

8 MATERIALES CERÁMICOS

El último grupo base de clasificación de los materiales, es el de los materiales cerámicos. Un material cerámico es un compuesto inorgánico que consiste en un metal y uno o más no metales. La importancia de este grupo de materiales radica además de su abundancia en la naturaleza, en sus propiedades físicas y mecánicas producto del extenso número posible de combinaciones de los diferentes metales y no metales.

En este capítulo se tratarán los diferentes subgrupos que conforman a los materiales cerámicos, desde el punto de vista de su estructura, comportamiento, propiedades y aplicaciones

En general, este grupo de materiales poseen características y/o propiedades diferentes respecto a los anteriormente vistos, estas son: propiedades de aislantes termoelectrónicos, alta dureza, alto punto de fusión, estabilidad química y en algunos casos como el vidrio, propiedad de transparencia. En la **Tabla 34** se muestra un cuadro comparativo de algunas características de los materiales metálicos y cerámicos.

CARACTERÍSTICAS	METALES	CERAMICOS
Elementos presentes	Un solo metal o fases metálicas con enlaces metálicos	Metálicos y no metálicos con enlace iónicos y/o covalentes
Disposición de los átomos	Disposición regular en planos de empaquetamiento compactos que conducen a que ocurra deslizamiento debido a esfuerzos aplicados, presentándose ductilidad	la disposición regular de los átomos determina la vía de fractura y de la ruptura. El plano de de la fractura esta íntimamente relacionado con la forma en que están colocados los planos de los átomos, lo que conlleva a una ruptura frágil.
Resistencia a la corrosión	Baja resistencia a la corrosión en comparación con los cerámicos	Alta resistencia al corrosión
Punto de fusión	Temperaturas de fusión inferiores a la de los cerámicos	Temperaturas de fusión entre 1600 °C y 4000°C
Rigidez	Material ductil	Material frágil de bajo peso

Tabla 1. Comparación de ciertas características entre materiales metálicos y cerámicos

Estos materiales fueron usados por primera vez por el hombre en aplicaciones como ladrillos y en la alfarería. Las aplicaciones actuales en diferentes sectores como el biomédico, químico, eléctrico, automotriz, etc., ha hecho que estos materiales adquieran cierta importancia en campo de la ingeniería.

Los materiales cerámicos pueden dividirse en tres categorías. Cerámicos tradicionales, dentro de los cuales se encuentran la arcilla, la sílice y el feldespato; aplicaciones de estos generalmente son ladrillo, tejas, lijas, utensilios de cocina y abrasivos; los cerámicos de ingeniería o nuevos cerámicos como también se les llama, dentro de los cuales se encuentran entre otros el oxido de aluminio, los nitruros y los carburos que son materiales usados en componentes para turbinas, intercambiadores de calor, ladrillos refractarios, herramientas para cortar metales y por ultimo se encuentran los vidrios cuya base es la sílice (SiO_2)

8.1 ENLACES Y ESTRUCTURAS DE MATERIALES CERÁMICOS

Se caracterizan por tener enlace covalente y iónico; enlace que es mas fuerte que el enlace metálico y son la causa de su dureza y tenacidad, la forma de sujeción de los electrones en las moléculas de estos elementos hacen que posean altas temperaturas de fusión y sean pobres conductores eléctricos y térmicos. Es decir contrario a los metales por el tipo de enlace metálico que proporciona electrones libres que hacen que estos sean buenos conductores, en los materiales cerámicos no existe esa nube de electrones, por lo tanto no son buenos conductores. En la [tabla 35](#), se muestra un paralelo entre la influencia del enlace ionico y el enlace covalente (polímeros) en las propiedades de un material.

ENLACE IONICO	ENLACE COVALENTE
Un atomo donador y otro aceptor	Comparticion de electrones
Electronegatividades de los atomos muy diferentes	Electronegatividades similares
Estructuras compactas	Estrcutras no compactas
Enlace no direccional	Enlace direccional
Conductividad electrica baja	A menudo poseen expansion termica baja

Tabla 2. Paralelo entre enlaces de Metales y Cerámicos

Para estos materiales en cuanto a su estructura, puede afirmarse que es más compleja debido a que sus estructuras están basadas en iones y no en átomos (como los metales), poseen diferentes cargas (por lo que son iones) y las cargas iónicas son también diferentes para cada material cerámico (por ejemplo la sílice diferente del aluminio).

