


# **Materiales Compuestos**

# DEFINICIÓN DE MATERIAL COMPUESTO

Es un sistema material formado por:

- un mezcla de dos o más micro o macroconstituyentes
- que difieren en forma y composición química
- y que son insolubles entre sí. 

## ¿Para qué utilizar materiales compuestos?

- Para obtener características superiores de los materiales a partir de la combinación de las propiedades individuales (principio de la acción combinada)
- Ejemplo  
Baja densidad y alta resistencia

# TERMINOLOGÍA/CLASIFICACIÓN

Tipos de fases:

- Fase Matriz

Es continua, rodea a la otra fase (*fase dispersa*).

Propósito:

- Transferir tensiones a la fase dispersa
- Proteger a la fase dispersa del medio ambiente
- Tipos:

**M**MC: Metal Matrix Composite

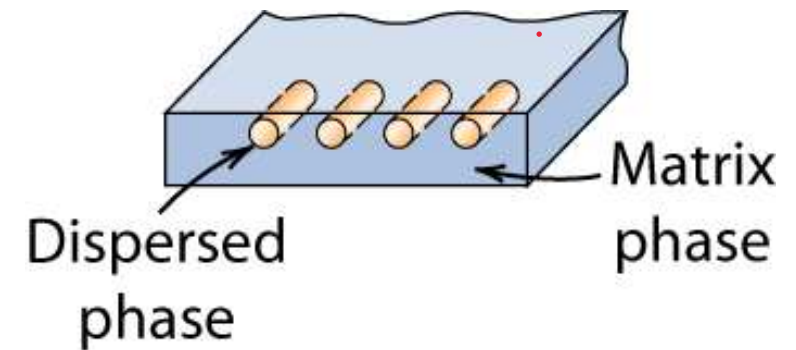
→ *metal*

**C**MC: Ceramic Matrix Composite

→ *ceramic*

**P**MC: Polymer Matrix Composite

→ *polymer*



- Fase Dispersa

Rodeada por la otra fase (**fase continua**).

Propósito:

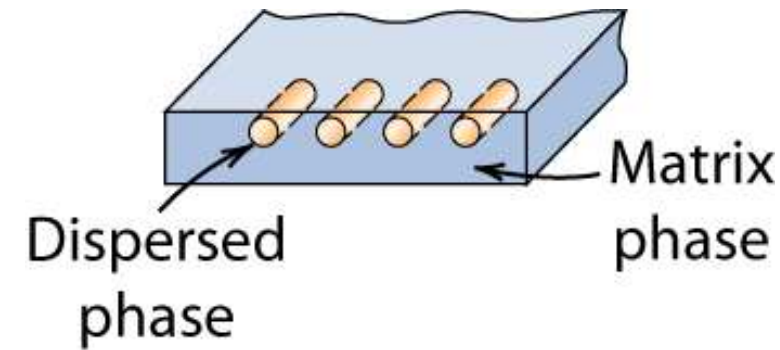
Aumentan la resistencia y/o la rigidez del material, etc.

Tienen baja densidad, por lo que presentan **alta resistencia específica** y elevado **módulo específico** (resistencia/peso específico).

- MMC: incrementar  $\sigma_y$ , resistencia al creep, etc.
- CMC: incrementar  $K_c$
- PMC: increase  $E$ ,  $\sigma_y$ , resistencia al creep, etc.

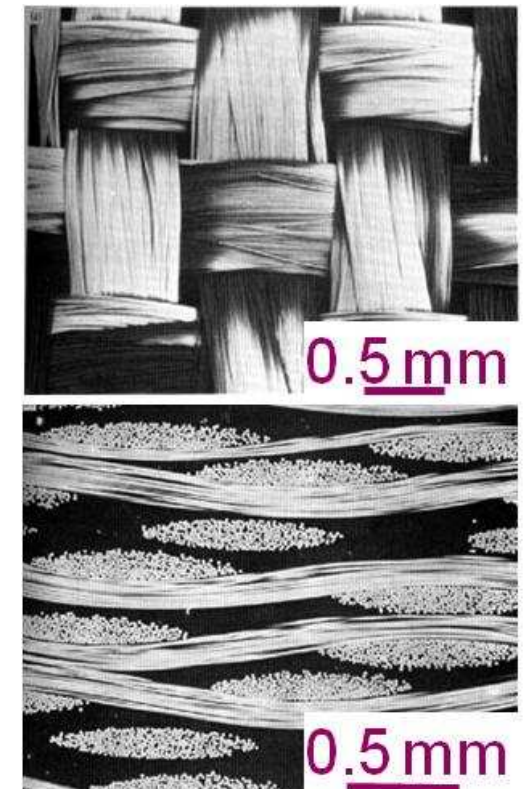
Tipos:

- partículas
- fibras
- estructural

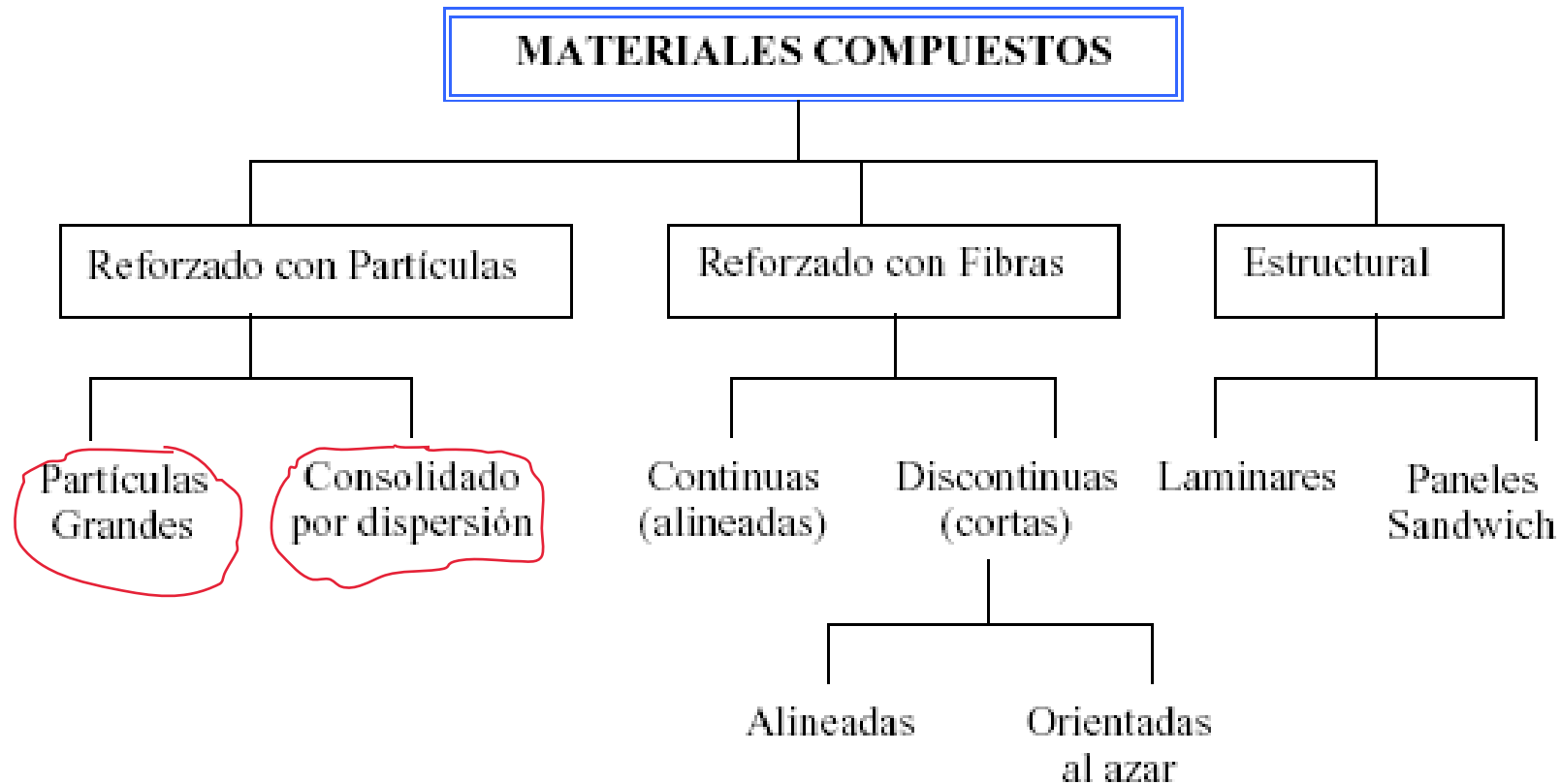


Ej.

