



**MATERIALES CERÁMICOS**  
**MATERIALES COMPUESTOS**

**Msc. Fabio Andrés Bermejo Altamar**

Ciencia de los materiales

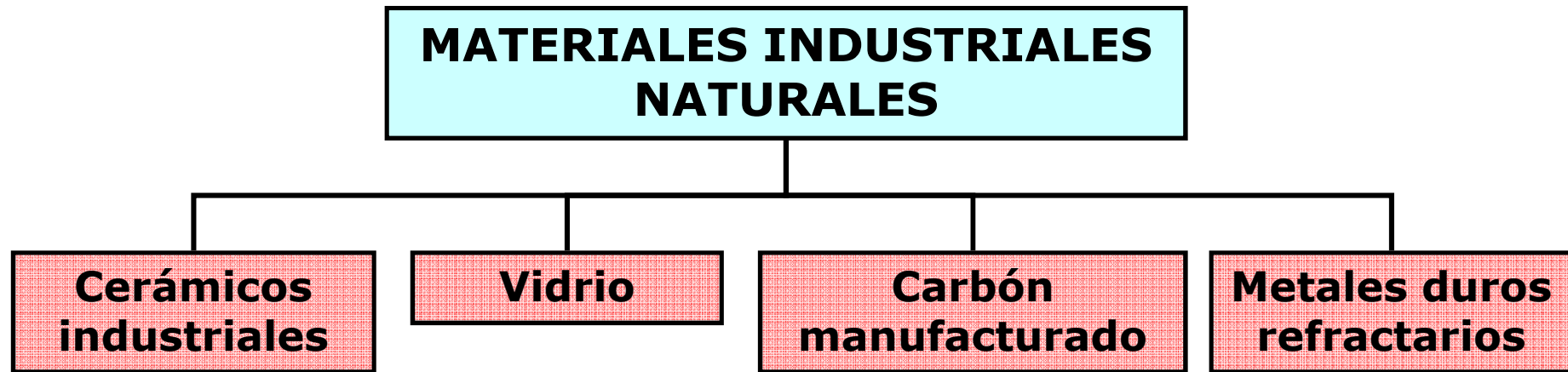
## ¿Qué son los materiales cerámicos?

Un **cerámico** es un compuesto inorgánico que consiste en un metal y uno o más no metales.

- La palabra cerámica proviene del griego **Keramos**, que significa arcilla de vasijas o trastos hechos de barro, el término en inglés es **clay**.

- Los compuestos cerámicos se caracterizan por tener enlaces iónicos y covalentes, lo que les ayuda a dar alta dureza, rigidez y temperatura de fusión.

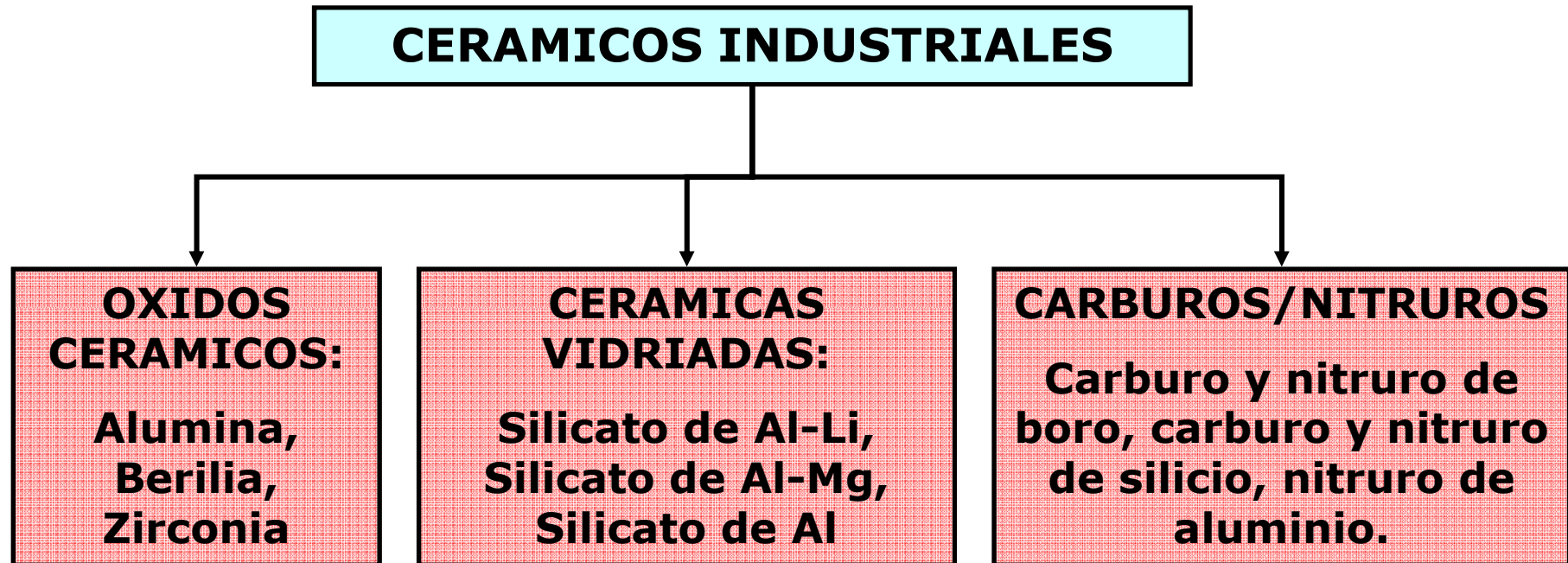
# CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES INDUSTRIALES NATURALES



# CERAMICOS INDUSTRIALES

- También conocidas como *cerámicas de ingeniería, de alta tecnología o cerámicos finos*, porque proporcionan alta resistencia a temperaturas **extremadamente altas, bajo peso, alta dureza y alta resistencia a la corrosión.**
- El costo es bajo debido a que la materia prima para hacer la cerámica es abundante en la corteza terrestre.
- Uno de los problemas con estos materiales es su **fragilidad**, sin embargo se está trabajando en mejorar su ductilidad y tenacidad.

# CLASIFICACIÓN DE LOS CERAMICOS INDUSTRIALES



# CERAMICOS INDUSTRIALES

- **OXIDOS CERAMICOS: ALUMINA**
- Es oxido de aluminio  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y es el cerámico a base de oxido de uso más amplio, ya sea en su forma pura o como materia prima para mezclarse con otros óxidos.
- Tiene una elevada dureza y se pueden utilizar hasta  $1650^\circ\text{C}$  y una resistencia moderada, buen aislante eléctrico y térmico. Las piezas hechas en este material se comprimen en frío y se sinterizan.

# CERAMICOS INDUSTRIALES

- **OXIDOS CERAMICOS: ALUMINA**
- Por sus propiedades físicas y mecánicas se utiliza como: abrasivos, bioceramicos (huesos y dientes artificiales), aislantes eléctricos, componentes electrónicos, ingredientes de aleación del vidrio, ladrillos refractarios, insertos para herramientas de corte y componentes de ingeniería.



# CERAMICOS INDUSTRIALES

- **OXIDOS CERAMICOS: ZIRCONIA**
- Es oxido de zirconio  $ZrO_2$ , de color blanco.
- Presenta una resistencia hasta de  $2200^{\circ}C$ , posee una buena tenacidad, resistencia al desgaste y a la corrosión, baja conductividad térmica.
- Las aplicaciones típicas incluyen dados para la extrusión en caliente de los metales, y las perlas de zirconia usadas como medio de esmerilado y de dispersión para recubrimientos para usos aeroespaciales, anticorrosivos, pinturas automotrices.