Estos materiales al igual que los metales y en cierta medida con los polímeros también poseen estructura cristalina y estructura amorfa producto de un rápido enfriamiento después de estar por encima del punto de fusión este tipo de materiales cerámicos amorfos reciben el nombre de vidrios, que serán explicados más adelante.

Al considerar el enlace iónico como clave en la generación de las diferentes propiedades de estos materiales cabe mencionar que por lo tanto en este enlace existe un anión o ión con carga eléctrica negativa producto de la ganancia de electrones externos y un catión o ión de carga positiva producto de la pérdida de electrones externos.

8.2 CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES CERÁMICOS

Este grupo de materiales se divide en tres grupos: los materiales cerámicos tradicionales, los cerámicos de ingeniería y los vidrios.

8.2.1 Cerámicos Tradicionales

Este grupo de materiales se basan principalmente en la sílice, el feldespato y arcilla. Estos compuestos sólidos y cristalinos fueron formados en la corteza terrestre hace millones de años.

8.2.1.1 Arcillas

Son las materias primas más usadas en productos de este estilo, están básicamente hechas alumina y sílice (silicatos de aluminio) en diversas

proporciones, con la presencia de impurezas tales como óxido férrico (el cual le da color rojo), óxido de manganeso, potasa, magnesio y cal. Dentro de este grupo de arcillas el caolín o Kaolinita $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ (arcilla blanca formada principalmente por alúmina y sílice) se utiliza para fabricar utensilios de barro, de porcelana fina, de diferentes tipos de ladrillos. En la [tabla 37](#), se muestran las composiciones químicas de varias arcillas industriales.

Tipo de arcilla	Porcentajes en peso de los óxidos principales									Pérdida por ignición
	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	H_2O	
Caolín	37.4	45.5	1.68	1.30	0.004	0.03	0.011	0.005	13.9	
Arcilla de bola de Tennessee	30.9	54.0	0.74	1.50	0.14	0.20	0.45	0.72	...	11.4
Arcilla de bola de Kentucky	32.0	51.7	0.90	1.52	0.21	0.19	0.38	0.89	...	12.3

Tabla 3. Composición química de algunas arcillas [Fuente: Smith, 2004]

8.2.1.2 Sílice SiO_2

Es el principal componente del vidrio, se encuentra en la naturaleza en varias formas como mineral de cuarzo. Este último contiene más del 97% de sílice, como características es de alta dureza, incoloro, transparente, piezoeléctrico y piroeléctrico. Su principal aplicación es en las industrias del vidrio, de los abrasivos y de los materiales refractarios por propiedades como alta resistencia térmica y dureza.

8.2.1.3 El Feldespato

Corresponde este término a una familia de minerales, es decir, a cualquier mineral cristalino de varias clases que consiste en silicato de aluminio combinado con potasio, sodio, calcio y bario, los cuales constituyen más del 50% de la composición mineral de las rocas eruptivas.

Esta familia de minerales es usada como fundente en el sector de la cerámica y, en particular, en la fabricación de baldosas, artefactos sanitarios y esmaltes. En el

proceso de fabricación del vidrio actúa como aportador de Al_2O_3 y Na_2O , con lo cual se reduce el uso de soda y de alúmina. Finalmente este material junto con la sílice son esenciales en el tratamiento de vitrificación de productos sanitarios o porcelana china entre otros.

8.2.2 Cerámicos de Ingeniería

A este grupo pertenecen los materiales que se han desarrollado sintéticamente en las últimas décadas con el fin de facilitar aplicaciones diversas de uso industrial.

8.2.2.1 Óxidos metálicos.

Dentro de este grupo el más importante es la alumina (Al_2O_3) que se obtiene sintéticamente a partir del mineral Bauxita $\text{Al}(\text{OH})_3$. Posee propiedades como elevada dureza, resistencia a la abrasión, elevada resistividad eléctrica y térmica que los hacen susceptibles en aplicaciones como abrasivos (rueda esmeril), aislantes eléctricos, componentes electrónicos, aplicaciones biomédicas e ingredientes biocerámicos (huesos y dientes artificiales).

