

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:

MMC: Metal Matrix Composite

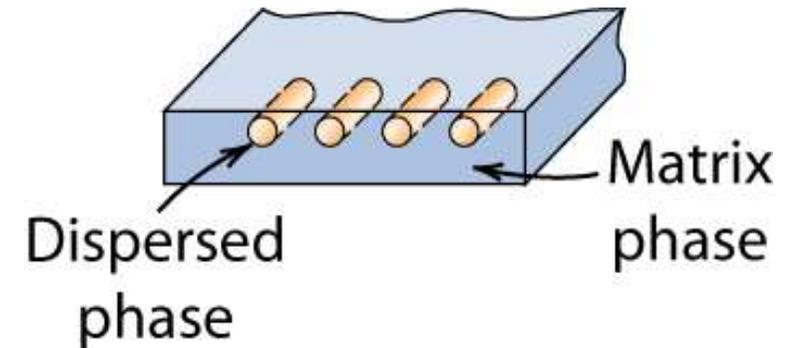
└─ *metal*

CMC: Ceramic Matrix Composite

└─ *ceramic*

PMC: Polymer Matrix Composite

└─ *polymer*



- Fase Dispersa

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

Propósito:

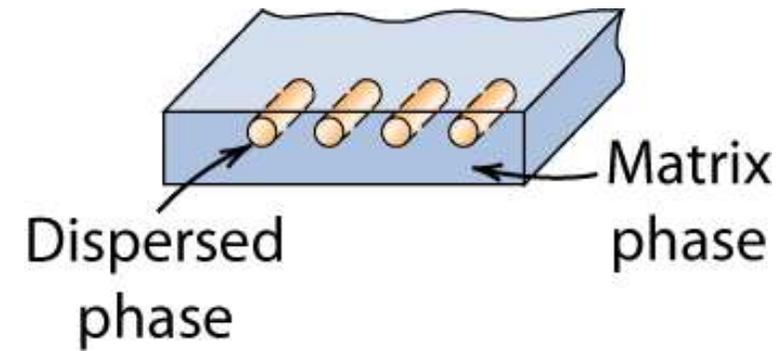
Aumentan la resistencia y/o la rigidez del material, etc.

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

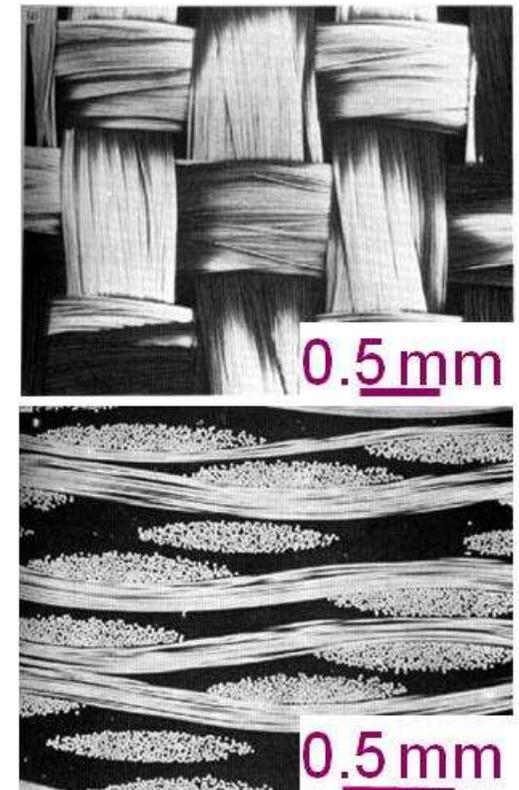
- MMC: incrementar σ_y , resistencia al creep, etc.
- CMC: incrementar Kc
- PMC: increase E, σ_y , resistencia al creep, etc.

Tipos:

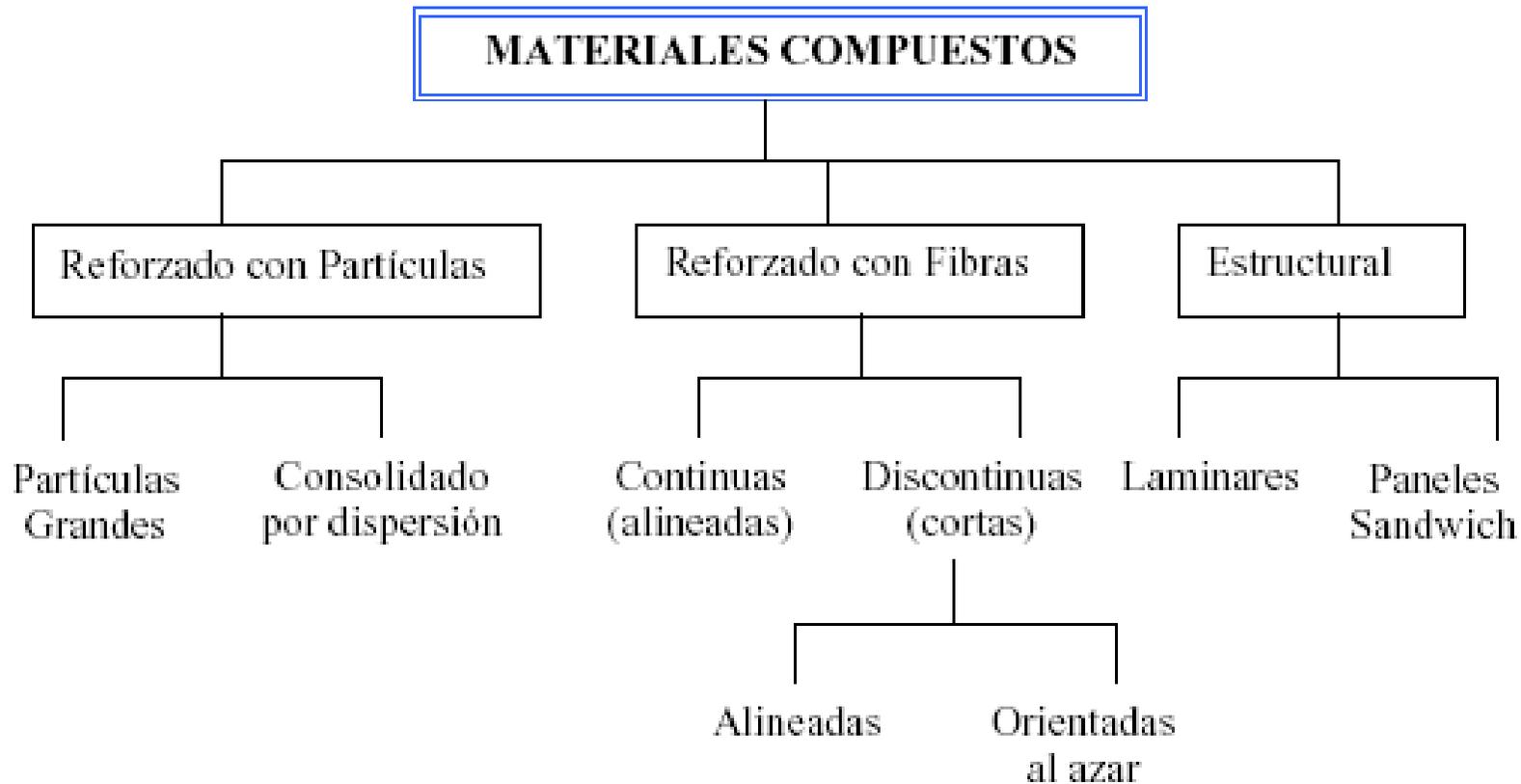
- partículas
- fibras
- estructural



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

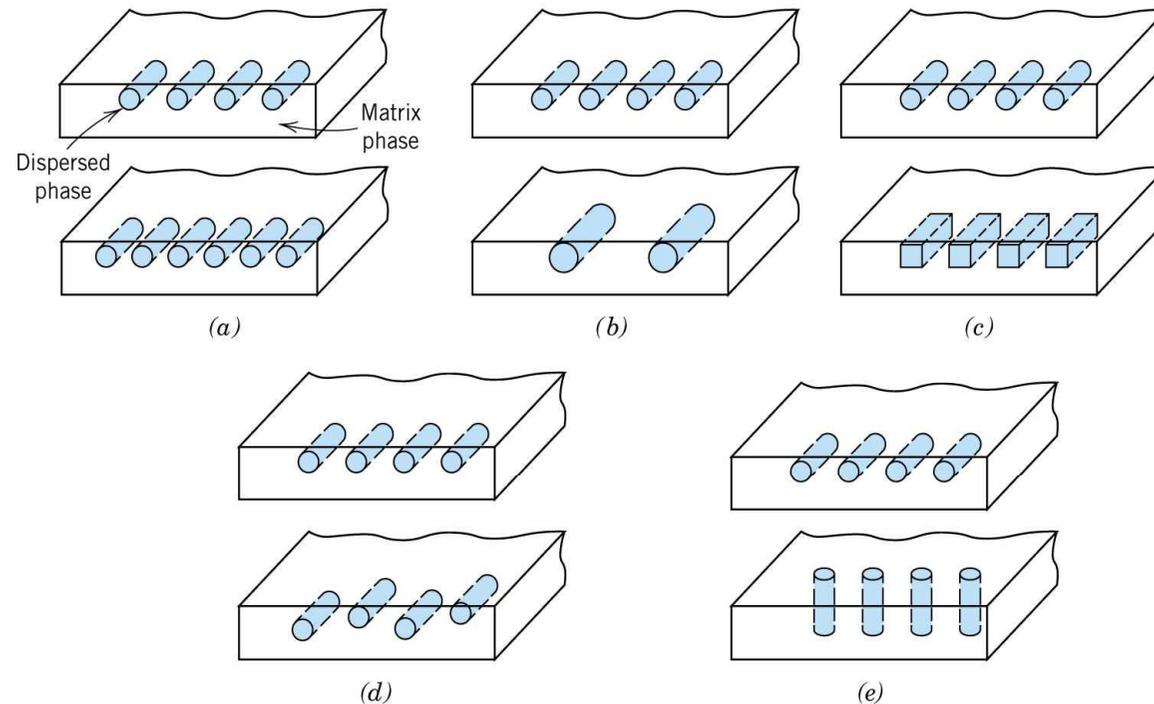
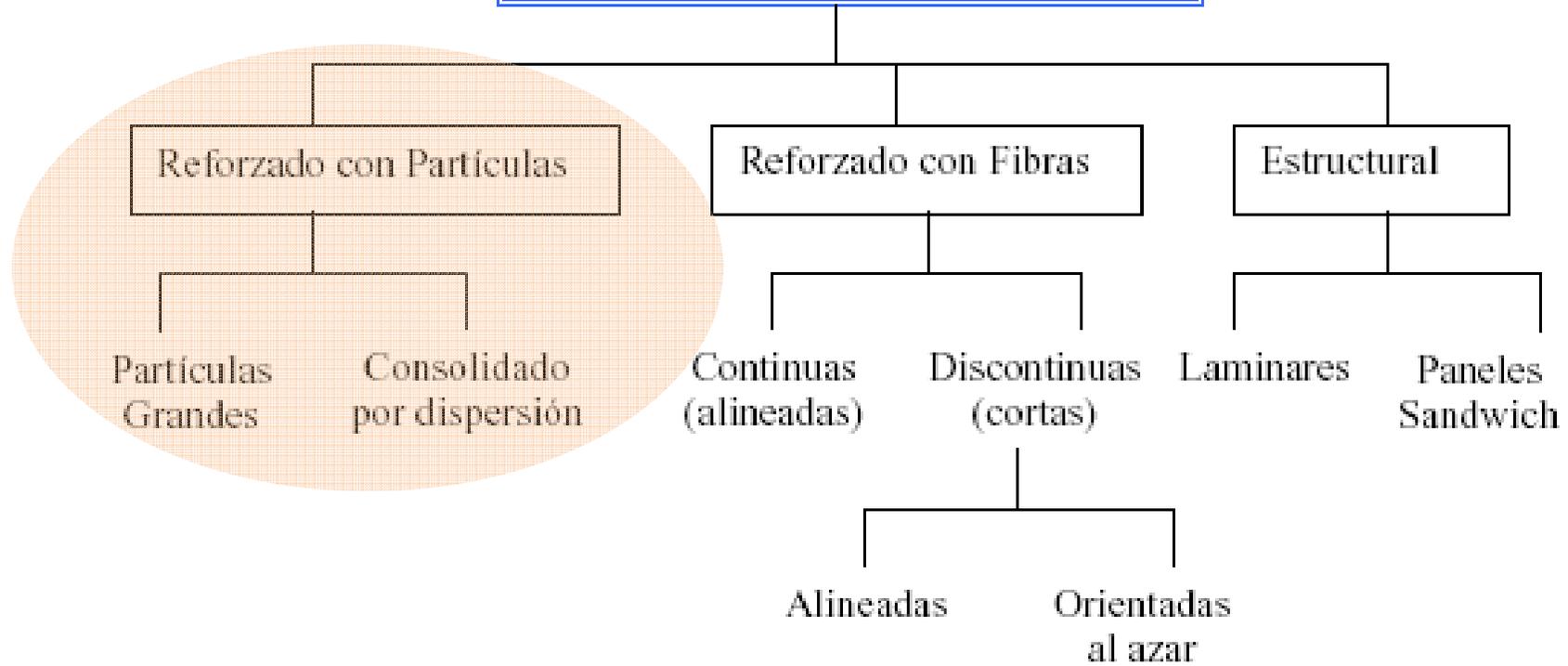


FIGURE 16.1 Schematic representations of the various geometrical and spatial characteristics of particles of the dispersed phase that may influence the properties of composites: (a) concentration, (b) size, (c) shape, (d) distribution, and (e) orientation. (From Richard A. Flinn and Paul K. Trojan, *Engineering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

MATERIALES COMPUESTOS



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

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

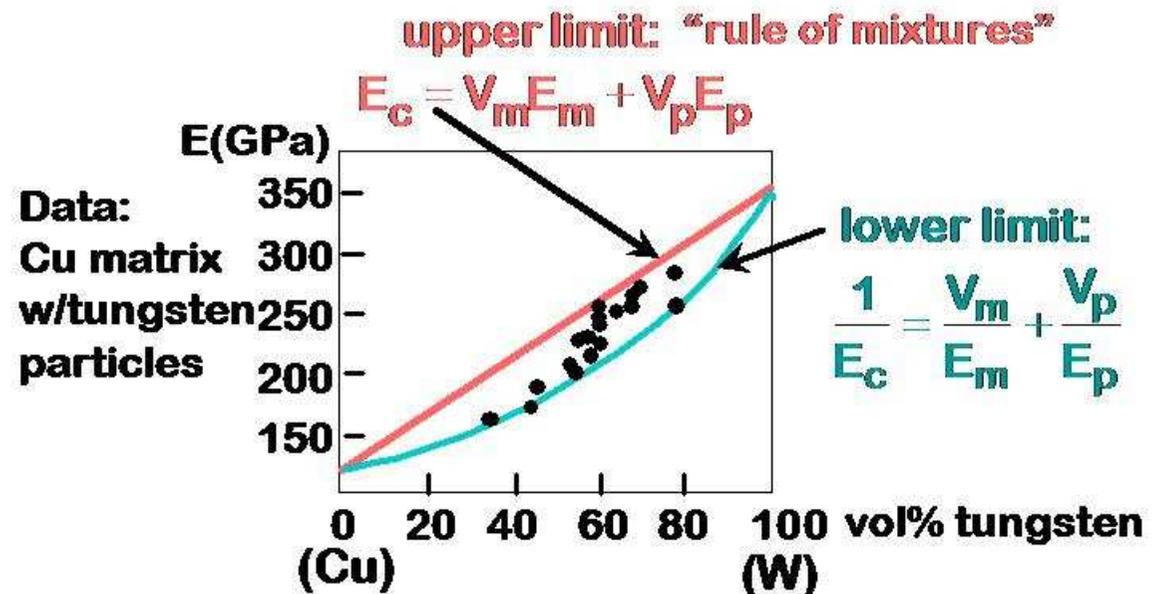
Límite inferior

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

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

E_c : Módulo elástico del compuesto:

- Dos aproximaciones:



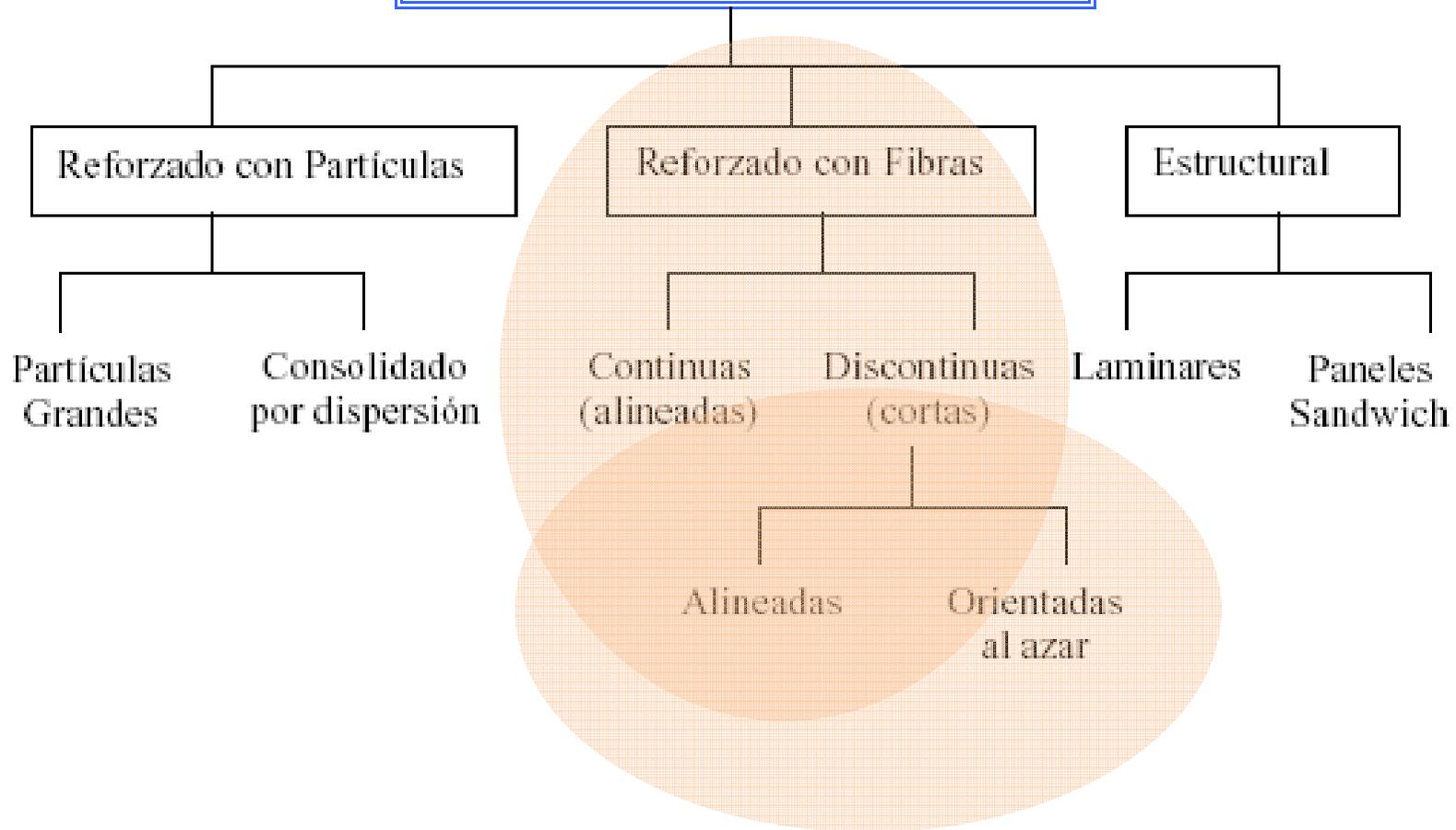
- Ejemplos de compuestos de partículas grandes
 - Consiste en partículas de gran tamaño que son más duras o más rígidas que la matriz.
 - Cermets
 - Son compuestos metal-cerámica
 - Herramientas de corte de carburo Cermented
 - Partículas CW o CTi (muy duras)
 - Matriz metálica (Co o Ni)
 - Las partículas 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 desgarrar, 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 precomprimidas.

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 (ThO_2).

MATERIALES COMPUESTOS



- 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).

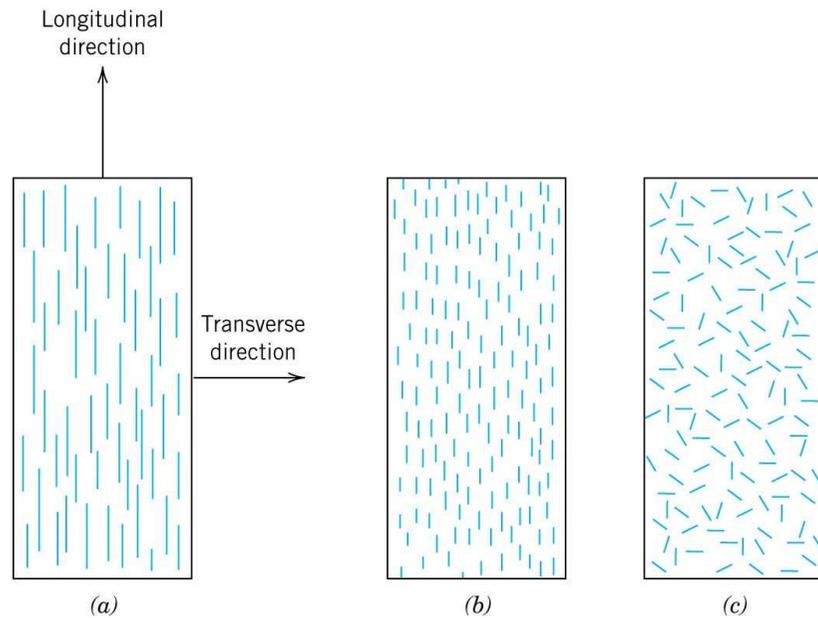


FIGURE 16.8 Schematic representations of (a) continuous and aligned, (b) discontinuous and aligned, and (c) discontinuous and randomly oriented fiber-reinforced composites.

- 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 : la diámetro de la fibra
 - σ_f : resistencia de la fibra a la rotura a la tracción
 - τ_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

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

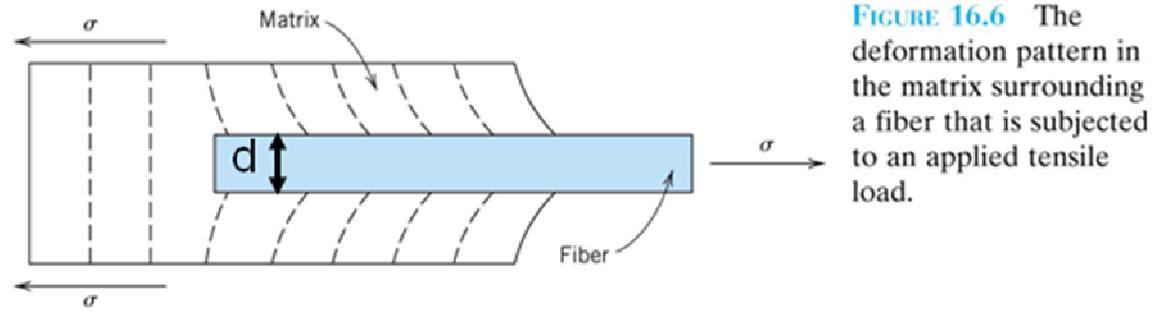


FIGURE 16.6 The deformation pattern in the matrix surrounding a fiber that is subjected to an applied tensile load.

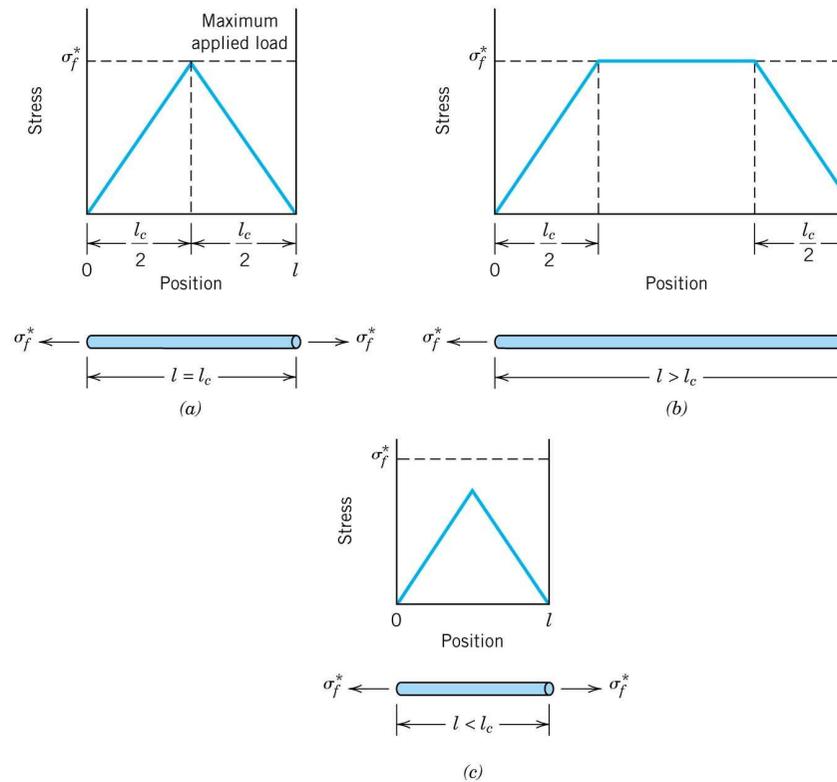
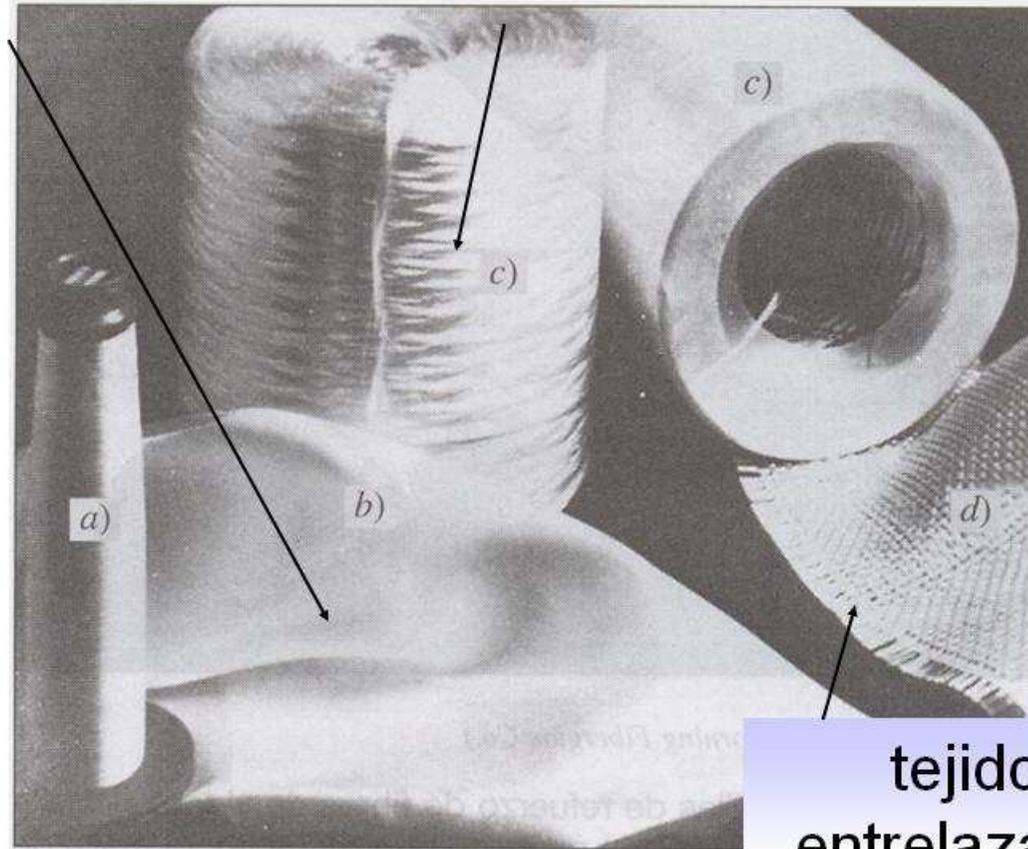