Fibras tejidas: vista sección superior y transversal



# TIPOS DE COMPUESTOS



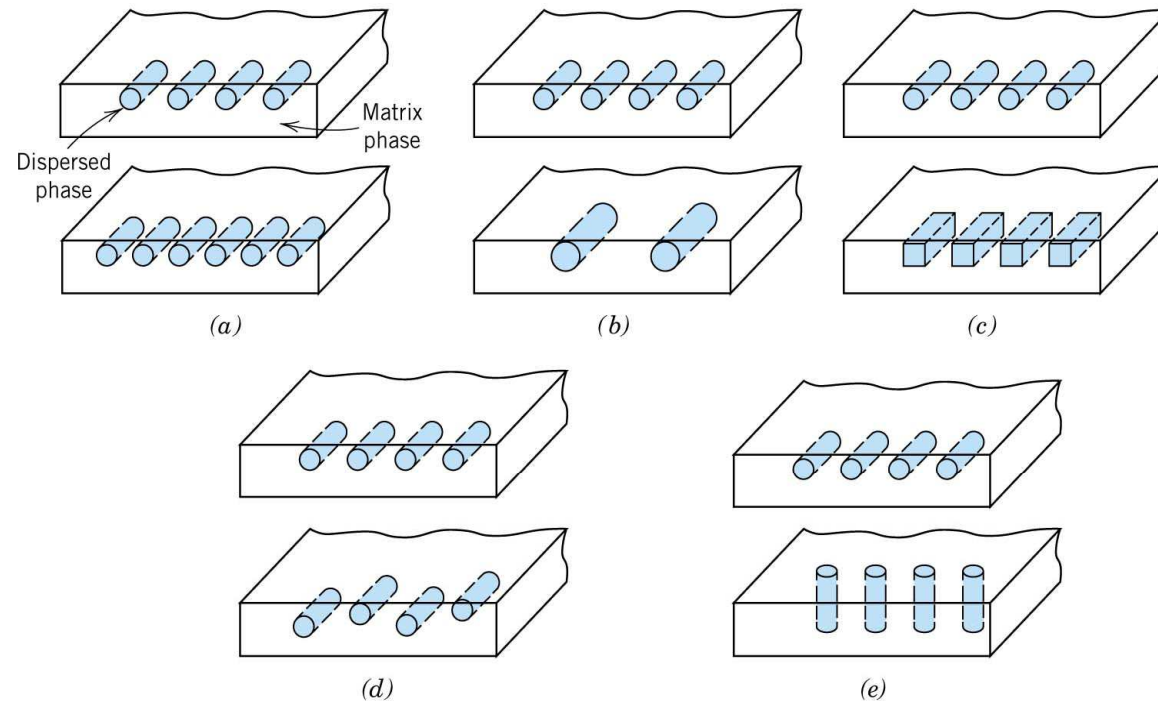
Prestaremos especial atención a los **compuestos artificiales**.

Compuestos naturales incluyen:

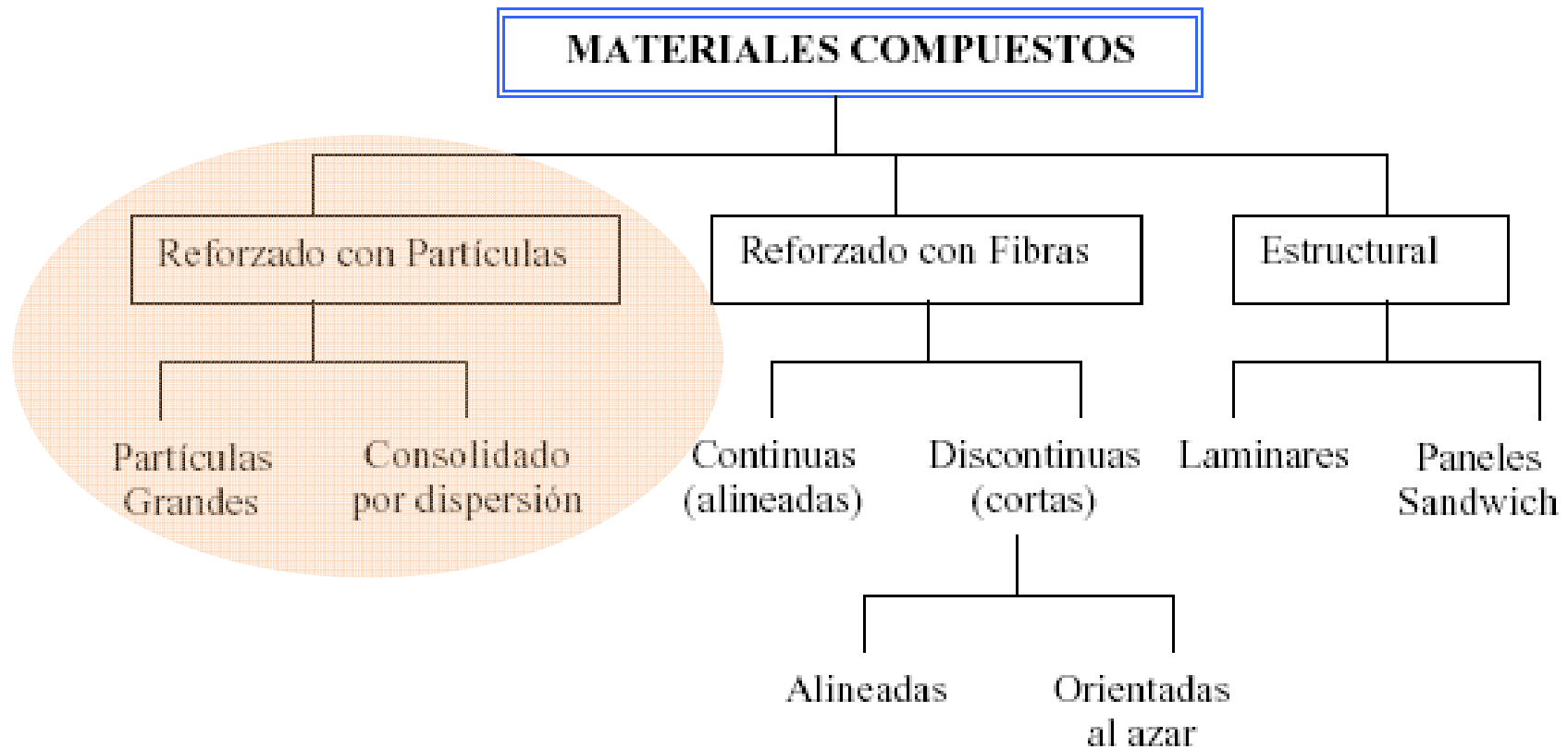
- Madera (fibras de celulosa en una matriz de lignina que es más rígida)
- **hueso**
- arcilla

## Variables que afectan a las partículas y fibras

- Para cualquier compuesto, independientemente de la selección de la fase de matriz y dispersa (material y tipo), hay muchas opciones que afectan a las propiedades:
  - Cada opción le imparte beneficios diferentes a la parte final
  - También el recubrimiento superficial en la fase dispersa



**FIGURE 16.1** Schematic representations of the various geometrical and spatial characteristics of particles of the dispersed phase that may influence the properties of composites: (a) concentration, (b) size, (c) shape, (d) distribution, and (e) orientation. (From Richard A. Flinn and Paul K. Trojan, *Engineering Materials and Their Applications*, 4th edition. Copyright © 1990 by John Wiley & Sons, Inc. Adapted by permission of John Wiley & Sons, Inc.)



# Compuestos de partículas grandes

- Compuestos de partículas grandes
  - Consiste en partículas de gran tamaño que son más duras o más rígidas que la matriz.
  - La matriz transfiere la tensión aplicada a las partículas, que por lo tanto soportan una fracción de la carga.
  - La adhesión a la interfaz por lo tanto es muy importante.
- Las partículas deben ser:
  - Equiaxiales
  - Uniformemente distribuidas
  - Propiedades generalmente determinada por la [regla de las mezclas](#).