8.2.2.2 Carburos

Este grupo de cerámicos poseen propiedades como elevada resistencia a temperaturas altas, alta dureza, abrasivos, resistente al desgaste y a la corrosión que los hacen aplicables en sellos mecánicos, ejes de rodamientos y bombas, toberas, válvulas, rodamientos, medios de molienda y pulido, Intercambiadores de calor, ventiladores, elementos calefactores, herramientas de corte, ingredientes en cermets. Dentro de este grupo se encuentran el carburo de silicio (SiC), el carburo de tungsteno (WC) y el carburo de Boro (B_4C).

Uno de los principales carburos, el carburo de boro (B_4C) posee propiedades de alta dureza y baja densidad lo que permite su uso como blindaje nuclear, donde además se requiere excelente resistencia a la abrasión, como parte en placas blindadas.

El carburo de silicio (SiC) tiene una alta resistencia a la oxidación a elevadas temperaturas. Por lo general es usado en recubrimiento para metales, para compuestos de carbono y otros cerámicos a temperaturas extremas.

Por último el carburo de tungsteno (WC), consiste en partículas de carburo de tungsteno, con cobalto actuando como aglutinante; la proporción en que este se añade al carburo influye en las propiedades como la tenacidad, la cual aumenta y disminuye propiedades como dureza, resistencia a tensión y al desgaste.

8.2.2.3 Nitruros

Dentro de este grupo se encuentran el nitruro de silicio (Si₃N₄), el nitruro de boro (BN), el nitruro de titanio (TiN) y el nitruro de aluminio.

El nitruro de silicio (Si₃N₄), es el más importante de este grupo de materiales, posee alta resistencia a la termofluencia a temperaturas elevadas, alta conductividad térmica y baja dilatación térmica. Dentro de sus aplicaciones debido a sus propiedades se encuentran: componentes de motores automotrices y de turbina de gas, motores de cohetes y crisoles para fundición, que resistan altas temperaturas, con propiedades de resistencia al desgaste usados en ruedas abrasivas.

El nitruto de titanio, es usado ampliamente como recubrimiento de herramientas de corte debido a sus propiedades de baja fricción. El nitruro de boro posee buenas características abrasivas de baja fricción y debido a estas su uso por lo general son herramientas de corte y discos abrasivos para esmerilado. Por último el nitruro de aluminio proporciona un buen aislante eléctrico, pero tiene alta conductividad térmica. Dado que su coeficiente de expansión térmica es similar al del silicio. Este material es un sustituto adecuado de la alumina como material de sustrato para circuitos integrados.

En la **tabla 38**, se resumen los principales materiales ceramicos con sus principales carateristicas y propiedades.

Tipo	Características generales
Cerámicos a base de óxido	
Alúmina	Alta dureza y resistencia moderada; el cerámico más utilizado; herramientas de corte; abrasivos; aislamiento eléctrico y térmico.
Zirconia	Alta resistencia y tenacidad; dilatación térmica aproximada a la del hierro fundido; apropiada para aplicaciones de alta temperatura.
Carburos	
Carburo de tungsteno	La dureza, resistencia y resistencia al desgaste dependen del contenido del aglutinante de cobalto; utilizado comúnmente para matrices y herramientas de corte.
Carburo de titanio	No tan tenaz como el carburo de tungsteno; tiene níquel y molibdeno como aglutinante; utilizado como herramienta de corte.
Carburo de silicio	Resistencia a altas temperaturas y resistencia al desgaste; utilizado para motores térmicos y como abrasivo.
Nitruros	
Nitruro de boro cúbico	Segunda sustancia más dura conocida, después del diamante; utilizada como abrasivo y herramienta de corte.
Nitruro de titanio	De color dorado; utilizado como recubrimiento debido a sus características de baja fricción.
Nitruro de silicio	Alta resistencia a la termofluencia e impacto térmico; utilizado en aplicaciones de alta temperatura.
Sialón	Consiste en nitruros de silicio y otros óxidos y carburos; utilizado como herramienta de corte.
Cermets	Constan de óxidos, carburos y nitruros; utilizado en aplicaciones de alta temperatura.
Sílice	Resistencia a altas temperaturas; el cuarzo presenta efecto piezoeléctrico; los silicatos que contienen varios óxidos se utilizan en aplicaciones no estructurales de alta temperatura.
Vidrios	Contienen por lo menos 50% de sílice; estructuras amorfas; varios tipos disponibles con una amplia gama de propiedades mecánicas y físicas.
Cerámicos vidriados	Tienen un alto componente cristalino en su estructura; buena resistencia al choque térmico y resistentes.
Grafito	Forma cristalina de carbono; alta conductividad eléctrica y térmica; buena resistencia al choque térmico.
Diamante	La sustancia más dura conocida; disponible en forma monocristalina o policristalina; utilizado como herramienta de corte y abrasivo y en matrices para estirado de alambre fino.