FIGURE 16.7 Stress-position profiles when fiber length l (a) is equal to the critical length l_c , (b) is greater than the critical length, and (c) is less than the critical length for a fiber-reinforced composite that is subjected to a tensile stress equal to the fiber tensile strength σ_f^* .

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.)

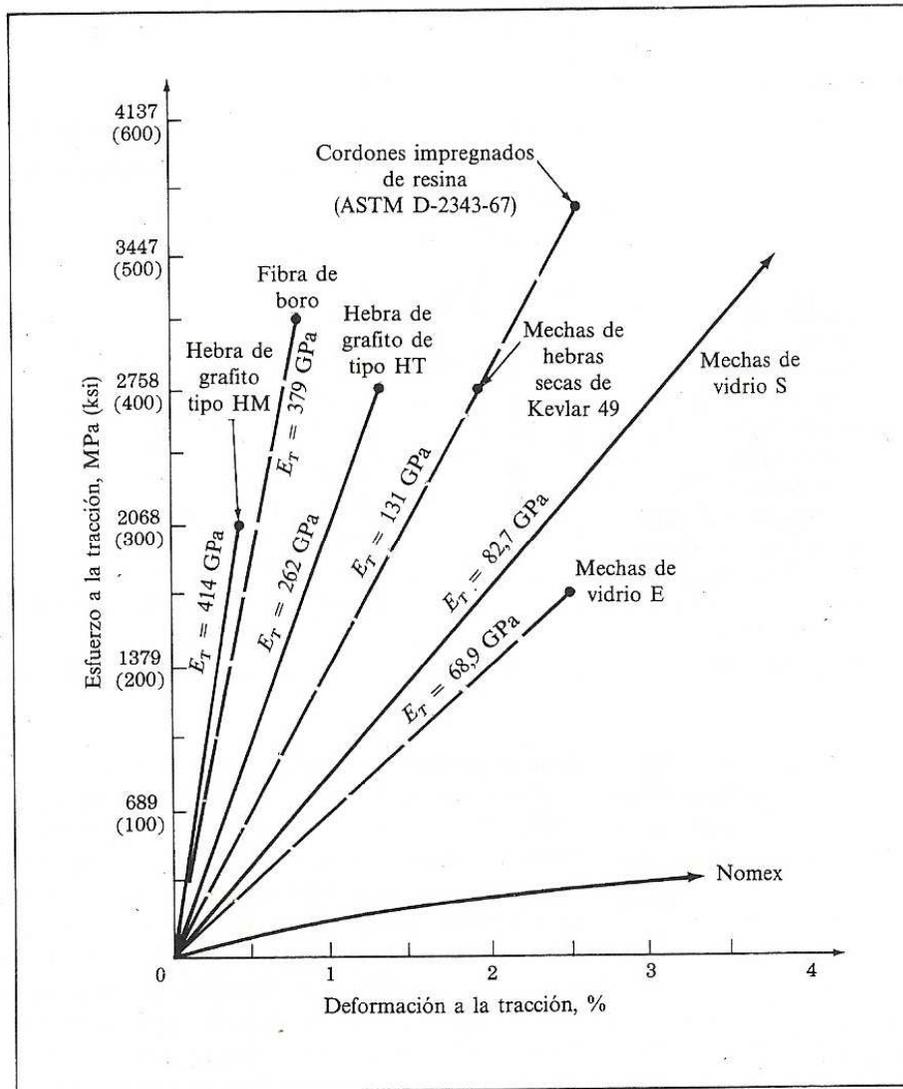


FIGURA 13.8.
 Comportamiento
 esfuerzo-deformación
 de varios tipos de
 fibras reforzantes.
 (Según «Kevlar 49 Data
 Manual», E. I. du Pont
 de Nemours & Co.,
 1974.)

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.)