# CERAMICOS INDUSTRIALES

- **CERAMICOS VIDRIADOS: SILICATOS AL-Li, Al-Mg, Al**
- Están formados por microestructuras polifásicas complejas, que tienen coeficientes de expansión térmicas cercanos a cero y resistentes a la corrosión provocada por la alta temperatura.
- Se utilizan en recipientes para cocinas comerciales y domésticas, vajillas, utensilios de cocina para fuego directo y cámaras para microondas, así como en aplicaciones técnicas e industriales.
- Se producen a partir de vidrio fundido y después cristalizado por tratamiento térmico.

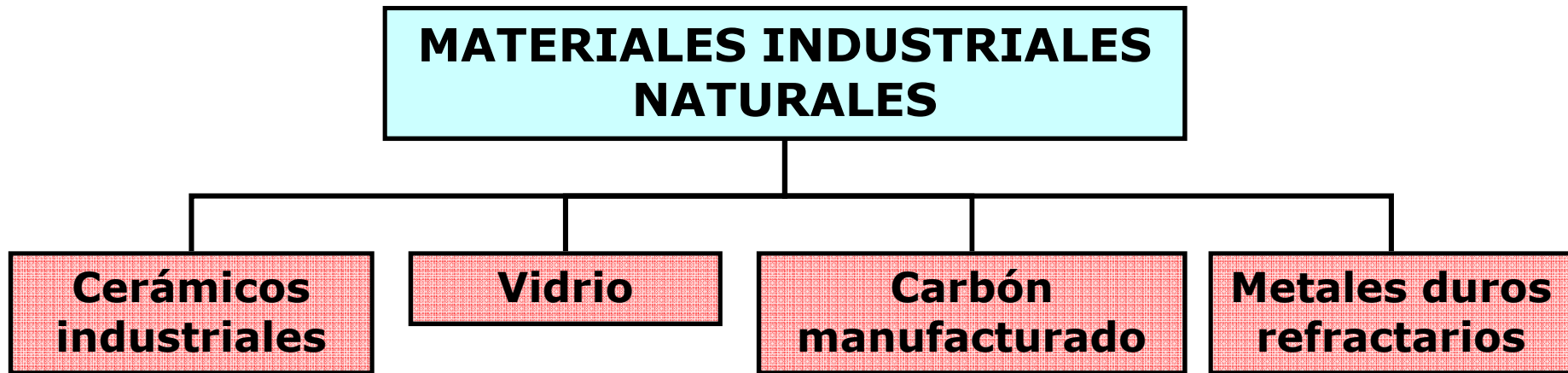
# CERAMICOS INDUSTRIALES

- **CARBUROS Y NITRUROS:** de boro, de silicio y de aluminio.
- **El carburo y nitruro de boro** tiene muy alta dureza (es la segunda sustancia más dura después del diamante) y baja densidad, se utiliza para placas blindadas a prueba de balas, herramientas de corte, por su excelente resistencia a la abrasión se utiliza como abrasivo en piedras de esmeril, boquillas de gas a presión.

# CERAMICOS INDUSTRIALES

- **CARBUROS Y NITRUROS:** de boro, de silicio y de aluminio.
- **El carburo y nitruro de silicio** tiene elevada resistencia a la termofluencia a temperaturas elevadas, una dilatación térmica baja y una conductividad térmica alta, es adecuado para componentes de alta temperatura como turbinas de gas, motores de cohete y crisoles para fundir.

# CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES INDUSTRIALES NATURALES

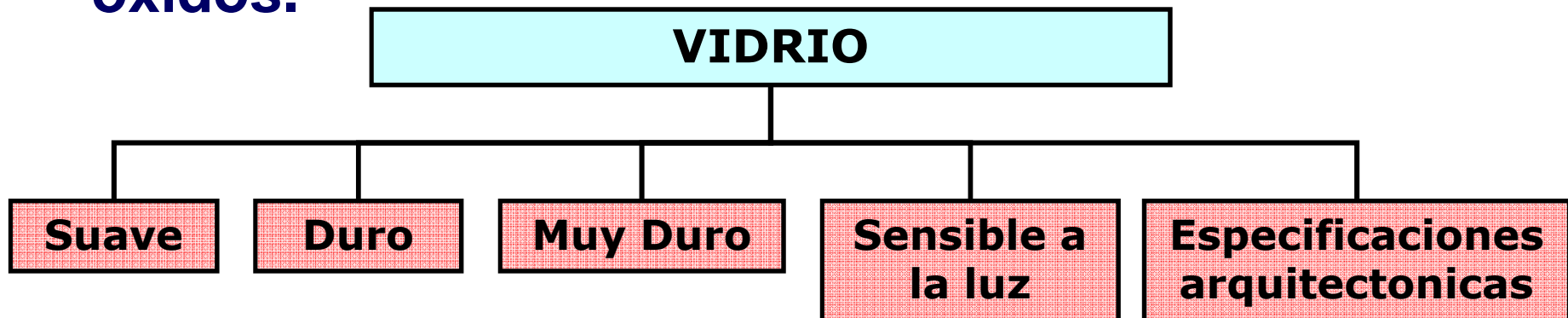


# VIDRIO

- **Es un sólido transparente amorfo (estructura atómica no cristalina) que es duro y frágil, con excelente resistencia al intemperismo y a la mayoría de los reactivos químicos, excepto el ácido hidro-fluorhídrico.**
- **El vidrio está compuesto de sílice, cal y carbonato de sodio y está organizado en tres tipos básicos: vidrio suave, vidrio duro y vidrio muy duro. También hay tres grados de vidrio sensible a la luz y vidrios arquitectónicos especiales.**

# CLASIFICACIÓN DEL VIDRIO

Todos los vidrios contienen por lo menos 50% de **sílice**, que se le conoce como *formador del vidrio*, la composición y las propiedades se pueden modificar de manera importante adicionando óxidos.



# VIDRIO SUAVE

- Se ablanda o funde a temperaturas relativamente bajas.
- **El vidrio cal-sosa** comprende casi el 90% de todo el vidrio producido, no es caro y se usa para hacer productos de alto volumen como botellas, vasos, ventanas, y bulbos para focos.
- NO es muy resistente a temperaturas altas. Cambios bruscos de temperatura o productos químicos.
- El **vidrio alcalino con plomo**, contiene monóxido de plomo y se llama así por su alto índice de refracción (no por su estructura atómica), y se utiliza para prismas y lentes ópticos. Se usa como escudo contra la radiación atómica y es mejor aislante eléctrico que los vidrios de cal sosa.

# VIDRIO DURO

- Se ablanda o funde a temperaturas relativamente altas.
- *El vidrio de borosilicato (1912)*, resiste choques térmicos y las altas temperaturas, tiene una excelente resistencia a los ácidos y al ataque químico, presentando bajo coeficiente de expansión térmica.
- Se utiliza para cafeteras domesticas y comerciales, recipientes de vidrio para hornos y para laboratorio, lentes para lámparas y otros usos de altas temperaturas.



# VIDRIO DURO

- ***El vidrio de aluminosilicato (1936)***, es más difícil de fabricar y cuesta más que el de borosilicato.
- Los vidrios de aluminosilicato contienen cerca de 55% de  $\text{SiO}_2$ , 20% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y cantidades pequeñas de  $\text{B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$  y  $\text{CaO}$ . Los contenidos elevados de alúmina y dióxido de silicio producen un vidrio de un punto elevado de fusión, que tiene mayor resistencia a las temperaturas elevadas que el de sosa y cal.
- Se utiliza en aplicaciones de alto desempeño como termómetros para alta temperatura, ventanas de vehículos espaciales y como resistores en circuitos electrónicos.