Límite superior

$$E_{c,upper} = \frac{V_m}{V_c} E_m + \frac{V_p}{V_c} E_p$$

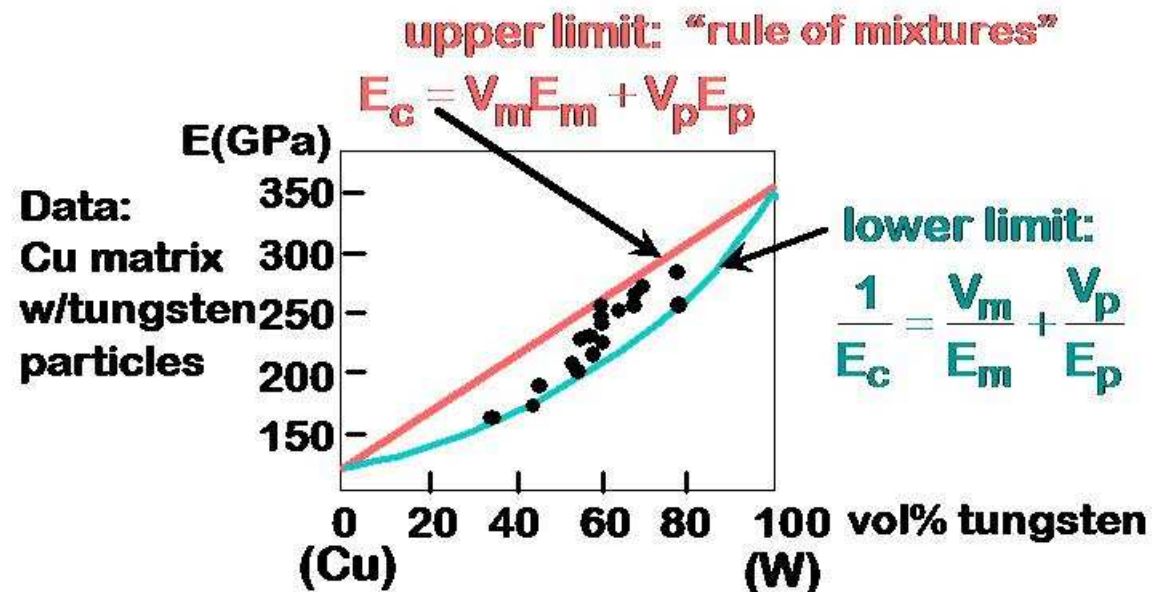
Límite inferior

$$\frac{1}{E_{c,lower}} = \frac{V_m}{V_c E_m} + \frac{V_p}{V_c E_p}$$

$$E_{c,lower} = \frac{V_c E_m E_p}{V_m E_p + V_p E_m}$$

$E_c$  : Módulo elástico del compuesto:

- Dos aproximaciones:

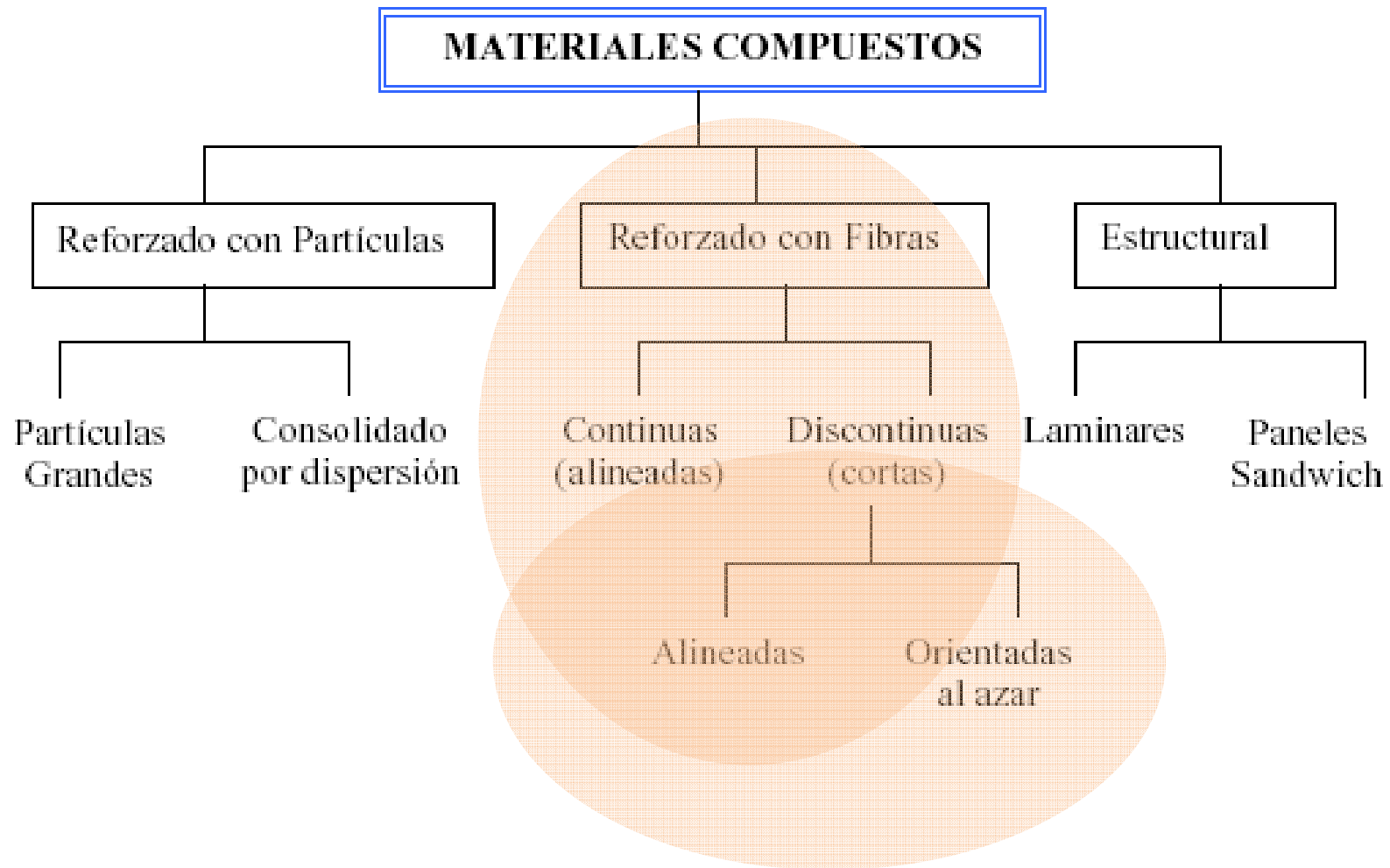


- Ejemplos de compuestos de partículas grandes
  - Consiste en partículas de gran tamaño que son más duras o más rígidas que la matriz.
  - Cermets
    - Son compuestos metal-cerámica
      - Herramientas de corte de carburo Cermented
      - Partículas CW o CTi (muy duras)
      - Matriz metálica (Co o Ni)
    - Las partículas se agrietarán bajo las altas tensiones en aplicaciones de corte, por lo que la matriz evita la propagación de grietas entre las partículas separándolas.
    - Hasta un 90 por ciento del volumen de partículas.
  - Compuestos de Polímero/Carbono incluyen:
    - Neumáticos
      - Matriz de elastómero (polímeros que muestran un comportamiento elástico)
      - Partículas de negro de humo (15-30% en volumen)
        - Partículas pequeñas y esféricas de carbono producidas por combustión incompleta (poco aire) de gas natural u otros derivados del petróleo).
      - Mayor resistencia a la tracción; resistencia al desgarró, a la abrasión, y tenacidad.
      - Las partículas pequeñas son las más adecuadas, <50 nm

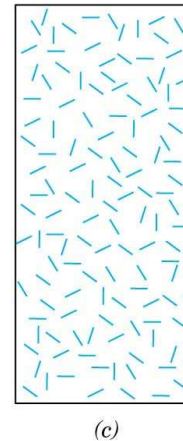
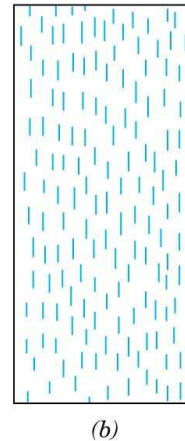
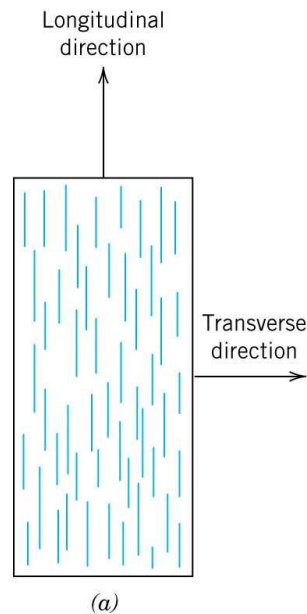
- Compuestos de cerámica-cerámica incluyen:
  - Hormigón:
    - ~ 70% en volumen de arena y partículas de grava.
    - Unidas entre sí mediante cemento Portland (emplado para la construcción, se agrega agua) ó Asfáltico (empleado en pavimentos).
  - Hormigón armado:
    - Hormigón que contiene varillas o alambres de acero que resisten las fuerzas de tensión.
  - Hormigón pretensado:
    - Hormigón armado en el cual han sido introducidos esfuerzos compresivos internos para contrarrestar los esfuerzos de tensión resultantes de intensas cargas.
  - Hormigón pretensionado (prerreforzado):
    - Hormigón pretensado en el cual el hormigón se vierte sobre barras o alambres de acero precomprimidos.