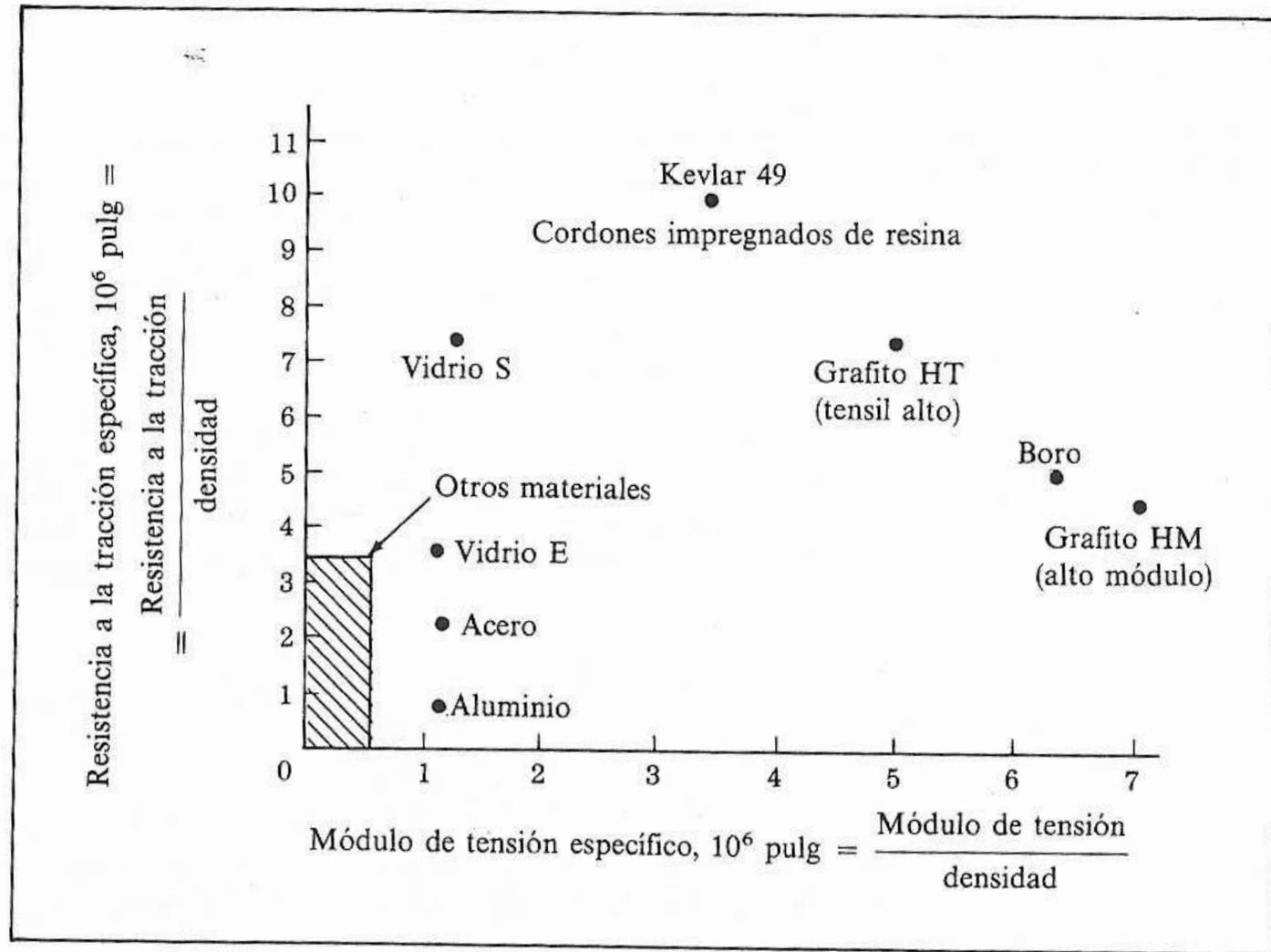
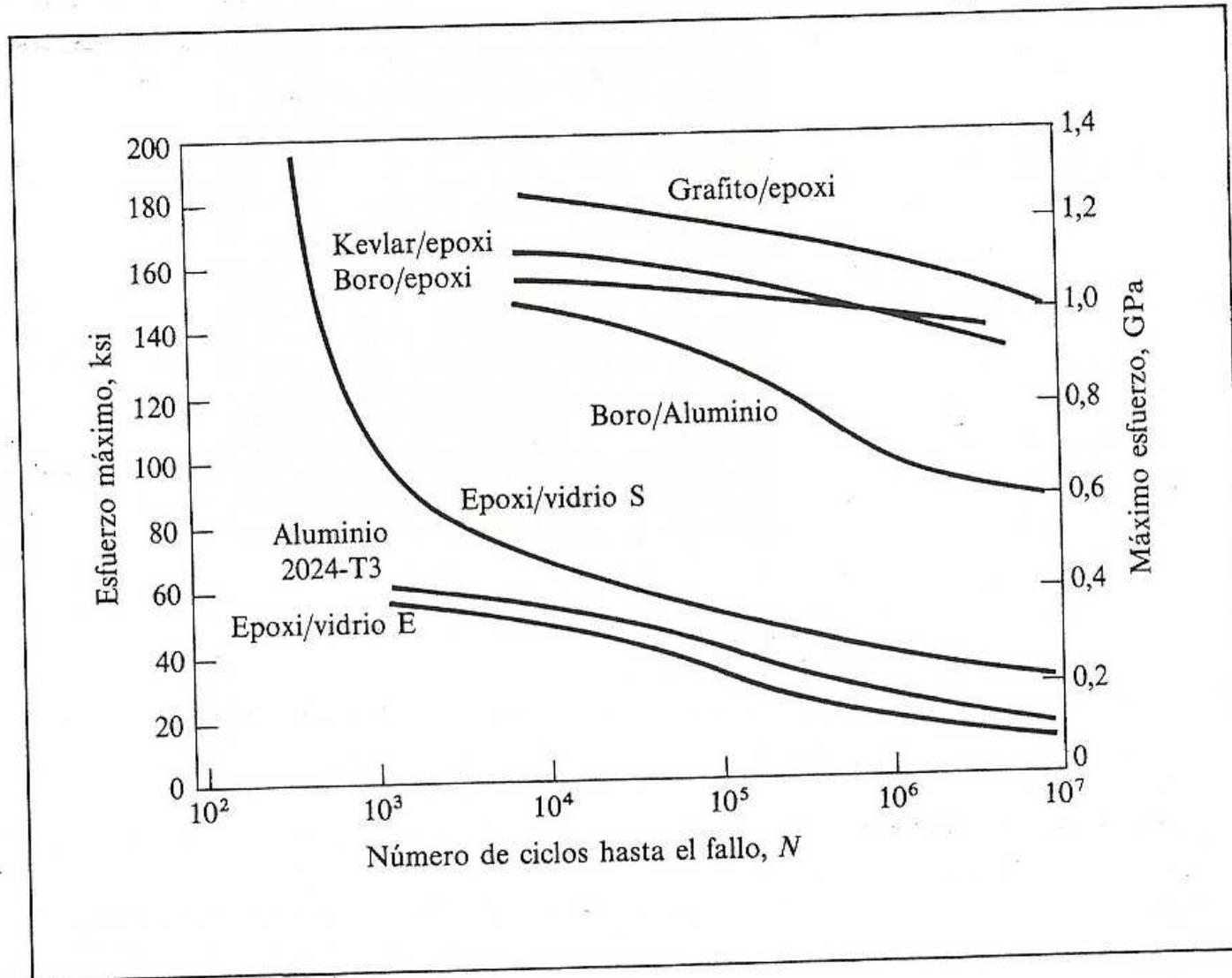
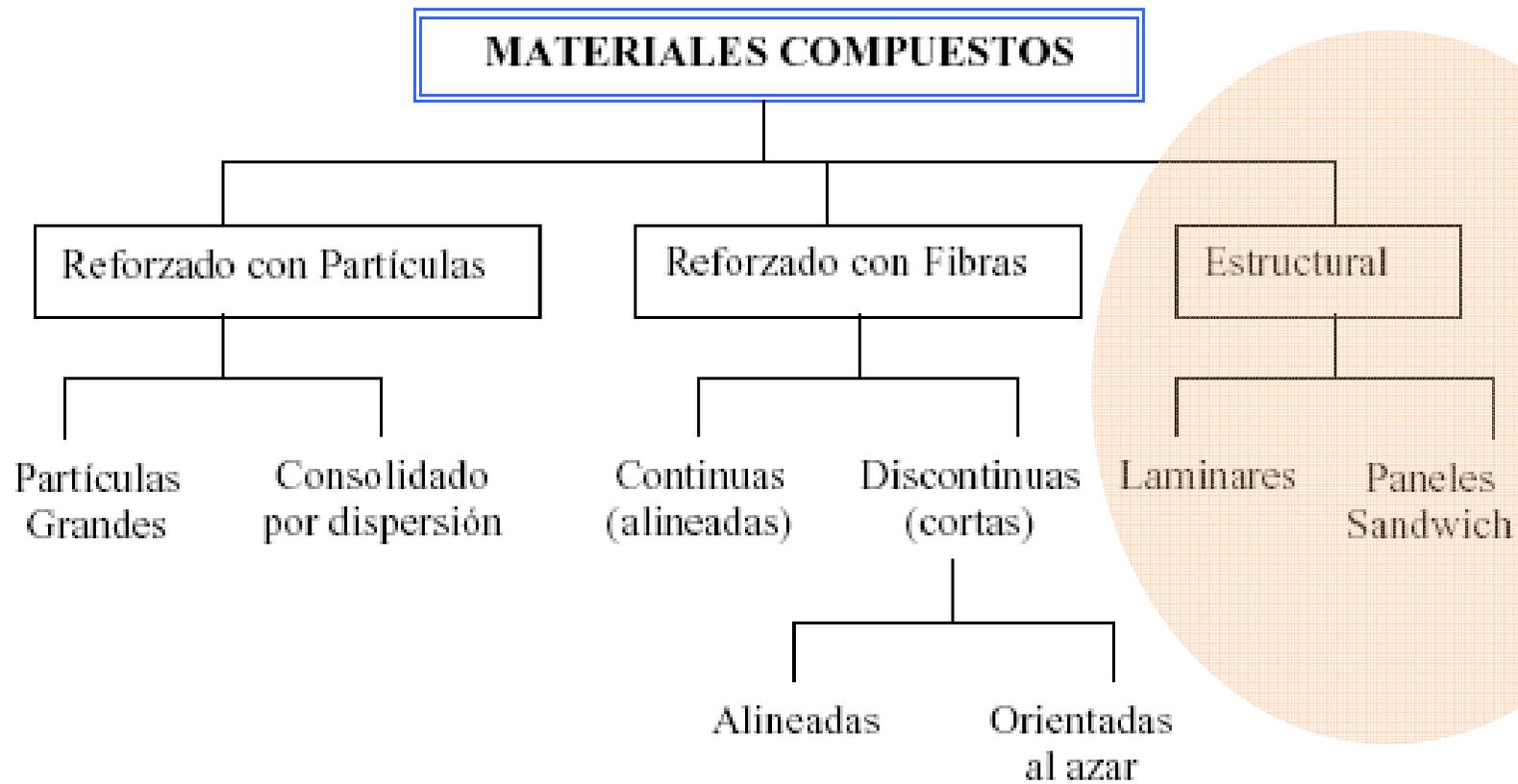