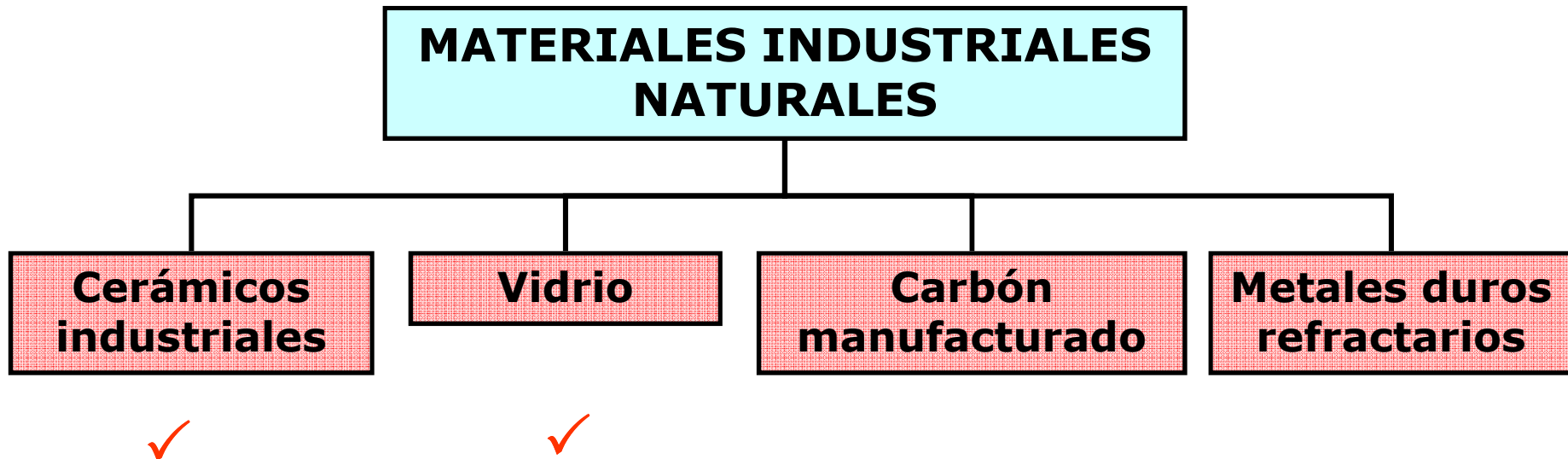
# VIDRIO MUY DURO

- Se ablanda o funde a temperaturas extremadamente altas.
- Desarrollado en 1936 es un vidrio de **96% de sílice**, sus propiedades son cercanas a las de la sílice fundida, y algunas veces se usa como sustituto en componentes ópticos y en ventanas de vehículos espaciales.
- Puede soportar el calor de la entrada a la atmósfera terrestre, razón por la cual se utiliza como recubrimiento resistente al calor del transbordador aerospacial.

# VIDRIO SENSIBLE A LA LUZ

- ***Vidrio fotocromico***: para anteojos que se oscurecen cuando se exponen a la luz solar o a la radiación ultravioleta y se aclaran cuando se retira el estímulo.
- ***Vidrio fotosensible***: cambia de claro a opalino cuando se expone a energía ultravioleta y cuando se calientan.
- ***Vidrios fotocromáticos*** (1978): se utilizan para almacenar información, objetos decorativos y otros productos y contenedores transparentes.

# CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES INDUSTRIALES NATURALES



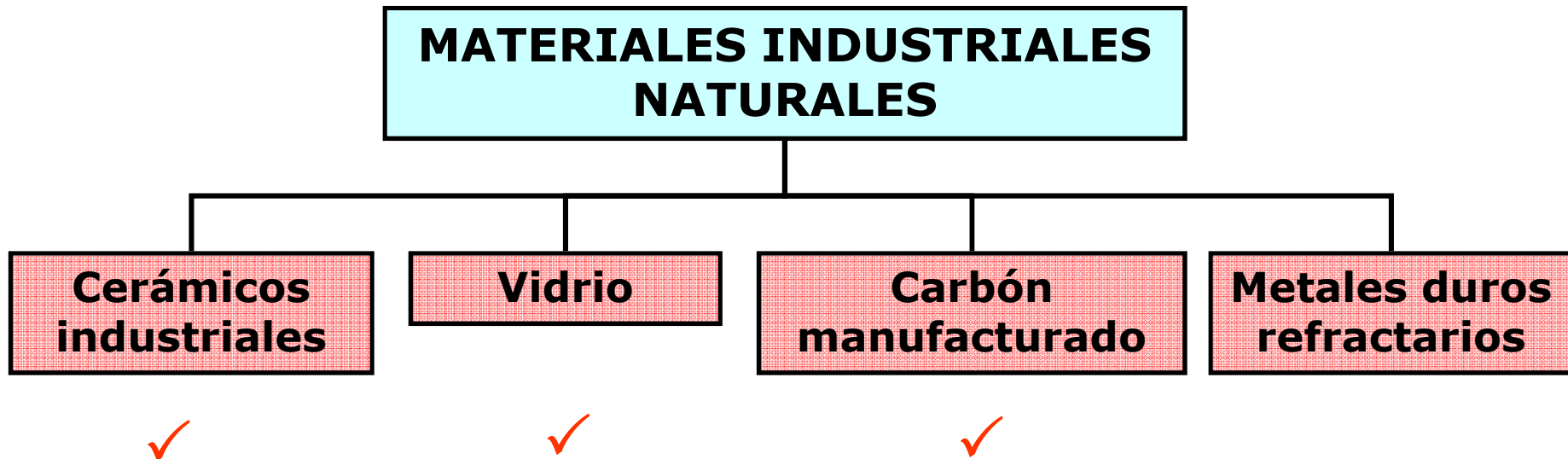
# CARBON MANUFACTURADO

- **Esta compuesto de coque y polvo de grafito unidos al carbón. El carbón tiene las siguientes aplicaciones:**
- **Buen conductor electrico y de calor.**
- **Autolubricante (se desliza sobre los metales sin rasparlos ni adherirse.**
- **Resistente a la corrosión.**
- **NO se altera por solventes, cáusticos ni la mayoría de ácidos.**
  
- **Se forma por moldeo, por compresión o por extrusión y se maquinan utilizando herramientas con punta de carburo o diamante.**

# **CARBON MANUFACTURADO**

- **APLICACIONES:**
- **Escobillas para la transferencia de la corriente eléctrica al distribuidor en los motores eléctricos.**
- **Como elemento lubricante en dispositivos mecánicos, como una amplia superficie de contacto en los sellos mecánicos y los anillos de los pistones y como revestimientos de cilindros para bombas de aire y dosificadores de líquidos.**
- **Uno de los usos más nuevos es utilizado como refuerzo en los materiales plásticos, formando materiales compuestos avanzados que son materiales más livianos que los metales.**

# CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES INDUSTRIALES NATURALES



# **METALES DUROS REFRACTARIOS**

- **Son materiales semejantes a las cerámicas hechos de partículas de carburo metálico unidas por una matriz metálica.**
- **Tienen resistencia al desgaste y durezas extremas, son más dúctiles, y tienen mayor resistencia al impacto y al choque térmico que las cerámicas, pero tienen una menor resistencia compresiva a las altas temperaturas y bajas temperaturas de operación que la mayoría de los cerámicos.**
- **Las partes se producen por los métodos de compactación de polvos y sinterización convencionales de la metalurgia de polvos.**