## Consolidados por dispersión

- Similar al endurecimiento por precipitación
  - Fortalecimiento no es tan bueno como el endurecimiento por precipitación a bajas temperaturas
  - A temperaturas más altas las propiedades son generalmente mejores.
  - Las partículas se seleccionan para ser no reactivas (no aumento del precipitado o disolución del precipitado).
- Compuestos Consolidados por dispersión
  - Partículas pequeñas (10 a 100 nm)
  - Matriz soporta la mayor parte de la carga aplicada
  - Las partículas obstaculizan o impiden el movimiento de las dislocaciones
  - La deformación plástica se limita
  - Mejora la resistencia a la tracción.
- Ejemplo
  - La resistencia a altas temperaturas de las aleaciones de Ni aumenta con la adición de partículas finamente dispersas de torio ( $\text{ThO}_2$ ).



- Resumen de los efectos de orientación de la fibra
  - Para propiedades uniformes, la distribución de fibra debe ser uniforme.
  - Las fibras continuas deben estar alineadas para tomar ventaja de ellos.
  - En fibras discontinuas se obtiene beneficio de alineación paralela o al azar dependiendo de la aplicación (carga uniaxiales, biaxiales o arbitrarias).
  - Para mejorar las propiedades en distintas orientaciones: se pueden utilizar orientaciones al azar, o se pueden apilar múltiples capas ortogonales (compuesto estructural).



**FIGURE 16.8** Schematic representations of (a) continuous and aligned, (b) discontinuous and aligned, and (c) discontinuous and randomly oriented fiber-reinforced composites.

- Compuestos de fibra
  - ¿Por qué los utilizamos ?
  - Especialmente para cerámicos, debido a la estadística de Weibull la resistencia a la fractura de una pequeña parte es por lo general mayor que la de un componente de gran tamaño (menor volumen = menos defectos = menos defectos grandes).
  
- Las fibras se presentan en tres formas
  - Whiskers (grafito, carburo de silicio, etc)
    - Monocristales
    - Alta relación longitud/diámetro
    - Pequeños, por lo que casi sin fallas
    - Son muy resistentes
    - Caros
  - Fibras (aramidas, vidrio, carbono, boro, etc)
    - Policristalino o amorfo
    - Diámetro pequeño
  - Alambres (por lo general metales)
    - Gran diámetro (Ej.: refuerzos radiales en neumáticos)

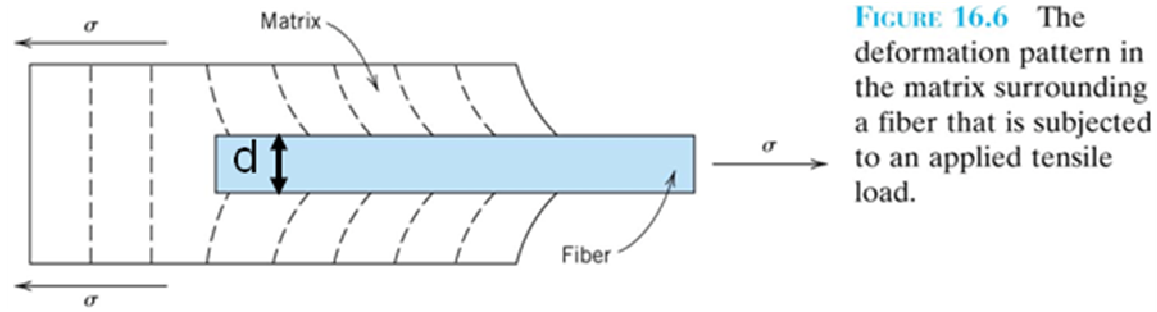
- Por lo general, la matriz es un metal o un **polímero**. En compuestos de fibra tiene varias funciones:
  - Unión con las fibras (muy importante).
  - Proteger de daños en la superficie debido a la abrasión y corrosión (es decir, evita las grietas de las superficies de las fibras).
  - -Separar las fibras.
  - -Evitar la propagación de grietas frágiles entre las fibras.



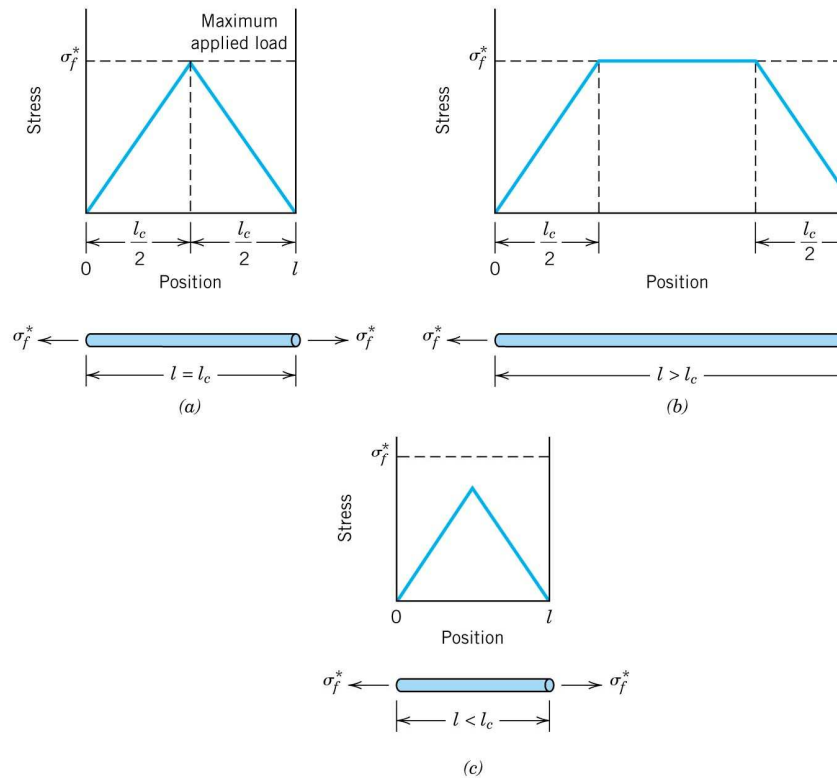
## Compuesto reforzado con fibra

- Tipo de compuesto más común.
- Por lo general aplicado para mejorar la resistencia y la rigidez con respecto al peso
  - Aplicaciones aeroespaciales
  - Artículos deportivos de alto valor
- Dado que la carga no se puede transferir más allá del extremo de la fibra, hay una longitud de fibra crítica ( $L_c$ ) para fortalecer la eficacia y rigidez que dependerá de:
  - $d$ : el diámetro de la fibra
  - $\sigma_f$ : resistencia de la fibra a la rotura a la tracción
  - $\tau_c$ : ya sea la resistencia de la unión matriz/fibra ó la resistencia de corte a la fluencia de la matriz (el que sea menor).
- La unión entre la matriz y la fibra determina si la mejorará las propiedades del material compuesto mediante la transferencia de la carga aplicada a la fibra