Tabla 4. Tipos y carateristicas generales de lo ceramicos [Fuente: Kalpakjian, 2007]

8.2.3 Vidrio

El vidrio es un material duro, frágil y transparente que tiene una estructura amorfa (no cristalina) adquirida ebido a un enfriamiento rapido desde el punto de fusion (alrededor de 1500°C). Por ser un compuesto inorgánico, no metálico se encuentra en este grupo de los materiales ceramicos.

8.2.3.1 Composicion quimica

El principal ingrediente en casi todos los vidrios es la sílice (SiO_2) que en su forma cristalina, es una red tridimensional de enlace covalente en donde cada ion oxígeno se une con dos iones de silicio; por lo tanto podría suponerse que el vidrio es realmente un polímero $(\text{SiO}_2)_n$.

En el proceso de fabricación del vidrio, existen otros óxidos que tienen entre otras de sus funciones romper la red vítrea llamados modificadores de red, los cuales son óxidos alcalinoterreos como CaO , MgO , BeO , TiO_2 , que pueden despolimerizar el vidrio al descomponer los enlaces O-Si-O dando origen a los diferentes tipos de vidrio como se muestra en la [figura 148](#). Cada uno de los óxidos modificadores agregados a la sílice (SiO_2), cumple como función: promover la fusión durante el calentamiento, incrementar la resistencia química, retardar la tendencia a cristalizar desde el estado vítreo, darle color y modificar las propiedades ópticas.

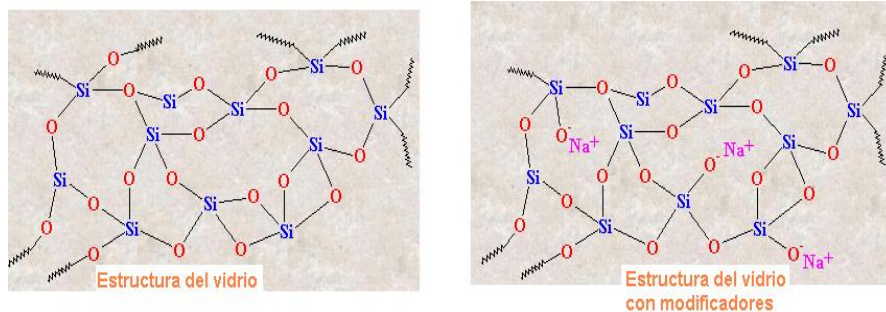


Figura 1. Estructuras del vidrio de sílice y del vidrio de sílice con óxidos modificadores

El ingrediente básico de muchos vidrios es la sílice. Cuando es fundido, el vidrio tiene una composición que es una compleja mezcla de óxidos (mencionados anteriormente) y la estructura es bastante compleja. Otros vidrios están hechos por la variación de la cantidad de sílice (SiO_2) y por la adición de otros óxidos ácidos. En las [tablas 40 y 41](#), se muestran respectivamente, las composiciones de algunos tipos importantes de vidrio y algunos vidrios comerciales con sus respectivas propiedades.