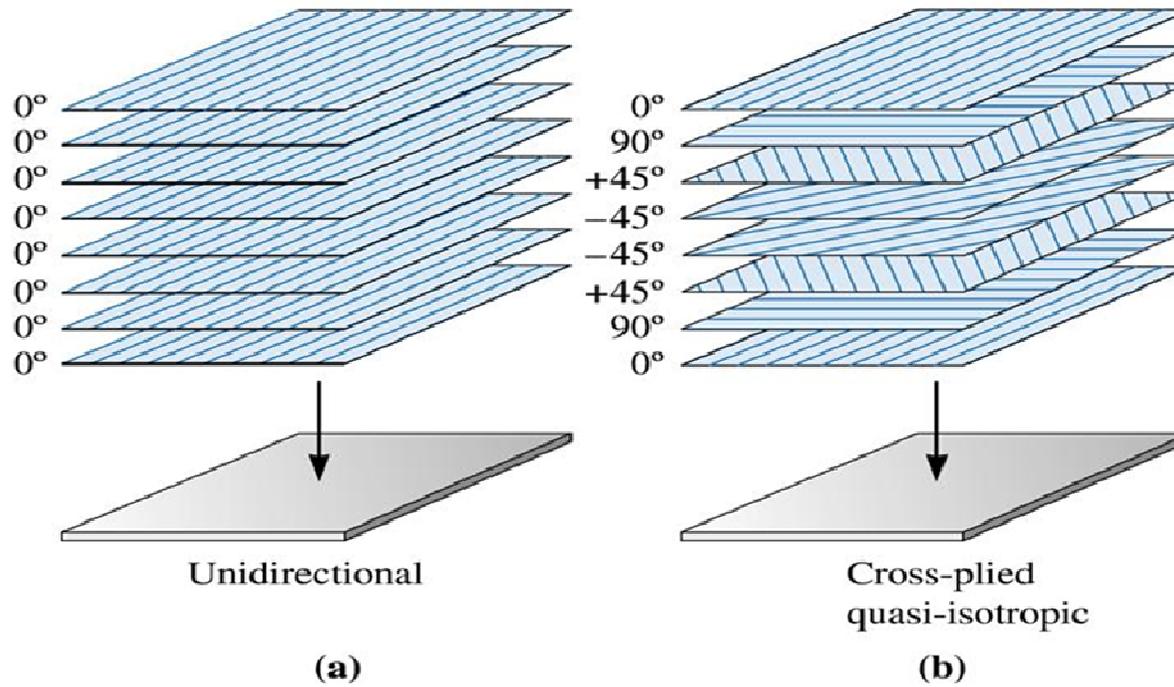
FIGURA 13.11.

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



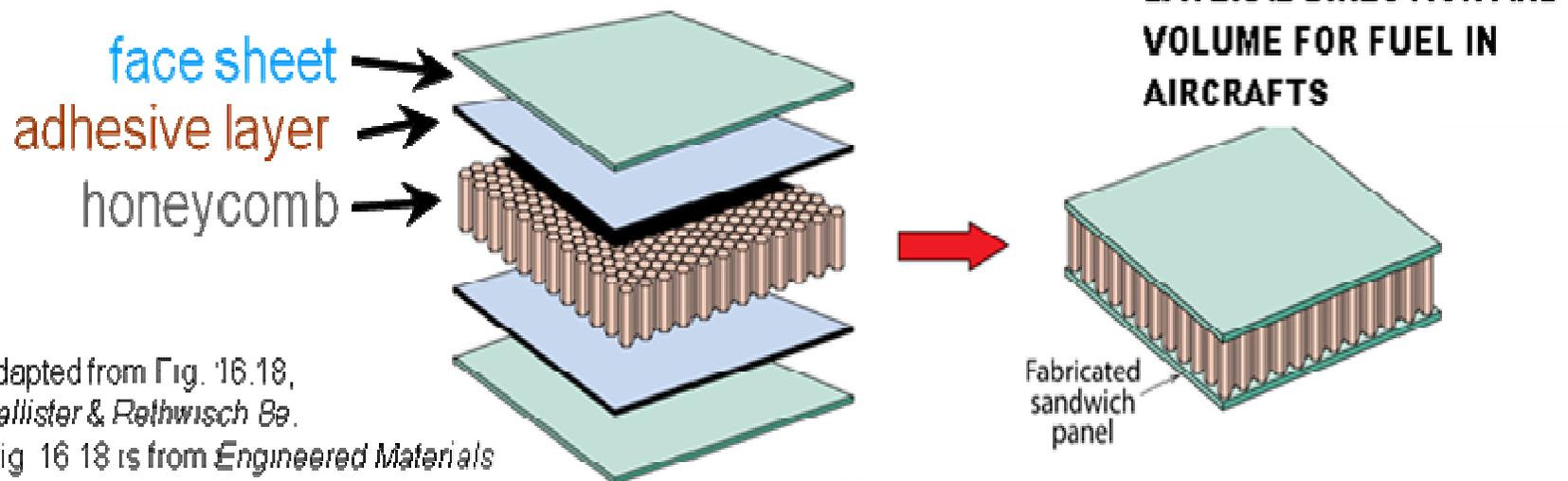
- Paneles Sandwich

-

- **Sandwich panels**

- honeycomb core between two facing sheets

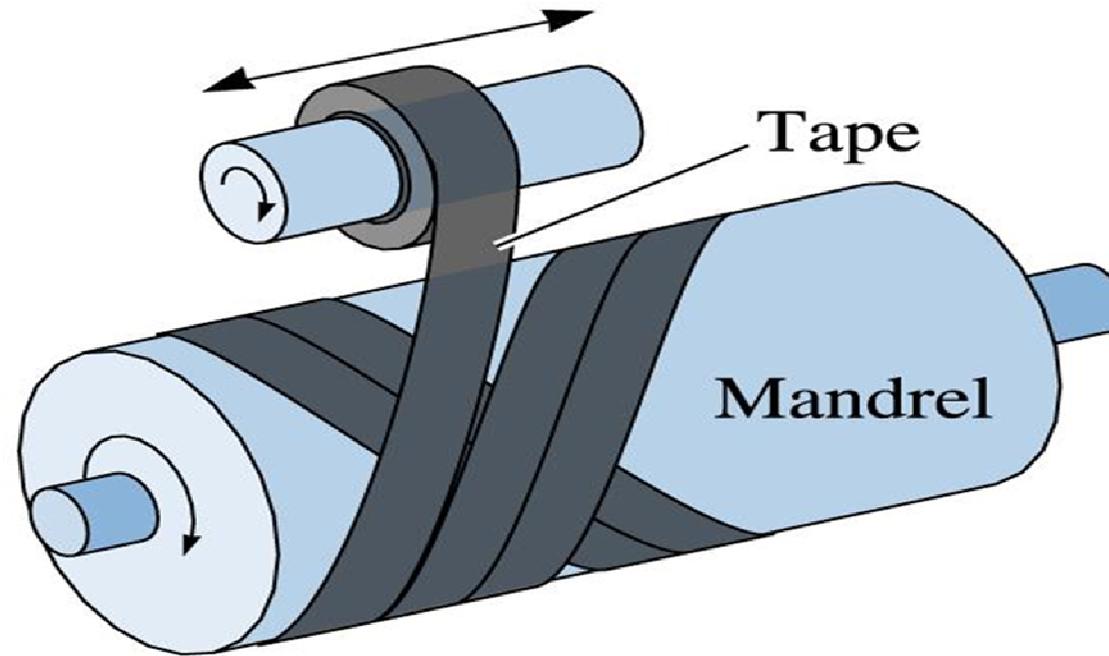
- benefits: low density, large bending stiffness



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.)

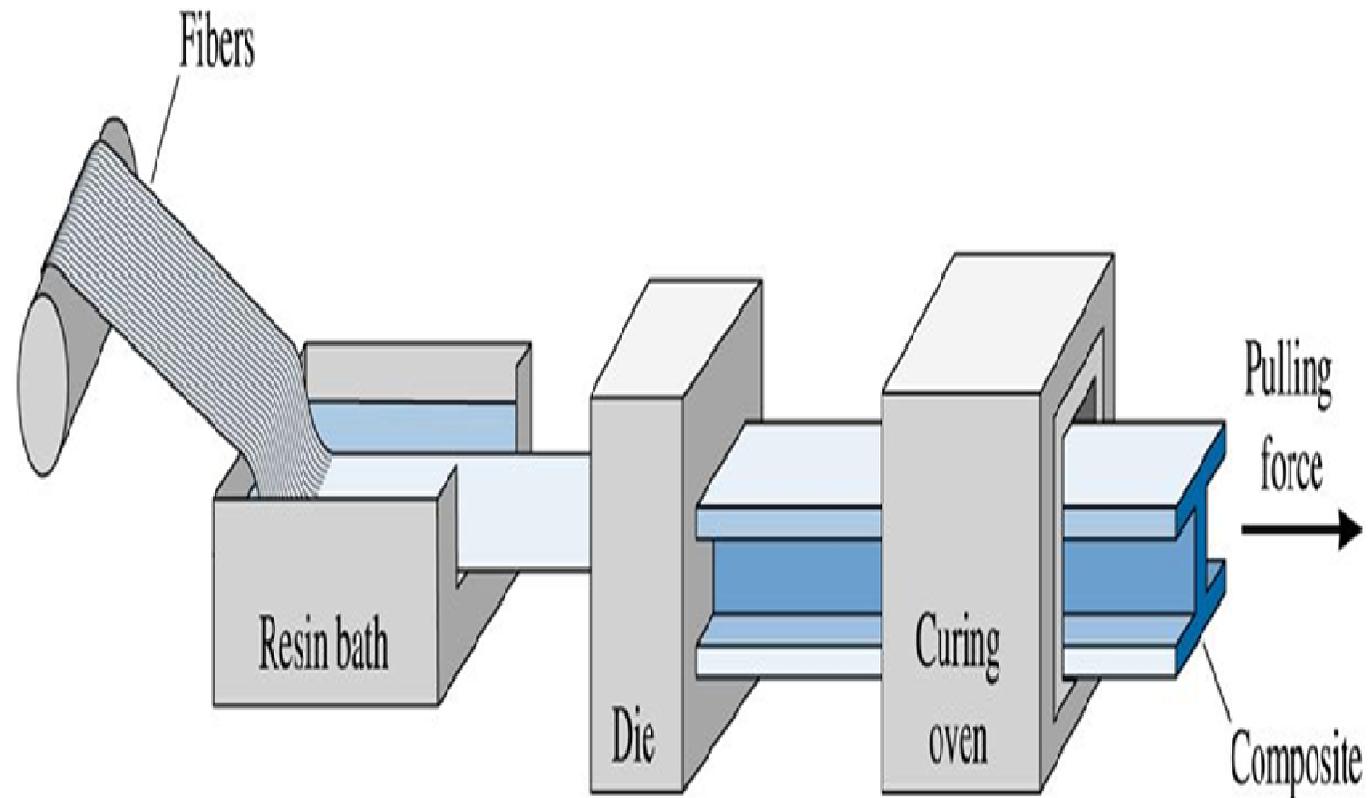
Methods of fabricating polymer-matrix composites