$$L_c = \frac{\sigma_f d}{2\tau_c}$$



**FIGURE 16.6** The deformation pattern in the matrix surrounding a fiber that is subjected to an applied tensile load.

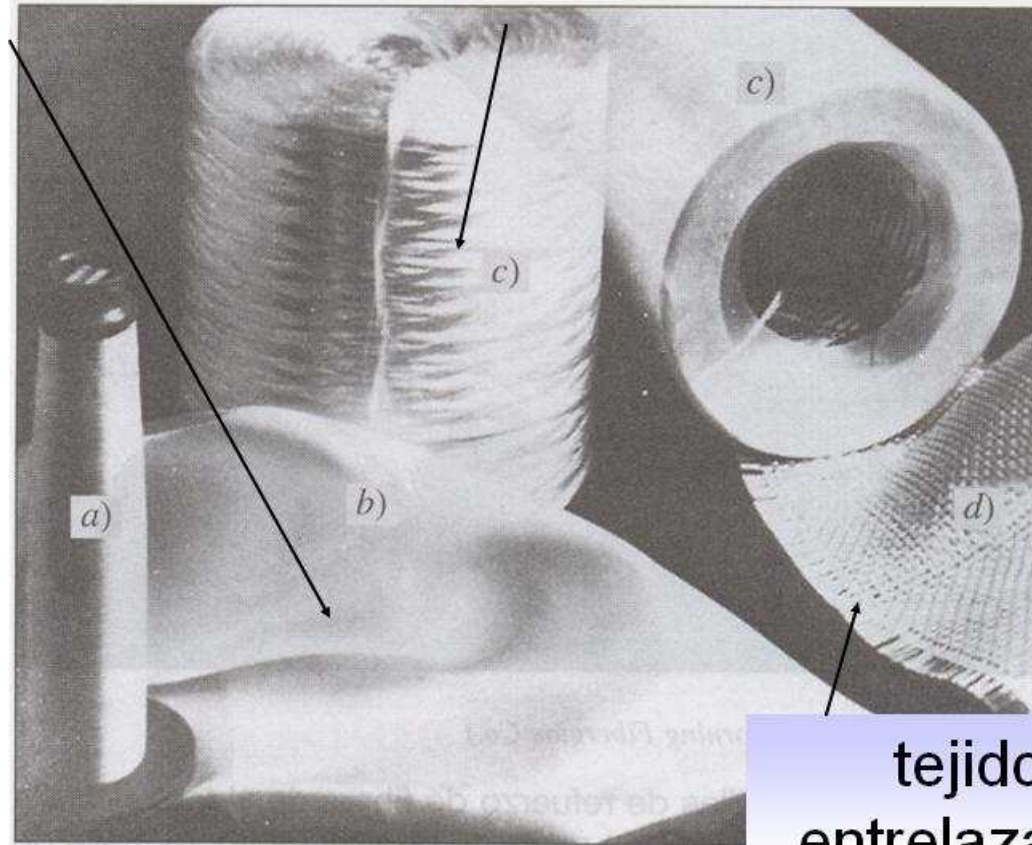


**FIGURE 16.7** Stress-position profiles when fiber length  $l$  (a) is equal to the critical length  $l_c$ , (b) is greater than the critical length, and (c) is less than the critical length for a fiber-reinforced composite that is subjected to a tensile stress equal to the fiber tensile strength  $\sigma_f^*$ .

## Mecha de cordones continuos

Tejido  
fabricado con  
hilos de fibra  
de vidrio

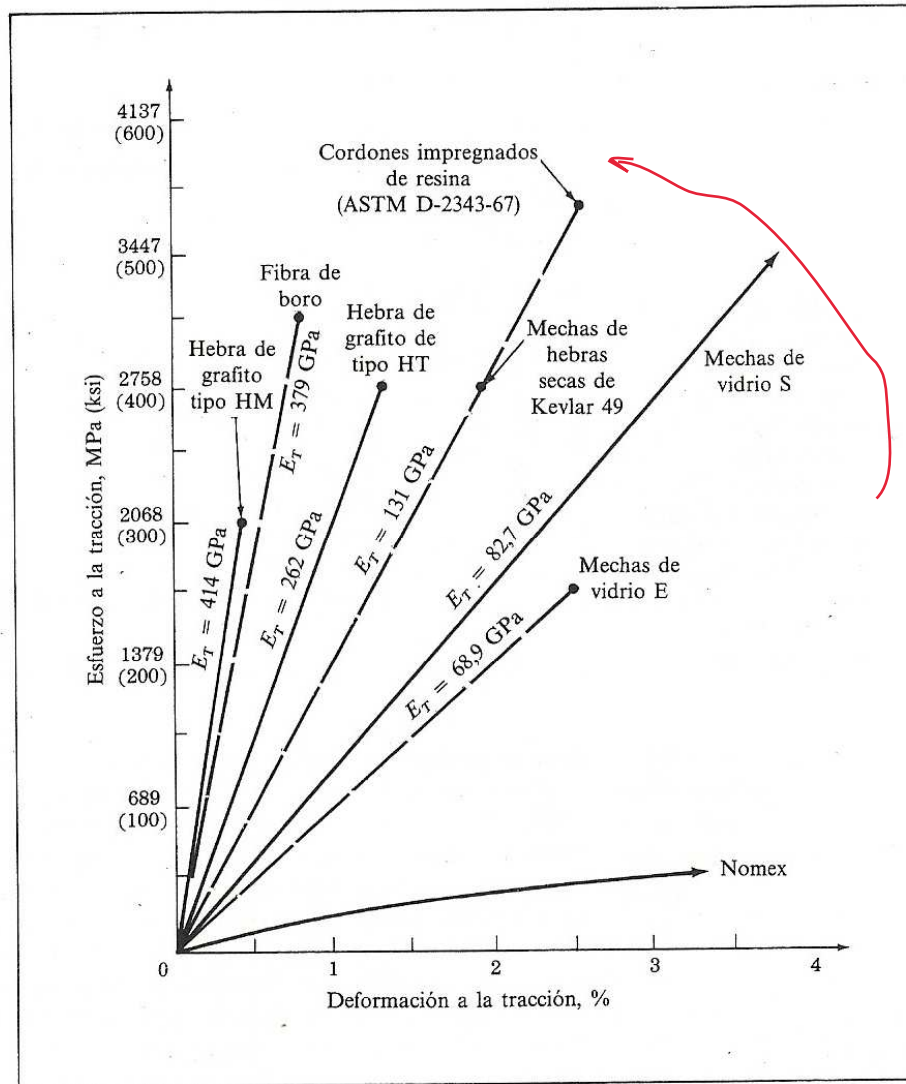
Hilo de fibra  
de vidrio →



tejido  
entrelazado.

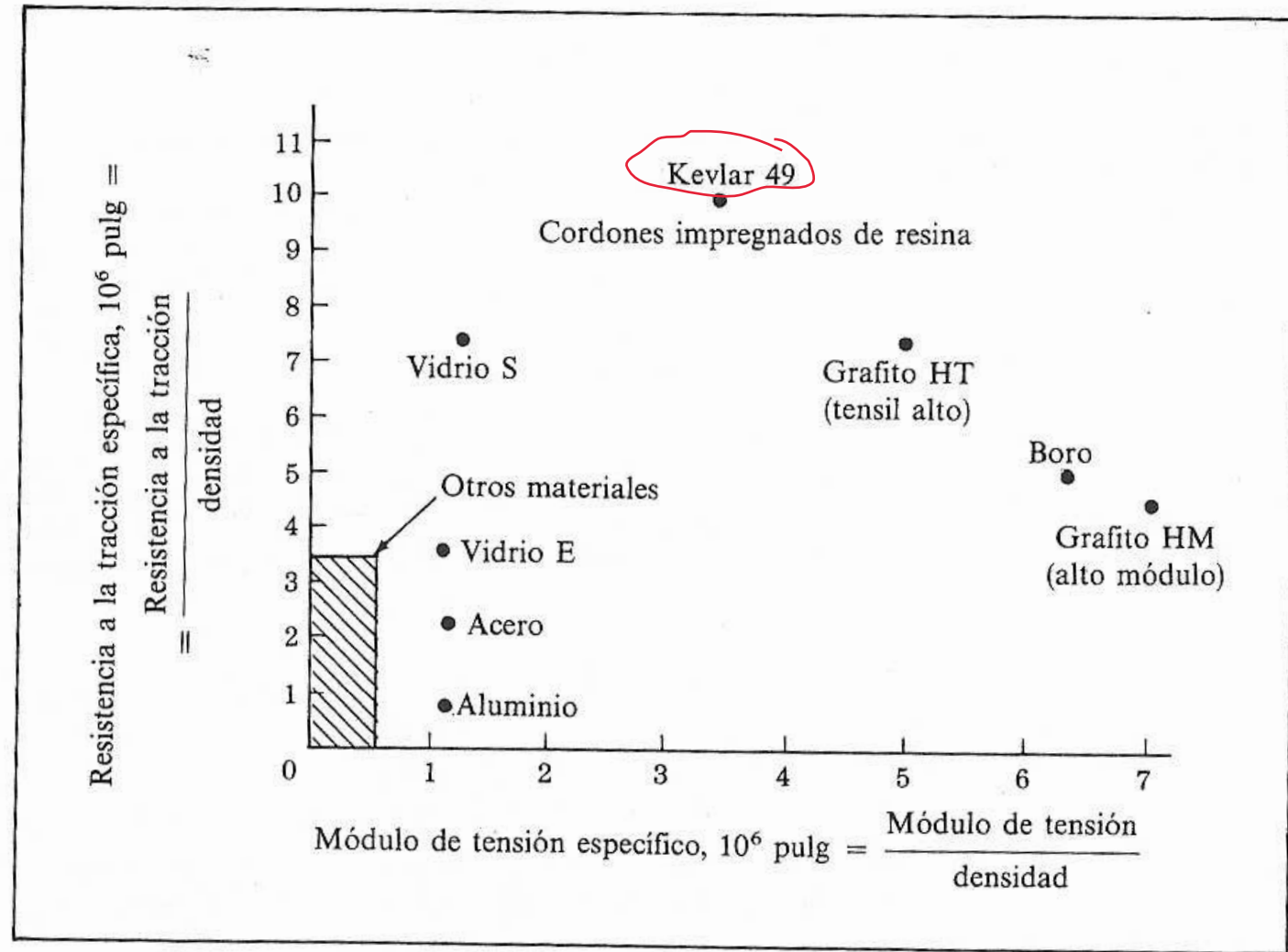
(Cortesía de Owens/Corning Fiberglas Co.)