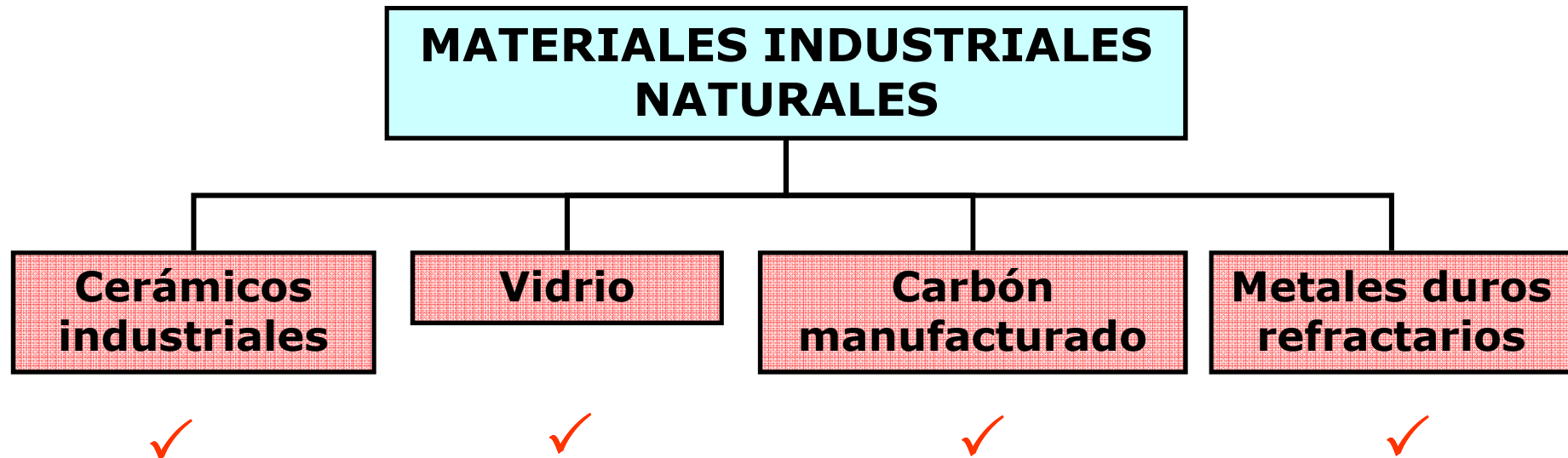
# METALES DUROS REFRACTARIOS

- Los más usados para las aplicaciones industriales son:
- ***Carburo de tungsteno***; se usa para aplicaciones que requieran resistencia al desgaste. Se utilizan en los dientes de las herramientas de corte.
- ***Carburo de tantalio y carburo de tungsteno***; adecuados para proporcionar una combinación de resistencia al desgaste y a la corrosión. Entre sus aplicaciones están las boquillas, las placas de orificios y los componentes de las válvulas.

# METALES DUROS REFRACTARIOS

- ***Carburo de titanio***; caracterizado por su alta resistencia tensil y compresiva, dureza y resistencia a la oxidación. Se usa en la soldadura de herramientas para trabajar metales, valvulas y sellos.
- ***Carburo de tungsteno-titanio***; se usa para el herramental en el conformado de metales. Los usos típicos son dados de estirado, mandriles para dar el tamaño a los tubos, rodillos de bruñido y herramientas abocinadoras.

# CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES INDUSTRIALES NATURALES



# RESUMEN MATERIALES CERAMICOS

- Varios materiales no metálicos son de gran importancia en las aplicaciones de ingeniería y en los procesos de manufactura. Los cerámicos que son compuestos de elementos metálicos y no metálicos, en general se caracterizan por una dureza elevada, una resistencia a la compresión alta, un módulo elástico elevado, una dilatación térmica baja, alta resistencia a la temperatura alta, inerte químicamente, densidad baja, y conductividad térmica y eléctrica bajas. Por otra parte son frágiles y tienen tenacidad baja. Los cerámicos nanofase están en vías de desarrollo, con mejores propiedades que los cerámicos comunes. La porosidad en los cerámicos tiene un efecto importante en sus propiedades.
- Los cerámicos se clasifican por lo general como tradicionales o industriales (de alta tecnología). Estas últimas son particularmente atractivos para aplicaciones como componentes de motores térmicos, herramientas de corte y componentes que requieren resistencia al desgaste y a la corrosión. Cerámicos importantes en el diseño y la manufactura son los cerámicos a base de óxidos (alúmina y zirconia), los carburos de tungsteno y de silicio, los nitruros y los cermets.
- Los vidrios son líquidos superenfriados; esto es, su rapidez de enfriamiento es tan elevada que no tienen el tiempo de solidificarse en una estructura cristalina. Los vidrios están disponibles en una amplia

# RESUMEN MATERIALES CERAMICOS

variedad de composiciones y de propiedades mecánicas, físicas y ópticas. Los vitrocerámicos son predominantemente cristalinos en su estructura y tienen propiedades que son más deseables que las de los vidrios.

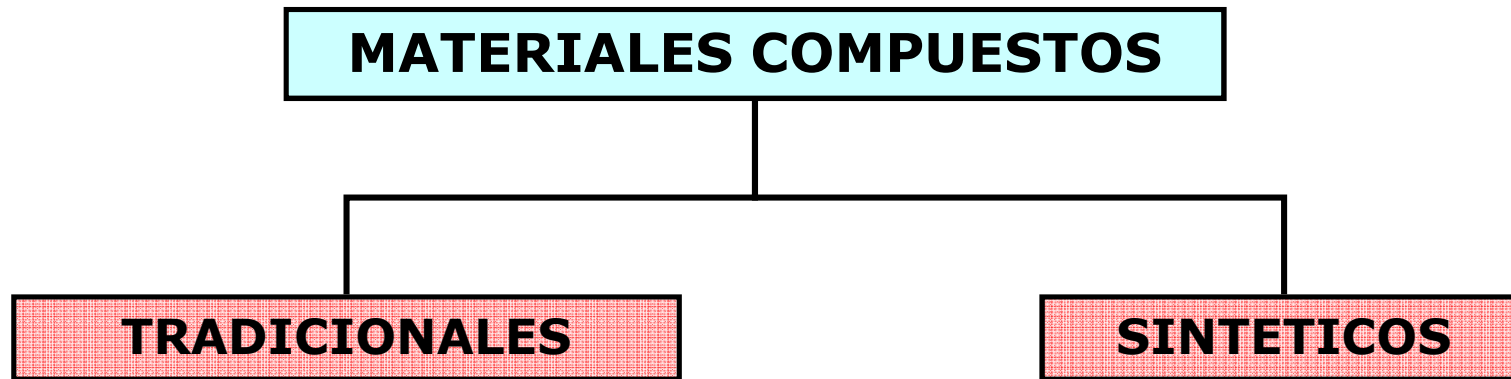
- El vidrio en volumen tiene una resistencia relativamente baja, pero los vidrios se pueden hacer más resistentes mediante tratamientos térmicos y químicos, a fin de obtener una elevada resistencia y tenacidad. Las fibras de vidrio se utilizan ampliamente como material de refuerzo en materiales compuestos como en los plásticos reforzados con fibras.
- El grafito, los fulerenos y el diamante son formas del carbono desplegando combinaciones no usuales de propiedades. Estos materiales tienen aplicaciones únicas y en desarrollo en la ingeniería y en la manufactura. El grafito tiene aplicaciones en altas temperaturas y eléctricas; las fibras de grafito se utilizan para reforzar los plásticos y otros materiales compuestos. El diamante (tanto el natural como el sintético (o industrial)) se utiliza como herramientas de corte para operaciones finas de maquinado, como dados para el estirado de alambres finos y como abrasivos para ruedas de esmeril. El carbono similar al diamante ha sido desarrollado para aplicaciones como material de recubrimiento, a fin de proporcionar una mejor resistencia al desgaste.

# ¿Qué son los materiales compuestos?

Es un sistema de materiales constituido por **dos o más fases distintas** físicamente cuya combinación producen propiedades agregadas diferentes de las de sus componentes.