– Producing composite shapes by filament winding.

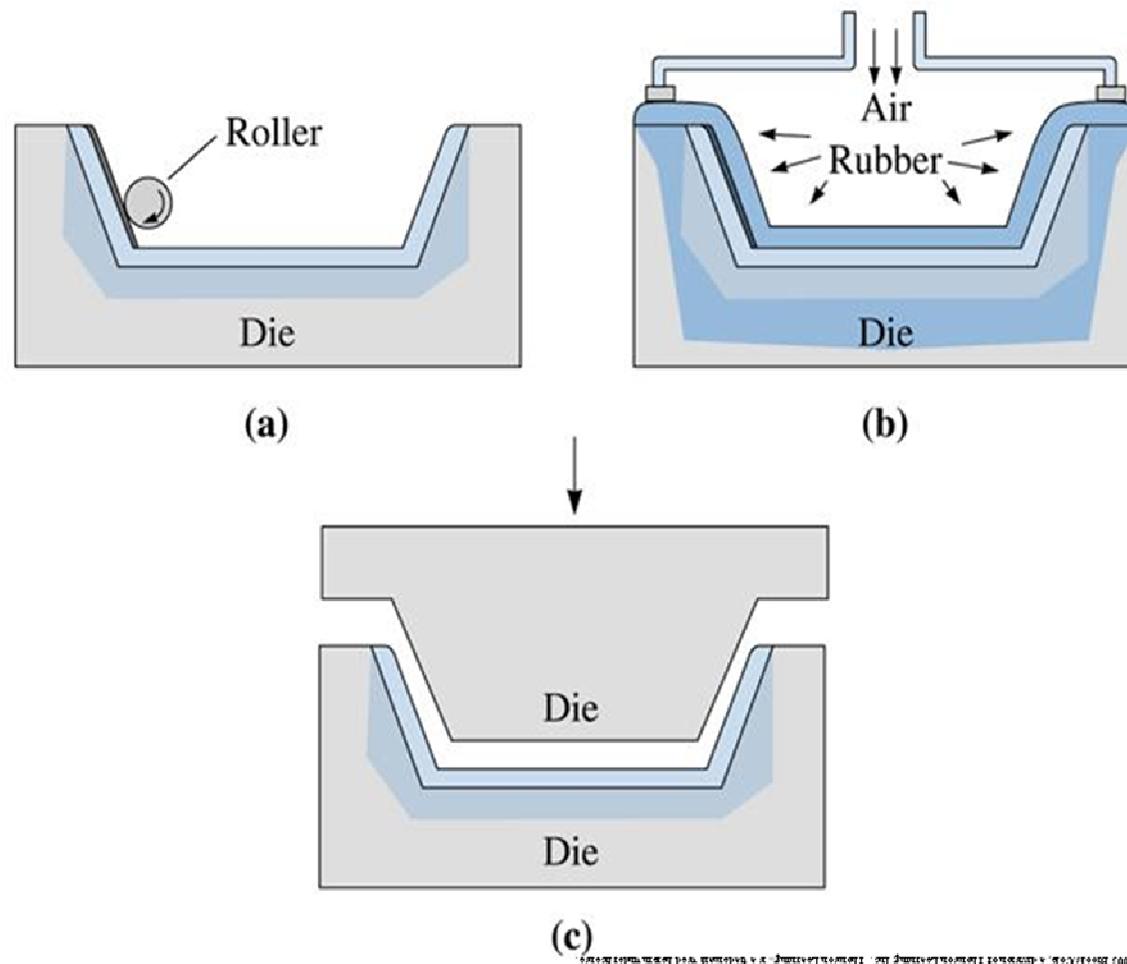


© 2003 / 2004 / 2005 / 2006 / 2007 / 2008 / 2009 / 2010 / 2011 / 2012 / 2013 / 2014 / 2015 / 2016 / 2017 / 2018 / 2019 / 2020 / 2021 / 2022 / 2023 / 2024 / 2025 / 2026 / 2027 / 2028 / 2029 / 2030 / 2031 / 2032 / 2033 / 2034 / 2035 / 2036 / 2037 / 2038 / 2039 / 2040 / 2041 / 2042 / 2043 / 2044 / 2045 / 2046 / 2047 / 2048 / 2049 / 2050 / 2051 / 2052 / 2053 / 2054 / 2055 / 2056 / 2057 / 2058 / 2059 / 2060 / 2061 / 2062 / 2063 / 2064 / 2065 / 2066 / 2067 / 2068 / 2069 / 2070 / 2071 / 2072 / 2073 / 2074 / 2075 / 2076 / 2077 / 2078 / 2079 / 2080 / 2081 / 2082 / 2083 / 2084 / 2085 / 2086 / 2087 / 2088 / 2089 / 2090 / 2091 / 2092 / 2093 / 2094 / 2095 / 2096 / 2097 / 2098 / 2099 / 2100 / 2101 / 2102 / 2103 / 2104 / 2105 / 2106 / 2107 / 2108 / 2109 / 2110 / 2111 / 2112 / 2113 / 2114 / 2115 / 2116 / 2117 / 2118 / 2119 / 2120 / 2121 / 2122 / 2123 / 2124 / 2125 / 2126 / 2127 / 2128 / 2129 / 2130 / 2131 / 2132 / 2133 / 2134 / 2135 / 2136 / 2137 / 2138 / 2139 / 2140 / 2141 / 2142 / 2143 / 2144 / 2145 / 2146 / 2147 / 2148 / 2149 / 2150 / 2151 / 2152 / 2153 / 2154 / 2155 / 2156 / 2157 / 2158 / 2159 / 2160 / 2161 / 2162 / 2163 / 2164 / 2165 / 2166 / 2167 / 2168 / 2169 / 2170 / 2171 / 2172 / 2173 / 2174 / 2175 / 2176 / 2177 / 2178 / 2179 / 2180 / 2181 / 2182 / 2183 / 2184 / 2185 / 2186 / 2187 / 2188 / 2189 / 2190 / 2191 / 2192 / 2193 / 2194 / 2195 / 2196 / 2197 / 2198 / 2199 / 2200 / 2201 / 2202 / 2203 / 2204 / 2205 / 2206 / 2207 / 2208 / 2209 / 2210 / 2211 / 2212 / 2213 / 2214 / 2215 / 2216 / 2217 / 2218 / 2219 / 2220 / 2221 / 2222 / 2223 / 2224 / 2225 / 2226 / 2227 / 2228 / 2229 / 2230 / 2231 / 2232 / 2233 / 2234 / 2235 / 2236 / 2237 / 2238 / 2239 / 2240 / 2241 / 2242 / 2243 / 2244 / 2245 / 2246 / 2247 / 2248 / 2249 / 2250 / 2251 / 2252 / 2253 / 2254 / 2255 / 2256 / 2257 / 2258 / 2259 / 2260 / 2261 / 2262 / 2263 / 2264 / 2265 / 2266 / 2267 / 2268 / 2269 / 2270 / 2271 / 2272 / 2273 / 2274 / 2275 / 2276 / 2277 / 2278 / 2279 / 2280 / 2281 / 2282 / 2283 / 2284 / 2285 / 2286 / 2287 / 2288 / 2289 / 2290 / 2291 / 2292 / 2293 / 2294 / 2295 / 2296 / 2297 / 2298 / 2299 / 2300 / 2301 / 2302 / 2303 / 2304 / 2305 / 2306 / 2307 / 2308 / 2309 / 2310 / 2311 / 2312 / 2313 / 2314 / 2315 / 2316 / 2317 / 2318 / 2319 / 2320 / 2321 / 2322 / 2323 / 2324 / 2325 / 2326 / 2327 / 2328 / 2329 / 2330 / 2331 / 2332 / 2333 / 2334 / 2335 / 2336 / 2337 / 2338 / 2339 / 2340 / 2341 / 2342 / 2343 / 2344 / 2345 / 2346 / 2347 / 2348 / 2349 / 2350 / 2351 / 2352 / 2353 / 2354 / 2355 / 2356 / 2357 / 2358 / 2359 / 2360 / 2361 / 2362 / 2363 / 2364 / 2365 / 2366 / 2367 / 2368 / 2369 / 2370 / 2371 / 2372 / 2373 / 2374 / 2375 / 2376 / 2377 / 2378 / 2379 / 2380 / 2381 / 2382 / 2383 / 2384 / 2385 / 2386 / 2387 / 2388 / 2389 / 2390 / 2391 / 2392 / 2393 / 2394 / 2395 / 2396 / 2397 / 2398 / 2399 / 2400 / 2401 / 2402 / 2403 / 2404 / 2405 / 2406 / 2407 / 2408 / 2409 / 2410 / 2411 / 2412 / 2413 / 2414 / 2415 / 2416 / 2417 / 2418 / 2419 / 2420 / 2421 / 2422 / 2423 / 2424 / 2425 / 2426 / 2427 / 2428 / 2429 / 2430 / 2431 / 2432 / 2433 / 2434 / 2435 / 2436 / 2437 / 2438 / 2439 / 2440 / 2441 / 2442 / 2443 / 2444 / 2445 / 2446 / 2447 / 2448 / 2449 / 2450 / 2451 / 2452 / 2453 / 2454 / 2455 / 2456 / 2457 / 2458 / 2459 / 2460 / 2461 / 2462 / 2463 / 2464 / 2465 / 2466 / 2467 / 2468 / 2469 / 2470 / 2471 / 2472 / 2473 / 2474 / 2475 / 2476 / 2477 / 2478 / 2479 / 2480 / 2481 / 2482 / 2483 / 2484 / 2485 / 2486 / 2487 / 2488 / 2489 / 2490 / 2491 / 2492 / 2493 / 2494 / 2495 / 2496 / 2497 / 2498 / 2499 / 2500 / 2501 / 2502 / 2503 / 2504 / 2505 / 2506 / 2507 / 2508 / 2509 / 2510 / 2511 / 2512 / 2513 / 2514 / 2515 / 2516 / 2517 / 2518 / 2519 / 2520 / 2521 / 2522 / 2523 / 2524 / 2525 / 2526 / 2527 / 2528 / 2529 / 2530 / 2531 / 2532 / 2533 / 2534 / 2535 / 2536 / 2537 / 2538 / 2539 / 2540 / 2541 / 2542 / 2543 / 2544 / 2545 / 2546 / 2547 / 2548 / 2549 / 2550 / 2551 / 2552 / 2553 / 2554 / 2555 / 2556 / 2557 / 2558 / 2559 / 2560 / 2561 / 2562 / 2563 / 2564 / 2565 / 2566 / 2567 / 2568 / 2569 / 2570 / 2571 / 2572 / 2573 / 2574 / 2575 / 2576 / 2577 / 2578 / 2579 / 2580 / 2581 / 2582 / 2583 / 2584 / 2585 / 2586 / 2587 / 2588 / 2589 / 2590 / 2591 / 2592 / 2593 / 2594 / 2595 / 2596 / 2597 / 2598 / 2599 / 2600 / 2601 / 2602 / 2603 / 2604 / 2605 / 2606 / 2607 / 2608 / 2609 / 2610 / 2611 / 2612 / 2613 / 2614 / 2615 / 2616 / 2617 / 2618 / 2619 / 2620 / 2621 / 2622 / 2623 / 2624 / 2625 / 2626 / 2627 / 2628 / 2629 / 2630 / 2631 / 2632 / 2633 / 2634 / 2635 / 2636 / 2637 / 2638 / 2639 / 2640 / 2641 / 2642 / 2643 / 2644 / 2645 / 2646 / 2647 / 2648 / 2649 / 2650 / 2651 / 2652 / 2653 / 2654 / 2655 / 2656 / 2657 / 2658 / 2659 / 2660 / 2661 / 2662 / 2663 / 2664 / 2665 / 2666 / 2667 / 2668 / 2669 / 2670 / 2671 / 2672 / 2673 / 2674 / 2675 / 2676 / 2677 / 2678 / 2679 / 2680 / 2681 / 2682 / 2683 / 2684 / 2685 / 2686 / 2687 / 2688 / 2689 / 2690 / 2691 / 2692 / 2693 / 2694 / 2695 / 2696 / 2697 / 2698 / 2699 / 2700 / 2701 / 2702 / 2703 / 2704 / 2705 / 2706 / 2707 / 2708 / 2709 / 2710 / 2711 / 2712 / 2713 / 2714 / 2715 / 2716 / 2717 / 2718 / 2719 / 2720 / 2721 / 2722 / 2723 / 2724 / 2725 / 2726 / 2727 / 2728 / 2729 / 2730 / 2731 / 2732 / 2733 / 2734 / 2735 / 2736 / 2737 / 2738 / 2739 / 2740 / 2741 / 2742 / 2743 / 2744 / 2745 / 2746 / 2747 / 2748 / 2749 / 2750 / 2751 / 2752 / 2753 / 2754 / 2755 / 2756 / 2757 / 2758 / 2759 / 2760 / 2761 / 2762 / 2763 / 2764 / 2765 / 2766 / 2767 / 2768 / 2769 / 2770 / 2771 / 2772 / 2773 / 2774 / 2775 / 2776 / 2777 / 2778 / 2779 / 2780 / 2781 / 2782 / 2783 / 2784 / 2785 / 2786 / 2787 / 2788 / 2789 / 2790 / 2791 / 2792 / 2793 / 2794 / 2795 / 2796 / 2797 / 2798 / 2799 / 2800 / 2801 / 2802 / 2803 / 2804 / 2805 / 2806 / 2807 / 2808 / 2809 / 2810 / 2811 / 2812 / 2813 / 2814 / 2815 / 2816 / 2817 / 2818 / 2819 / 2820 / 2821 / 2822 / 2823 / 2824 / 2825 / 2826 / 2827 / 2828 / 2829 / 2830 / 2831 / 2832 / 2833 / 2834 / 2835 / 2836 / 2837 / 2838 / 2839 / 2840 / 2841 / 2842 / 2843 / 2844 / 2845 / 2846 / 2847 / 2848 / 2849 / 2850 / 2851 / 2852 / 2853 / 2854 / 2855 / 2856 / 2857 / 2858 / 2859 / 2860 / 2861 / 2862 / 2863 / 2864 / 2865 / 2866 / 2867 / 2868 / 2869 / 2870 / 2871 / 2872 / 2873 / 2874 / 2875 / 2876 / 2877 / 2878 / 2879 / 2880 / 2881 / 2882 / 2883 / 2884 / 2885 / 2886 / 2887 / 2888 / 2889 / 2890 / 2891 / 2892 / 2893 / 2894 / 2895 / 2896 / 2897 / 2898 / 2899 / 2900 / 2901 / 2902 / 2903 / 2904 / 2905 / 2906 / 2907 / 2908 / 2909 / 2910 / 2911 / 2912 / 2913 / 2914 / 2915 / 2916 / 2917 / 2918 / 2919 / 2920 / 2921 / 2922 / 2923 / 2924 / 2925 / 2926 / 2927 / 2928 / 2929 / 2930 / 2931 / 2932 / 2933 / 2934 / 2935 / 2936 / 2937 / 2938 / 2939 / 2940 / 2941 / 2942 / 2943 / 2944 / 2945 / 2946 / 2947 / 2948 / 2949 / 2950 / 2951 / 2952 / 2953 / 2954 / 2955 / 2956 / 2957 / 2958 / 2959 / 2960 / 2961 / 2962 / 2963 / 2964 / 2965 / 2966 / 2967 / 2968 / 2969 / 2970 / 2971 / 2972 / 2973 / 2974 / 2975 / 2976 / 2977 / 2978 / 2979 / 2980 / 2981 / 2982 / 2983 / 2984 / 2985 / 2986 / 2987 / 2988 / 2989 / 2990 / 2991 / 2992 / 2993 / 2994 / 2995 / 2996 / 2997 / 2998 / 2999 / 3000

– Producing composite shapes by pultrusion.



© 2003 The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved. This material is intended for use only as a learning tool. It is not intended to be used as a substitute for the text or as a primary source of information.



© 2005 Intel Corp. A diagram of the manufacturing process for the Intel Pentium 4 processor. The diagram shows the process of creating a stamp for the Intel Pentium 4 processor. The stamp is created by coating a die with rubber and then pressing the die into a substrate.

COMPUESTOS EN ACCIÓN!