**FIGURA 13.8.**  
Comportamiento  
esfuerzo-deformación  
de varios tipos de  
fibras reforzantes.  
(Según «Kevlar 49 Data  
Manual», E. I. du Pont  
de Nemours & Co.,  
1974.)



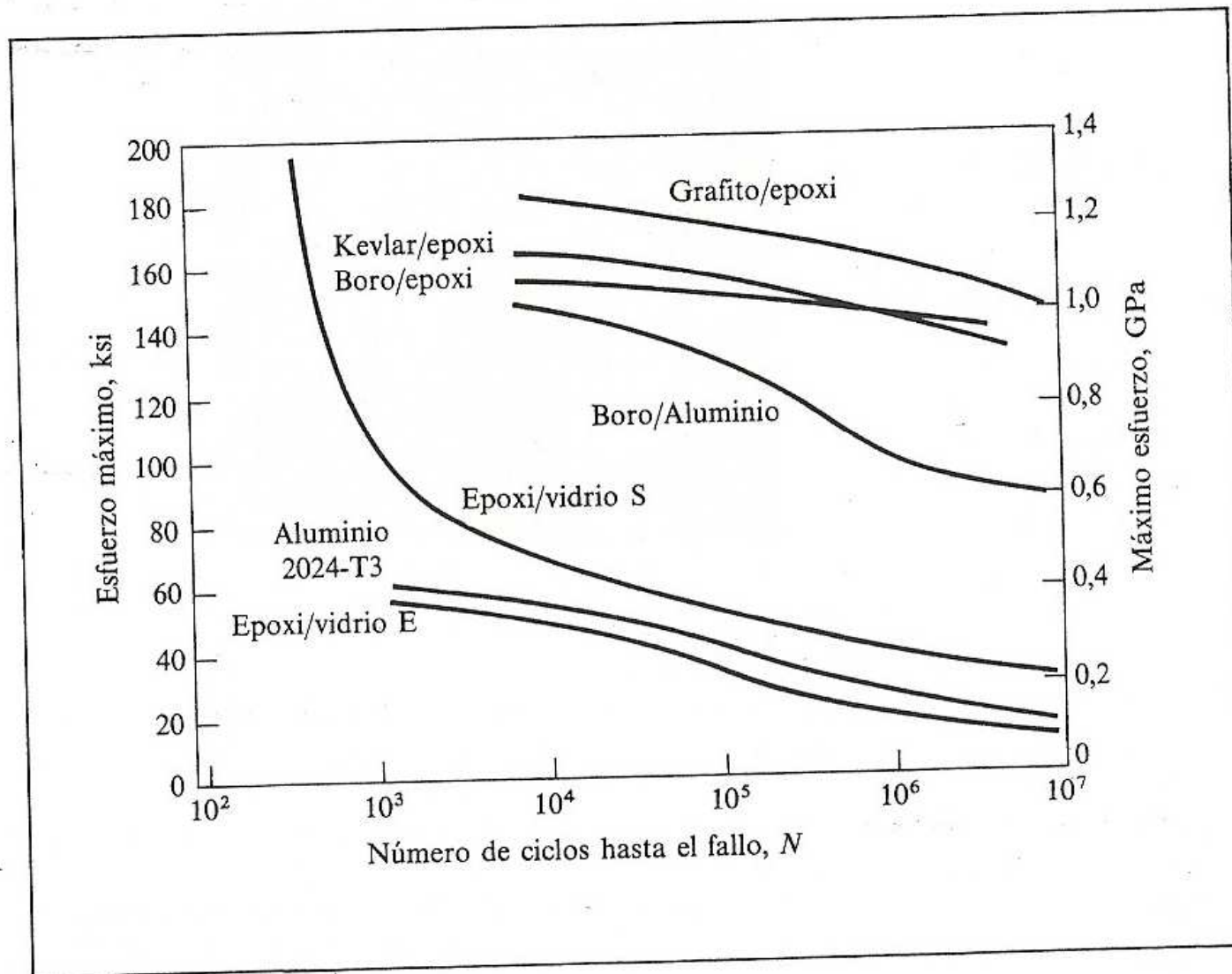
**FIGURA 13.9.**

Resistencia a la tracción específica (resistencia a la tracción/densidad) y módulo tensil específico (módulo tensil/densidad) para varios tipos de fibras reforzantes. (Cedido por E. I. du Pont de Nemours & Co., Wilmington, Del.)

