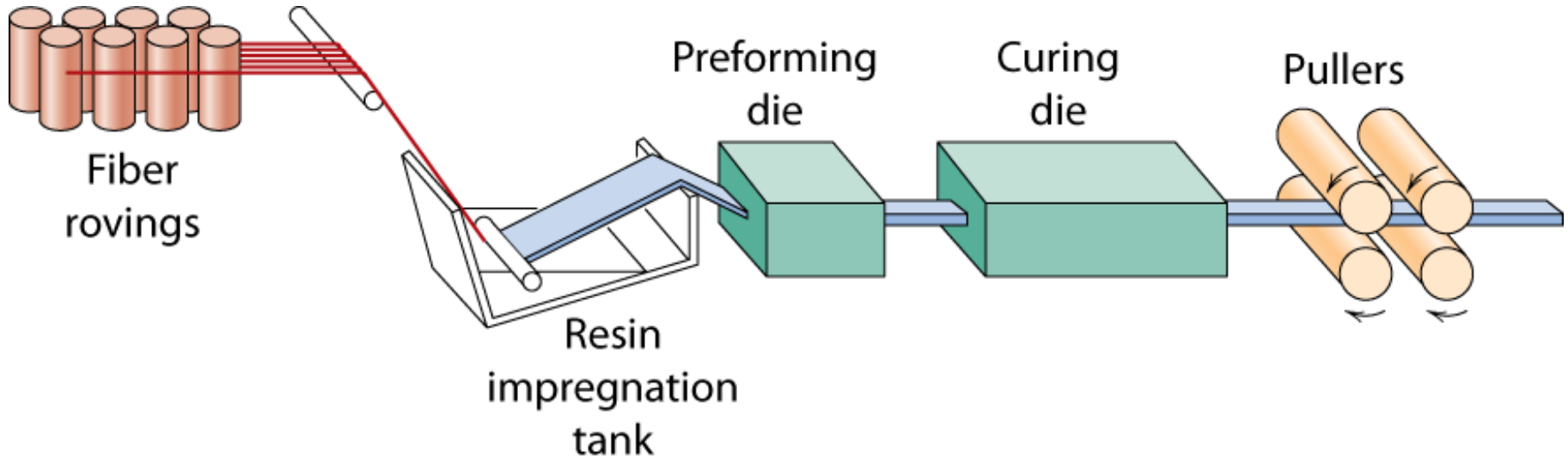
--  $TS$  en dirección de la fibra:

$$(TS)_c = (TS)_m V_m + (TS)_f V_f \quad (\text{alineado 1D})$$

# Métodos de producción

- Pultrusión

- Fibras continuas se julan a través del tanque de resina, luego pasan a la preforma y horno.

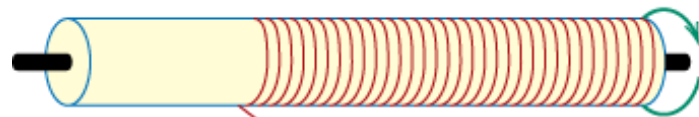


- Bobinado de filamentos

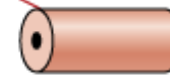
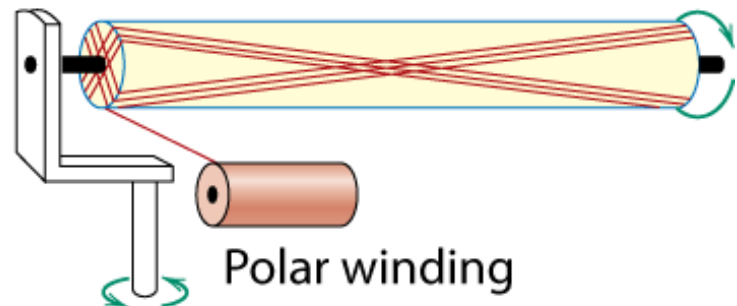
- Ej. Tanques de presión
- Filamentos continuos se enredan en carrete



Helical winding



Circumferential winding



Polar winding



# Materiales estructurales

- Láminas reforzadas con fibras apiladas y unidas
  - secuencia de apilamiento: e.g.,  $0^\circ/90^\circ$
  - beneficio: balanceado, rigidez en el plano
- **Páneos Sandwich**
  - baja densidad, núcleo de panal
  - beneficio: bajo peso, rigidez de flexión alta