- El termino **fase** indica un material homogéneo, como metal o cerámico en los que todos los granos tienen la misma estructura cristalina, o un polímero sin rellenos.

# CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES COMPUESTOS



# CLASIFICACION DE MATERIALES COMPUESTOS

**TRADICIONALES:** son aquellos que ocurren en la naturaleza o que han sido producidos por civilizaciones durante muchos años, ejemplo: la madera, el concreto, el asfalto mezclado con grava.

**SINTETICOS:** son aquellos en los que los componentes se producen por separados y después se combinan de manera controlada para alcanzar la estructura, propiedades y forma de la pieza deseada.

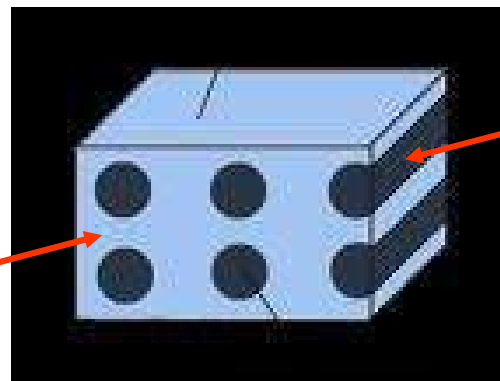


# COMPONENTES DE UN MATERIAL COMPUESTO SINTETICO

**MATRIZ:** conocida como la fase primaria y es la que contiene la fase secundaria.

**AGENTE REFORZADOR:** conocido como la fase secundaria y es aquel material que sirve para reforzar el compuesto.

Matriz



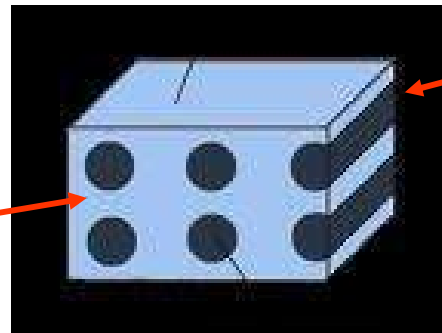
Agente  
reforzador



# FUNCIONES DE LA MATRIZ

1. Proporciona la forma general de la pieza o producto hecho del material compuesto.
2. Mantiene la fase secundaria incrustada en su lugar, por lo general la encierra y con frecuencia la oculta.
3. Comparte la carga con la fase secundaria, y en ciertos casos se deforma de modo que la fuerza la soporta en esencia el agente reforzador.

Matriz



Agente reforzador

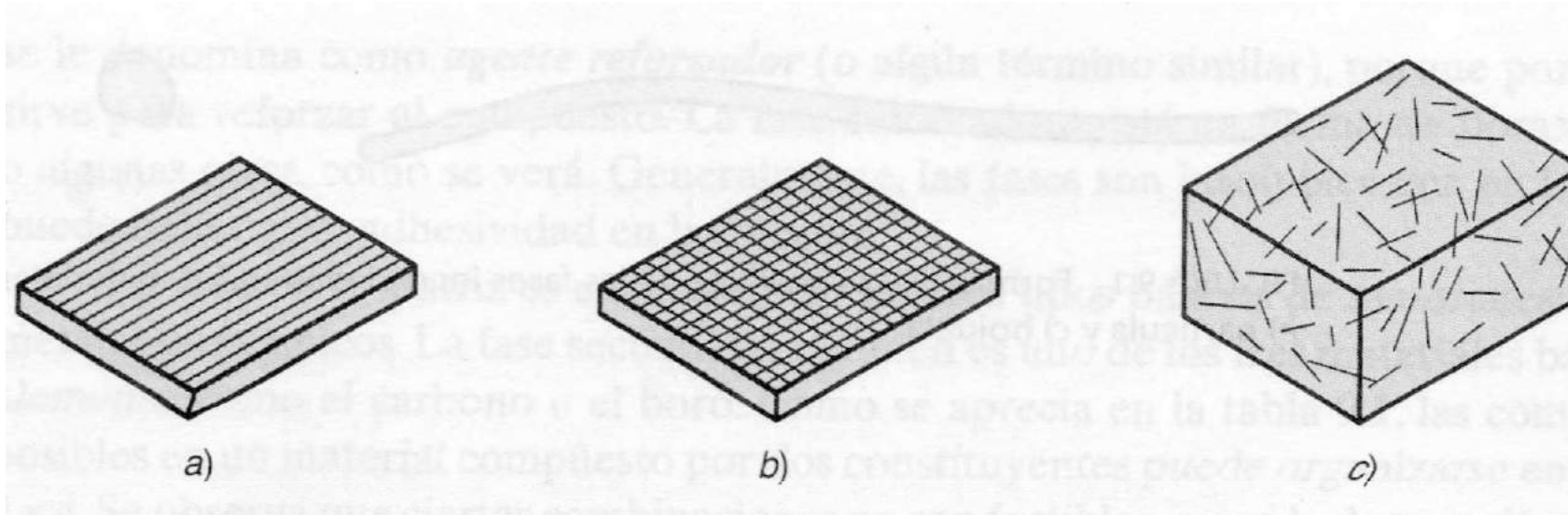
# FORMAS DEL AGENTE REFORZADOR

- 1. Fibras:** son filamentos de material de refuerzo, por lo general de sección circular, pero también las hay tubular, rectangular, hexagonal, etc. Los diámetros varían de menos de 0,0025 mm hasta 0.13 mm. Pueden ser continuas o discontinuas; las primeras son seccionas cortadas de las segundas y su relación  $L/D=100$ , y son denominados filamentos.
- 2. Partículas:** son aproximadamente de forma esferoidal y el tamaño varia entre el microscópico (hasta  $1 \mu\text{m}$ ) y macroscopio, generan materiales compuestos isotrópicos.

# FORMAS DEL AGENTE REFORZADOR

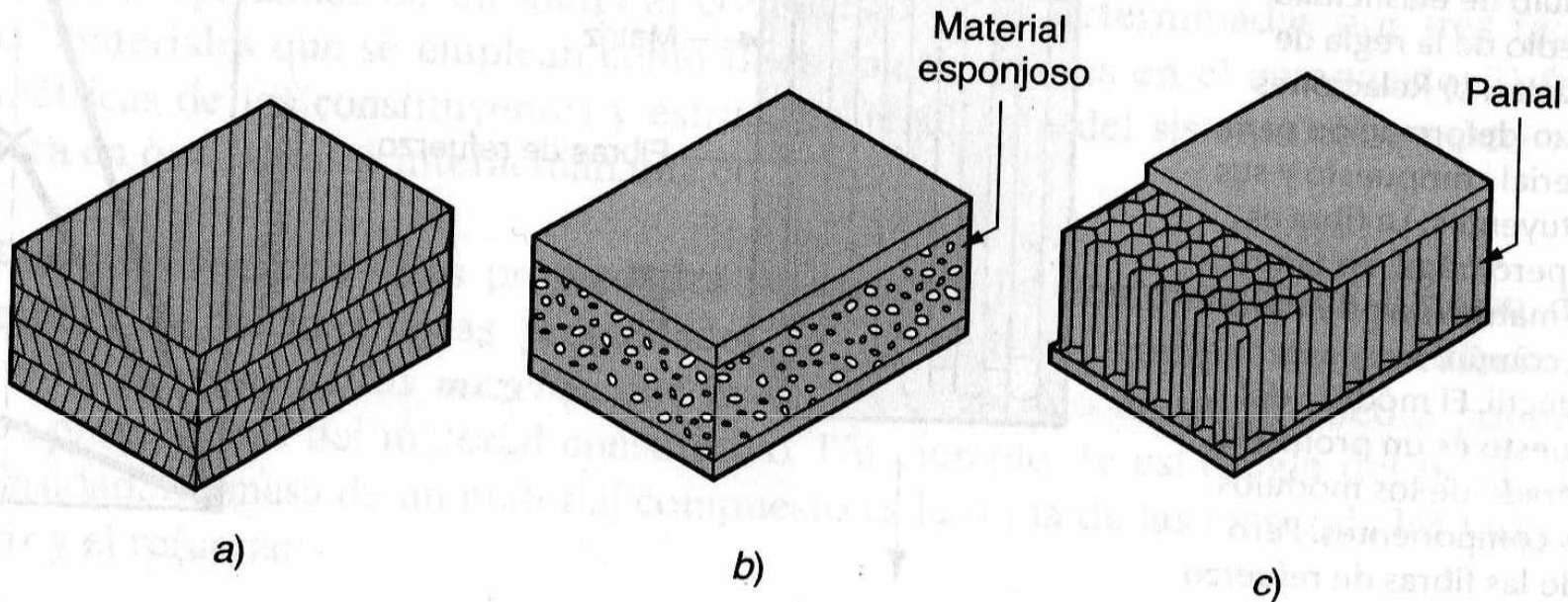
- 3. Hojuelas:** son básicamente partículas bidimensionales, plaquetas planas y pequeñas, que se usan como agentes reforzadores de plásticos. Por lo general los tamaños de las plaquetas están en el rango de los 0.01 a 1 mm en su sección transversal, con espesor de 0.001 a 0.005 mm.
- 4. Fase infiltrada:** ocurre cuando la matriz tiene la forma de esqueleto poroso (como esponja) y la segunda fase tan solo es un relleno.