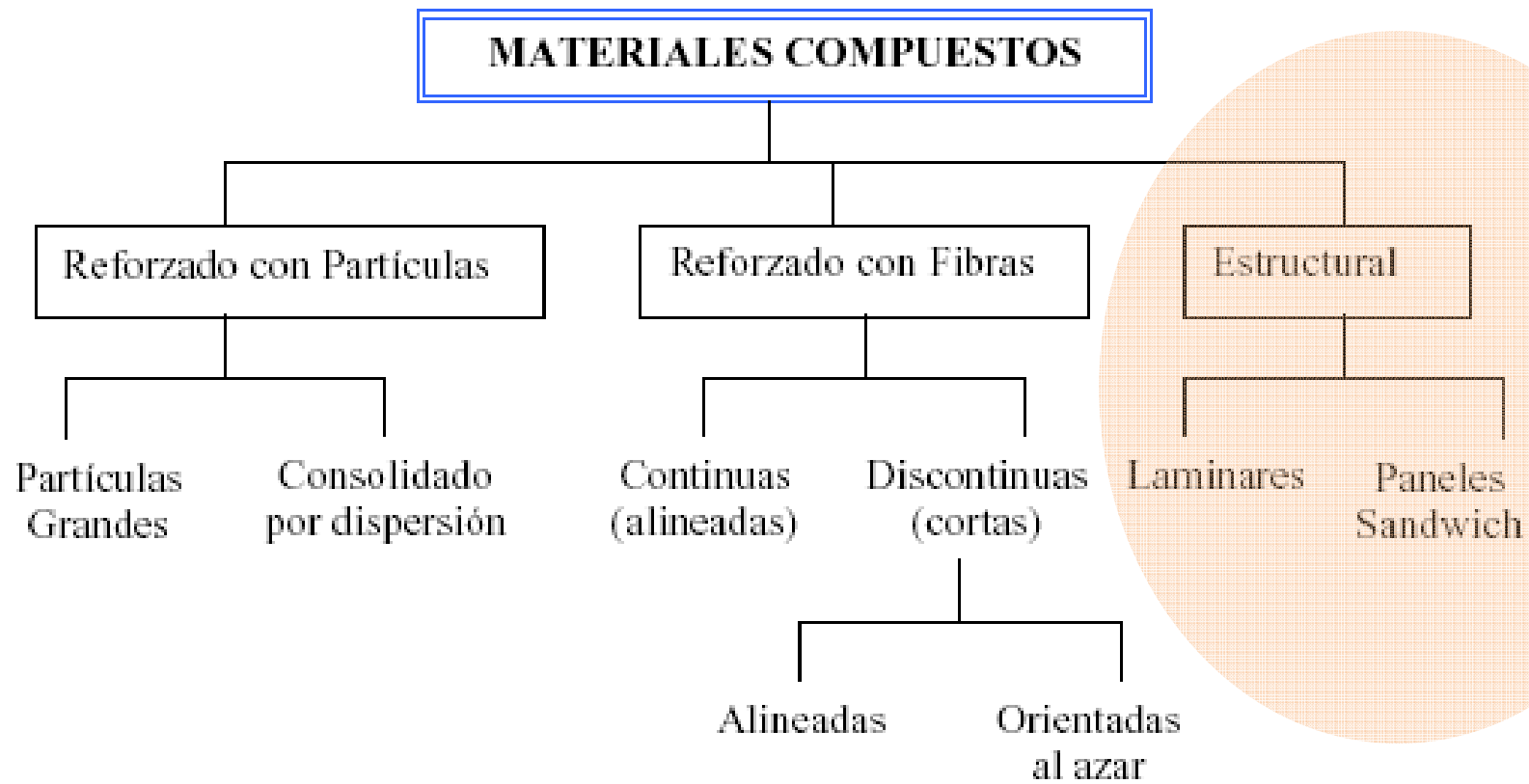


**FIGURA 13.11.**

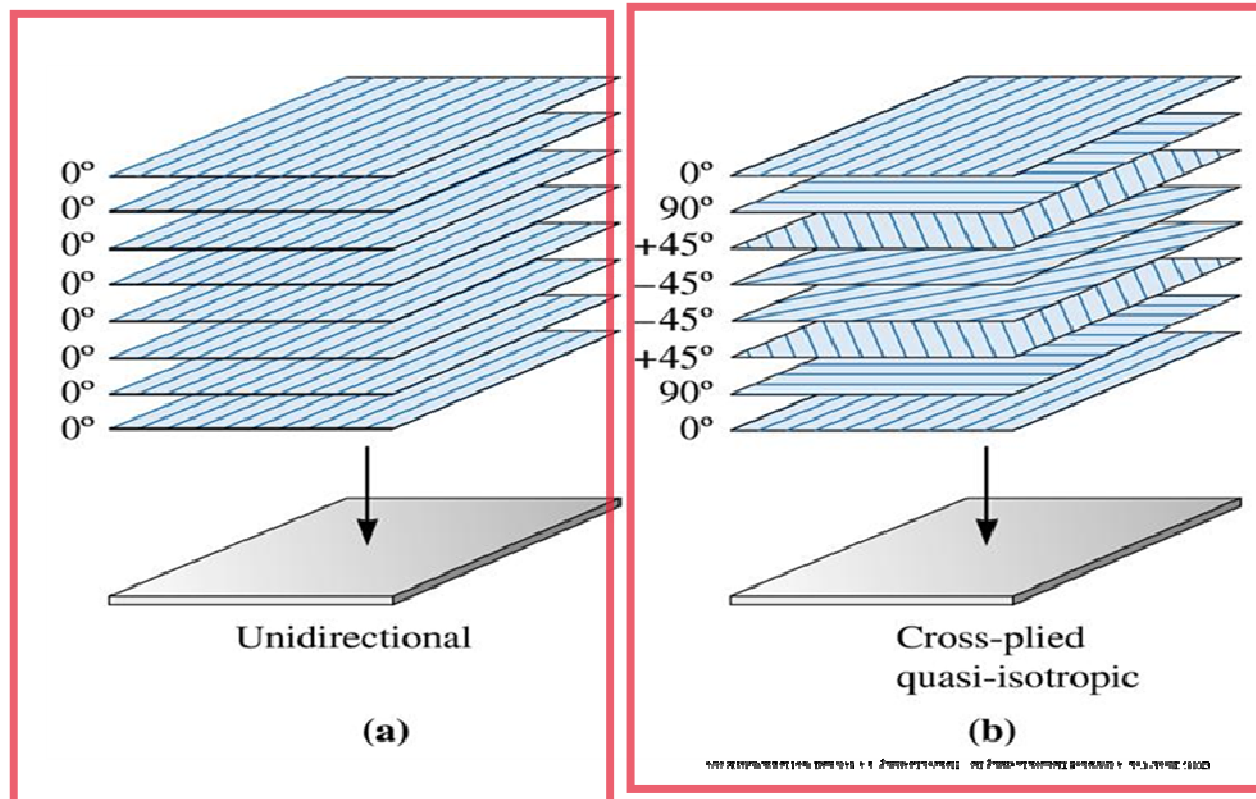
Propiedades a la fatiga (esfuerzo máximo frente a número de ciclos hasta el fallo) para un material compuesto unidireccional a base de epoxi-carbono (grafito) en comparación con propiedades a la fatiga de algunos otros materiales compuestos y la aleación de aluminio 2024-T3.  $R$  (mínimo esfuerzo-máximo esfuerzo para el ensayo cíclico tensión-tensión) = 0,1 a temperatura ambiente. (Cedido por Hercules, Inc.)







- Laminados



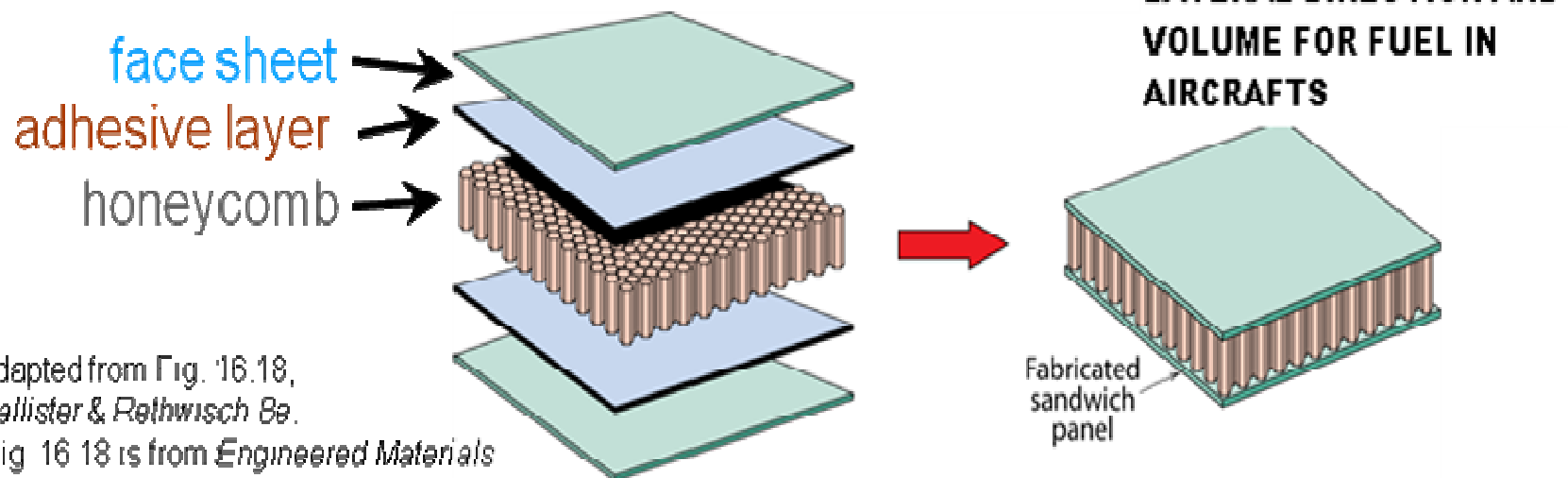


- Paneles Sandwich

- 

- **Sandwich panels**

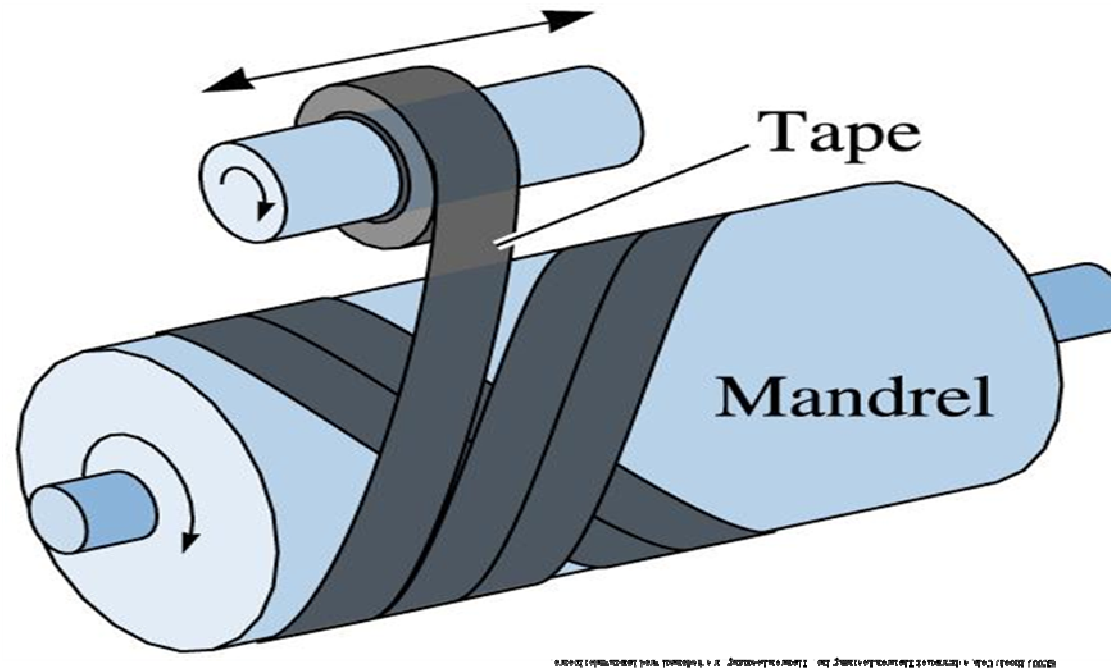
- honeycomb core between two facing sheets
  - benefits: low density, large bending stiffness