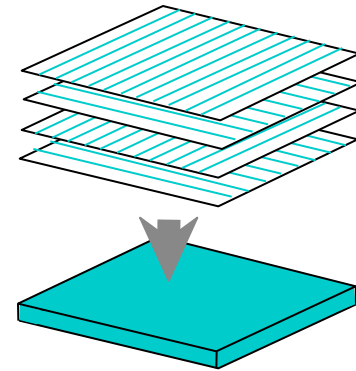
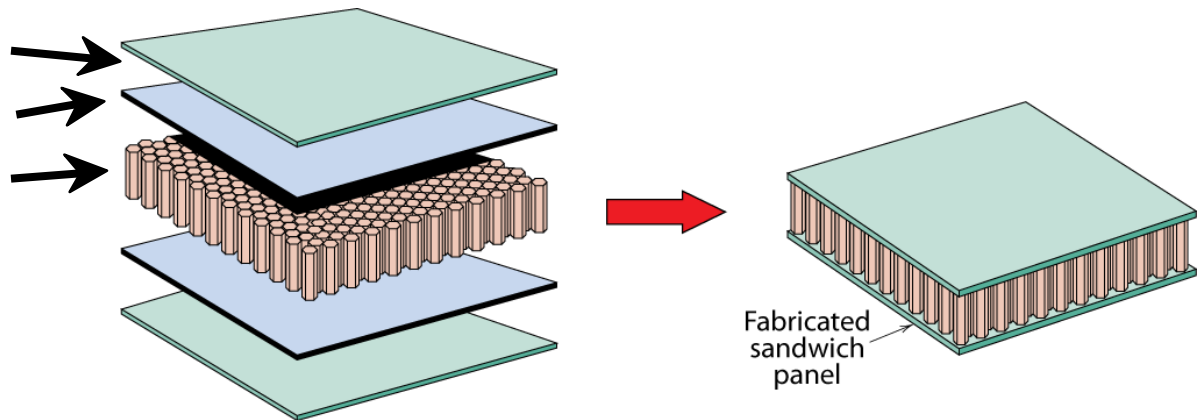
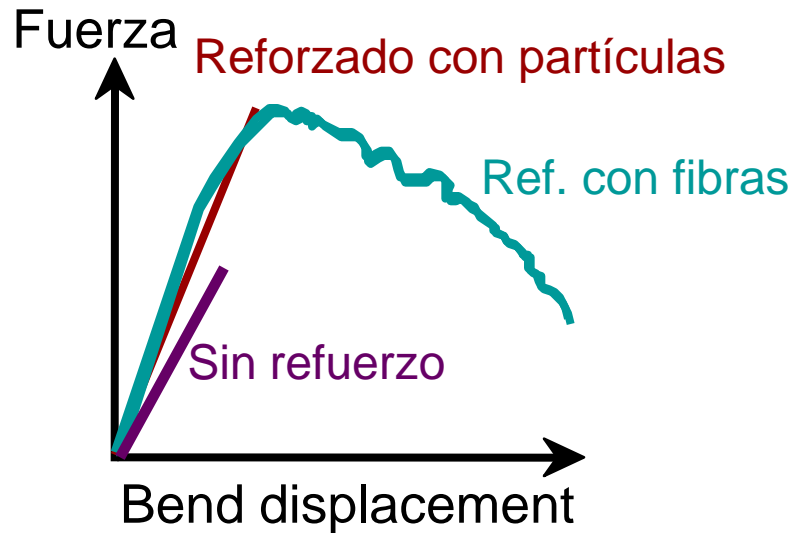


lámina  
Capa adhesiva  
panal

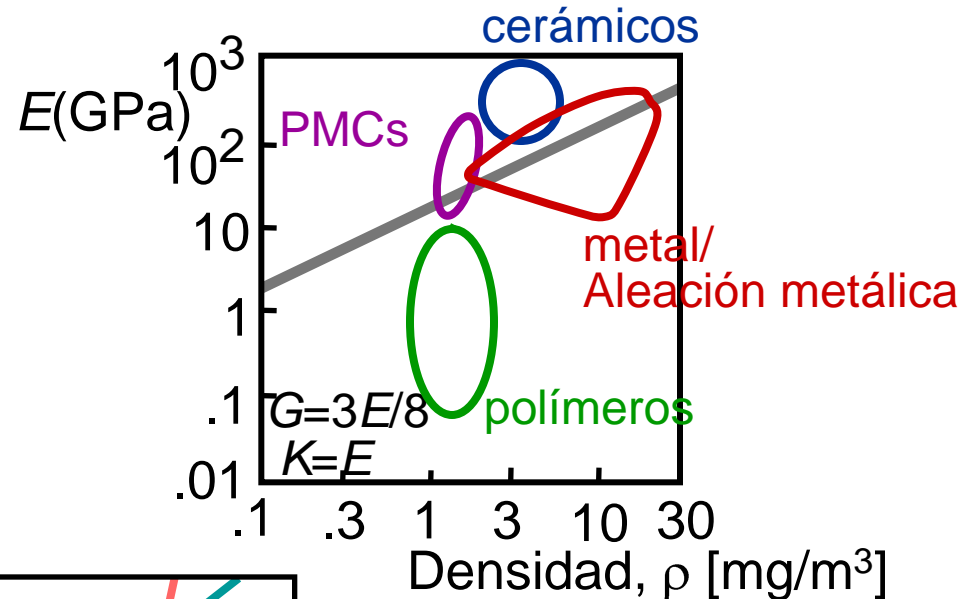


# Beneficios de los compuestos

- CMCs: Aumento de dureza



- PMCs: aumento de  $E/\rho$



- MMCs: aumento de resistencia a la fluencia