# ORIENTACIÓN DE LAS FIBRAS



- a) Refuerzo unidimensional
- b) Refuerzo plano
- c) Al azar o tridimensional

# OTRAS ESTRUCTURAS COMPUESTAS



a) Estructura compuesta laminar

b) Estructura emparedado con material esponjoso

c) Estructura emparedado con material en forma de panel

TABLA 9.3 Ejemplos de estructuras compuestas laminares.

Compuesto laminar	Descripción (consúltese el texto, si fuera aplicable)
Llantas de automóvil	Una llanta consiste en capas múltiples unidas; las capas son materiales compuestos (caucho reforzado con negro de humo), y los refuerzos consisten de tejidos impregnados de caucho (véase el capítulo 14).
Emparedado de panal	Una estructura ligera de panal está unida por ambas caras a láminas delgadas, como se aprecia en la figura 9.7c).
FRP	Los paneles de plástico de capas múltiples reforzados con fibra se emplean en los aviones, paneles de carrocerías automotrices y cascos de embarcaciones (véase el capítulo 15).
Triplay	Las hojas alternantes de madera están unidas con orientaciones y aislamientos diferentes para mejorar su resistencia.
Tarjetas de circuitos impresos	Se utilizan capas de cobre y plástico reforzado para la conducción y aislamiento eléctricos, respectivamente (véase la sección 36.2).
Esquí para nieve	Los esquís son estructuras compuestas laminares que consisten en capas múltiples de metales, tablero de partículas y plástico fenólico.
Parabrisas	Consiste en dos capas de vidrio a cada lado de una hoja de plástico rígido (véase la sección 12.3).

# PROPIEDADES DE UN MATERIAL COMPUESTO

Las propiedades están determinadas por tres factores:

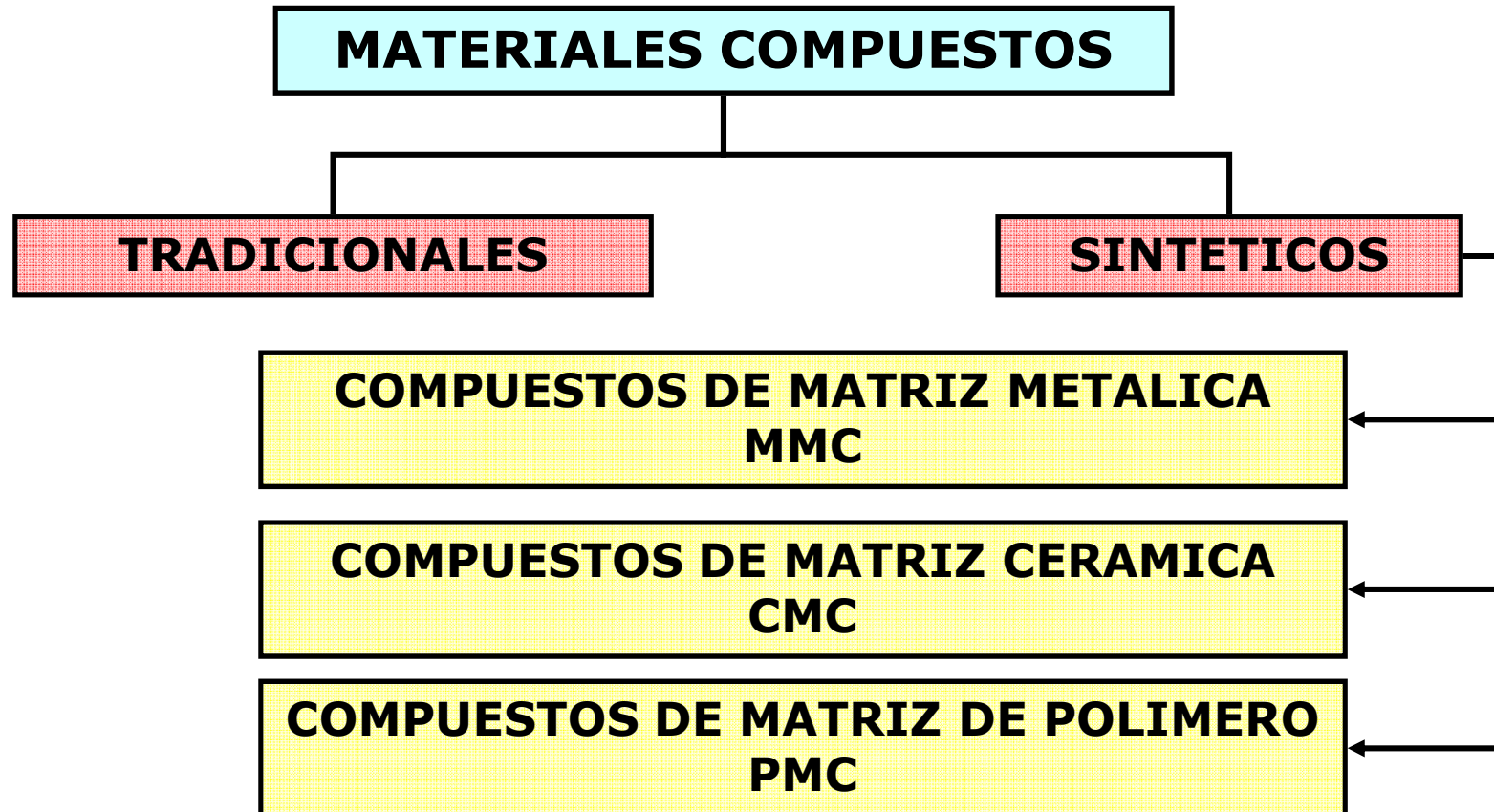
- Los materiales que se emplean como fases constituyentes en el compuesto.
- Formas geométricas de los constituyentes y estructura resultante del sistema compuesto.
- La manera en que las fases interactúan una con otra.