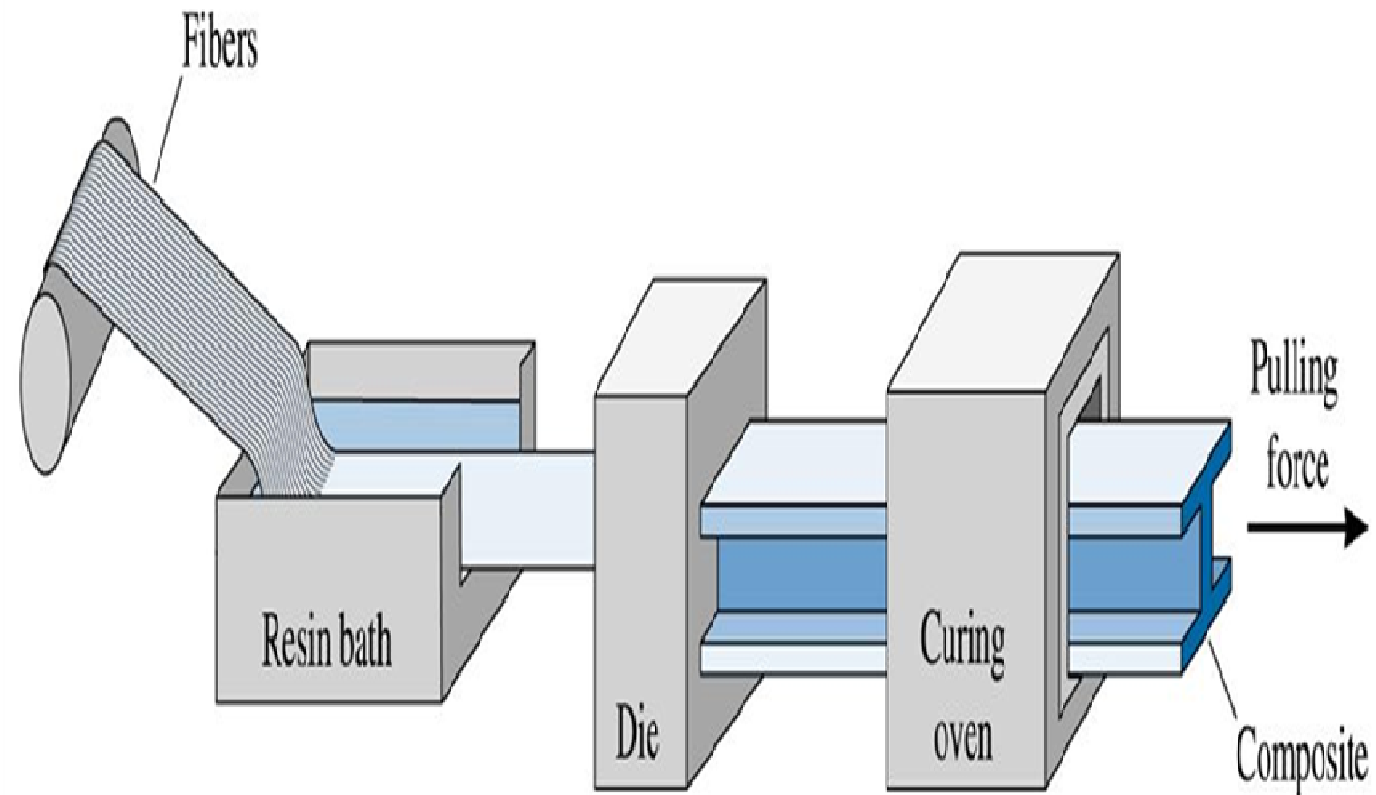
Adapted from Fig. 16.18,  
*Callister & Rethwisch Be.*  
(Fig. 16.18 is from *Engineered Materials  
Handbook*, Vol. 1, *Composites*, ASM International, Materials Park, OH, 1987 )

# Methods of fabricating polymer-matrix composites

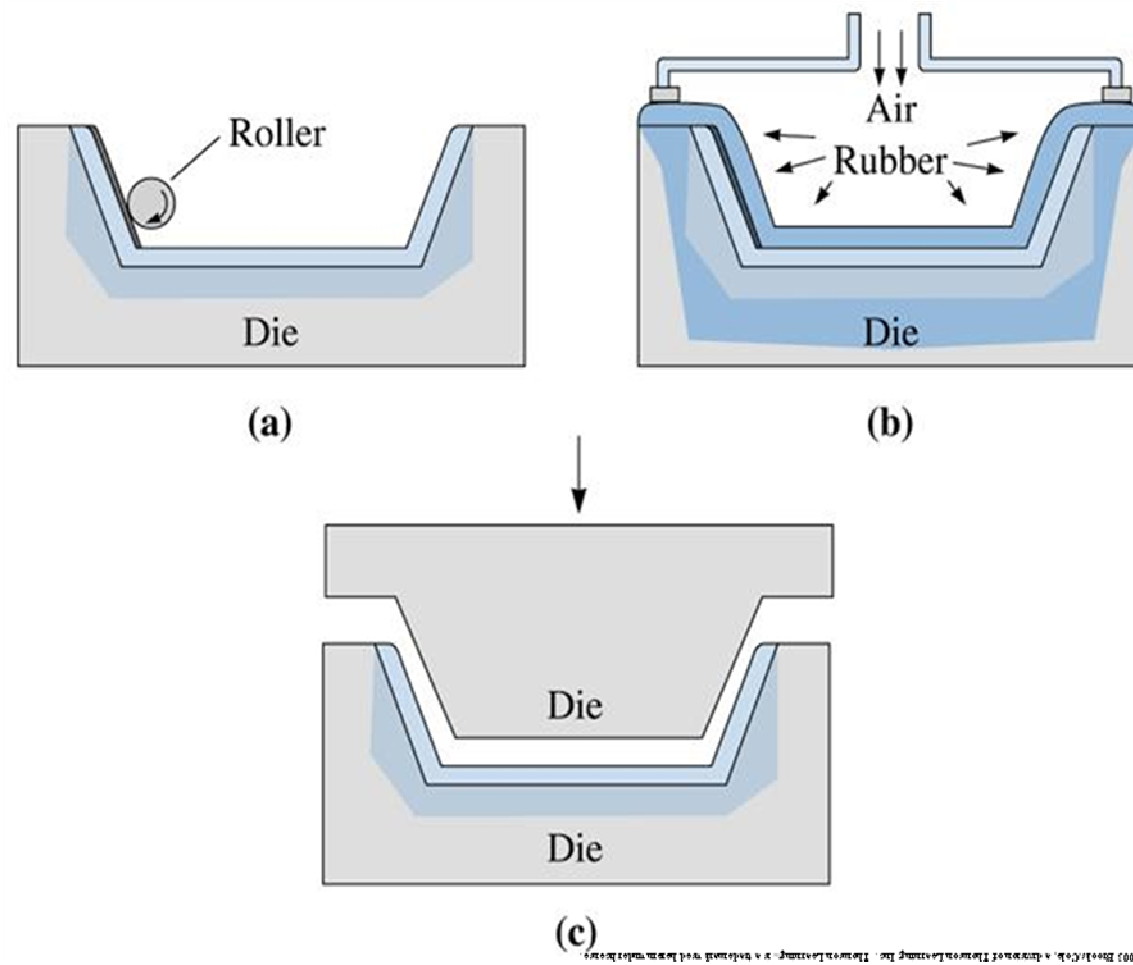
- Producing composite shapes by filament winding.



- Producing composite shapes by pultrusion.



© 2003 Blackwell Publishing Ltd. Journal of Materials Science: Materials in Engineering, 34, 1-10



## COMPUESTOS EN ACCIÓN!