**Regla de las mezclas:** involucra el cálculo de un promedio ponderado de las propiedades del material constitutivo.

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_r \rho_r$$



# CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES COMPUESTOS SINTETICOS



# COMBINACIONES POSIBLES DE MATERIALES COMPUESTOS SINTETICOS

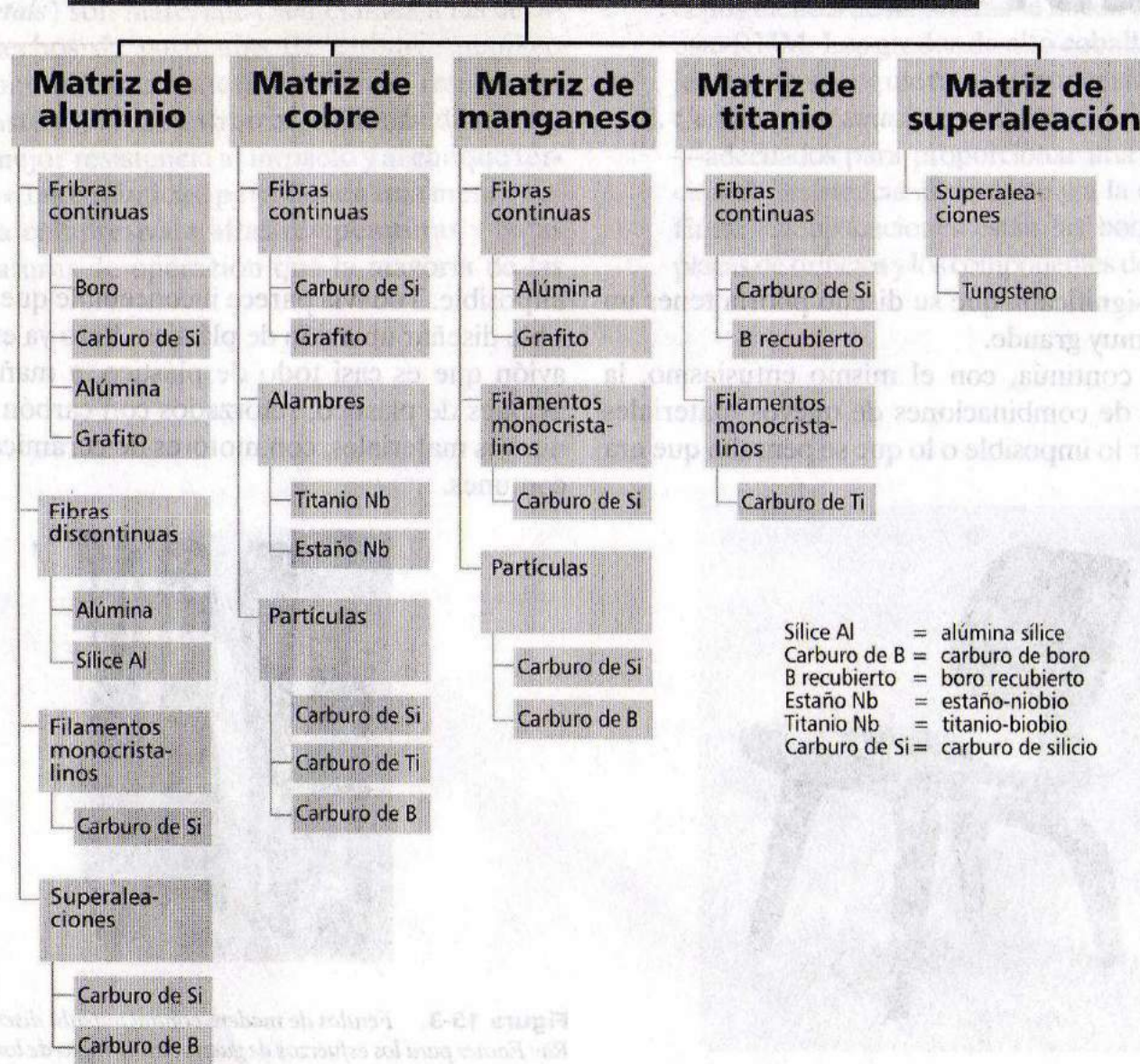
TABLA 9.1 Combinaciones posibles de materiales compuestos de dos constituyentes.

Fase secundaria (refuerzo)	Fase primaria (matriz)		
	Metal	Cerámico	Polímero
Metal	Piezas con polvo metálico infiltradas con un segundo metal	NA	Compuestos de plástico moldeado Llantas radiales con cinturones de acero
Cerámico	Cermets <sup>a</sup>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> reforzado con filamentos de SiC	Compuestos de plástico moldeado Plástico reforzado con fibras de vidrio
Polímero	Piezas con polvo metálico impregnadas con polímero	NA	Compuestos de plástico moldeado Epóxico reforzado con Kevlar
Elementos (C, B)	Metales reforzados con fibras	NA	Caucho con negro de humo Plástico reforzado con fibra B o C

NA = no se aplica actualmente.

<sup>a</sup> Las cermets incluyen carburos cementados.

# Compuestos de matriz-metal (MMC)



Sílice Al = alúmina sílice  
 Carburo de B = carburo de boro  
 B recubierto = boro recubierto  
 Estaño Nb = estaño-niobio  
 Titanio Nb = titanio-niobio  
 Carburo de Si = carburo de silicio

Figura 15-4. Carta de compuestos de matriz metálica.

# **VENTAJAS DE LOS MMC COMPARADO CON METALES**

## **Mejor:**

**Resistencia a la fatiga**

**Propiedades a temperaturas elevadas**

**Resistencia al desgaste.**

## **Mayor:**

**Resistencia mecánica**

**Relaciones resistencia a densidad**

**Relaciones rigidez a densidad**

## **Menor:**

**Tasa de creep**

**Coefficientes de expansión térmica**

# **DESVENTAJAS DE LOS MMC COMPARADO CON METALES**

**Mayor costo de algunos sistemas de materiales.**

**Tecnología relativamente inmadura**

**Métodos complejos de fabricación para sistemas reforzados con fibras.**

# Compuestos de matriz termoplástica

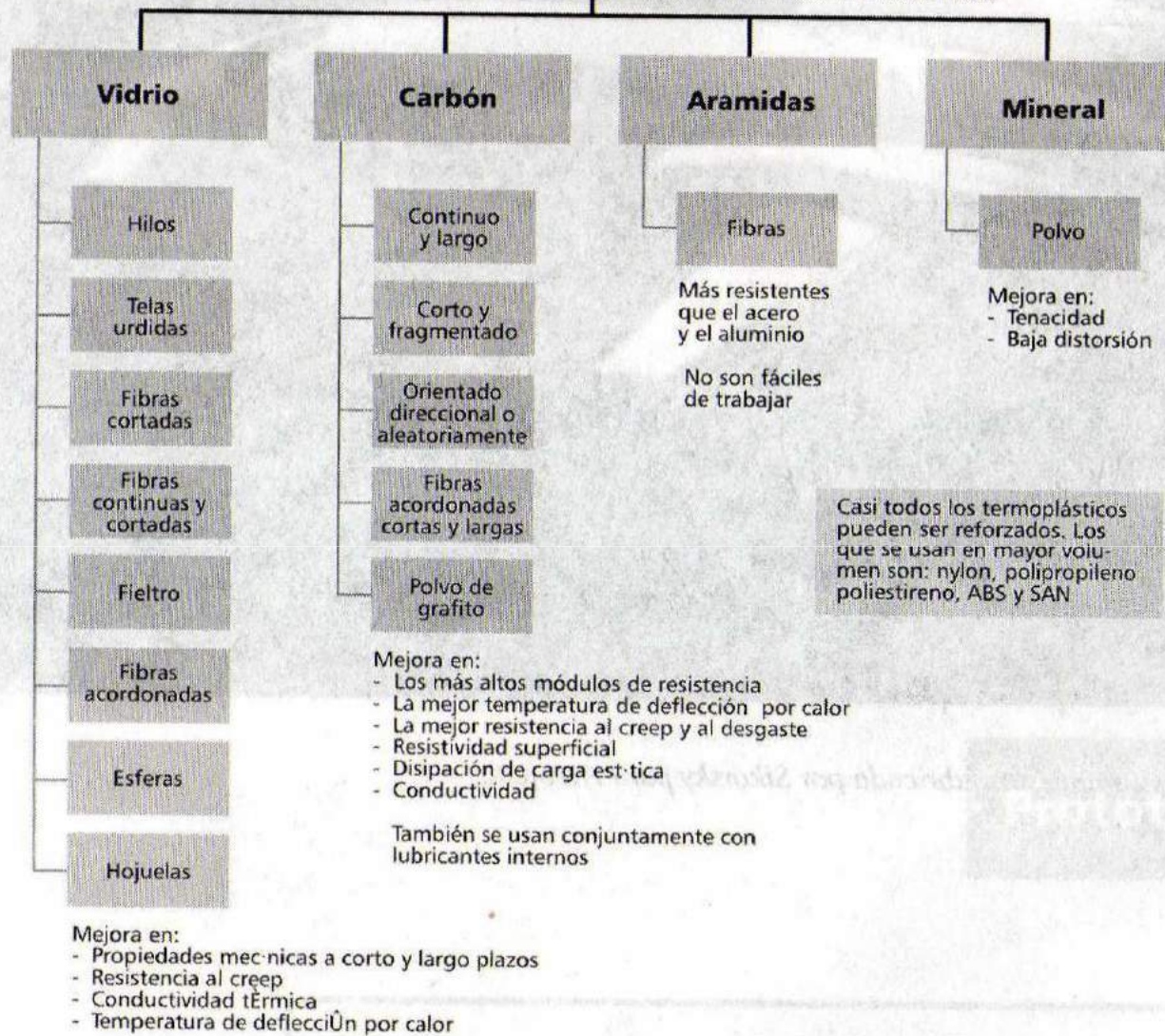
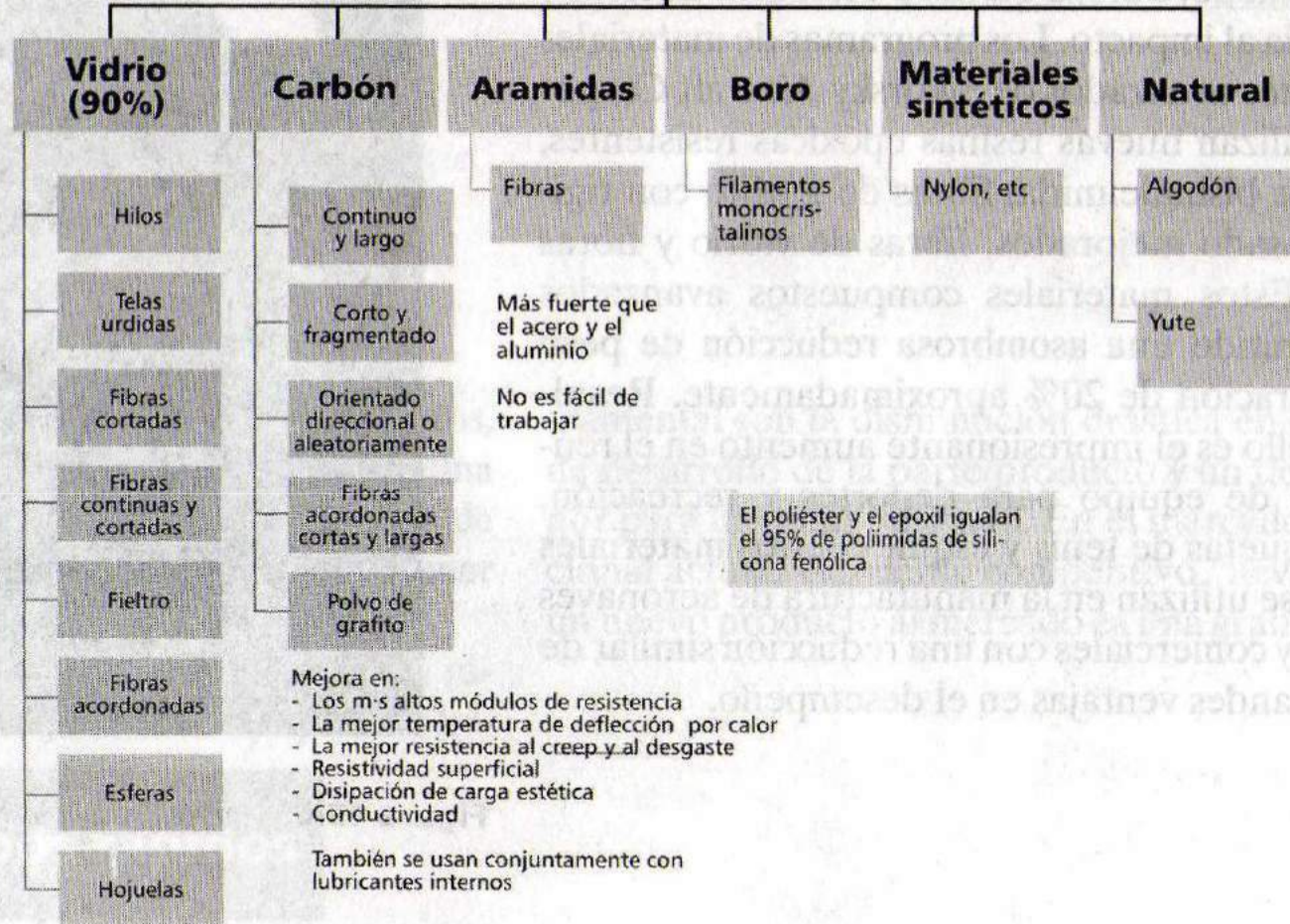


Figura 15-5. Carta de compuestos de matriz polimérica.

# Compuestos de matriz termofija



El poliéster y el epoxil igualan el 95% de poliimidas de silicóna fenólica

- Mejora en:
- Propiedades mecánicas a corto y largo plazos
  - Resistencia al creep
  - Conductividad térmica
  - Temperatura de deflexión por calor

# RESUMEN MATERIALES COMPUESTOS

- Los composites son una clase importante de materiales que tienen numerosas propiedades atractivas. Tres clases principales son los plásticos reforzados con fibra, los composites de matriz metálica y los de matriz cerámica. Tienen un amplio abanico de aplicaciones en las industrias aérea, aeroespacial y del transporte, en artículos deportivos y como componentes estructurales.
- En los plásticos reforzados las fibras están hechas usualmente de vidrio, grafito, aramidas o boro, sirviendo por lo común los poliésteres y los epóxicos como material de la matriz. Estos composites tienen una tenacidad y relaciones resistencia a peso y rigidez a peso particularmente altas.
- En los composites de matriz metálica las fibras están hechas de grafito, boro, óxido de aluminio, carburo de silicio, molibdeno o tungsteno; los materiales de la matriz incluyen el aluminio, aluminio-litio, el magnesio, el cobre, titanio y las superaleaciones.
- Para los composites de matriz cerámica, las fibras son usualmente de carbono y óxido de aluminio y los materiales de la matriz son de carburo de silicio, nitruro de silicio, óxido de aluminio, carbono o mulita (un compuesto de aluminio, silicio y oxígeno).
- Además del tipo y calidad de los materiales utilizados, son factores de importancia en la estructura de los materiales composites el tamaño y longitud de las fibras, su porcentaje volumétrico en relación con el de la matriz, la resistencia de la unión en la interfaz fibra/matriz y la orientación de las fibras dentro de la matriz.