Vidrio	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Otros	Observaciones
1. Sílice (fundido)	99.5+							Difícil de fundir y fabricar, pero puede usarse a 1 000°C. Muy baja expansión y alta resistencia al choque térmico.
2. Sílice 96%	96.3	<0.2	<0.2		2.9	0.4		Fabricado de vidrio de borosilicato relativamente blando; con calor se separan las fases de SiO ₂ y B ₂ O ₃ ; con calor se consolidan los poros.
3. Soda-cal: lámina de vidrio	71-73	12-14		10-12		0.5-1.5	MgO, 1-4	Se fabrica con facilidad. Se usa mucho en calidades que varían ligeramente, ya sea para ventanas, recipientes o bombillas eléctricas.
4. Silicato de plomo: uso eléctrico	63	7.6	6	0.3	0.2	0.6	PbO, 21 MgO, 0.2	Fácil de fundir y fabricar con buenas propiedades eléctricas.
5. Alto en plomo	35		7.2				PbO, 58	Alto en plomo, absorbe rayos X; por su alta refracción se usa en lentes acromáticos. Vidrio cristal decorativo.
6. Borosilicato: baja expansión	80.5	3.8	0.4		12.9	2.2		Baja expansión, buena resistencia al choque térmico, y buena estabilidad química. Se usa mucho en la industria química.
7. Baja pérdida eléctrica	70.0		0.5		28.0	1.1	PbO, 1.2	Baja pérdida dieléctrica.
8. Aluminoborosilicato: aparato estándar	74.7	6.4	0.5	0.9	9.6	5.6	B ₂ O ₃ , 2.2	Con más alúmina y menos óxido bórico mejora la durabilidad química.
9. Bajo en álcali (vidrio E)	54.5	0.5		22	8.5	14.5		Se usa mucho en fibras para compuestos resinosos vítreos.
10. Aluminosilicato	57	1.0		5.5	4	20.5	MgO, 12	Alta resistencia a la temperatura, baja expansión.
11. Vidrio-cerámica	40-70					10-35	MgO, 10-30 TiO ₂ , 7-15	Cerámica cristalina hecha por desvitrificación del vidrio. Fácil de fabricar (como vidrio), buenas propiedades. Diversos vidrios y catalizadores.

Tabla 5. Composición química de algunos vidrios [Fuente: Smith, 2004]

8.3 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES CERAMICOS

Los materiales cerámicos, tanto cristalinos como no cristalinos son muy frágiles, en particular a temperaturas bajas. La resistencia a la tracción observada en materiales cerámicos varía enormemente con rangos que van desde 0.69 MPa hasta 7000 MPa. Poseen en su gran mayoría mejor resistencia a compresión que a tensión. Muchos materiales cerámicos son duros y tienen baja resistencia al impacto debido a sus uniones iónicas-covalentes.

Dentro de las razones por las cuales estos materiales presentan el tipo de fractura frágil se encuentran los defectos estructurales tales como la presencia de imperfecciones como pequeñas grietas, porosidad, inclusiones extrañas, fases cristalinas o un tamaño grande de grano, que se introducen en el proceso de manufactura.

8.4 PROPIEDADES ELECTRICAS DE LOS CERÁMICOS

Los cerámicos son materiales ampliamente usados como aislantes eléctricos, debido al tipo de enlaces que poseen (iónico y covalente) en los cuales los electrones se encuentran asociados con los átomos que componen el cerámico, contrario al caso de los metales, que son buenos conductores, ya que poseen electrones de valencia libres para moverse en todo el volumen del material (enlace metálico). Existen excepciones a este comportamiento, tal como es el caso de las cerámicas compuestas, que pueden ser conductoras por inclusión de cargas como los TiC (Carburos de titanio) o TiN (Nitruro de Titanio) y como el caso atípico de la circonia (Mg-PSZ), este material aislante se vuelve conductor eléctrico a partir de 1000°C. Existe otro grupo de cerámicos denominados piezoeléctricos, que pueden convertir señales eléctricas en señales de presión o viceversa.

Como materiales cerámicos aislantes se pueden citar la porcelana eléctrica y la esteatita.

La Porcelana eléctrica, en la que la proporción de composición química de sus ingredientes como Arcilla ($\text{Al}_2\text{O}_3 - 2\text{SiO}_2 - 2\text{H}_2\text{O}$), cuarzo u óxido de silicio (SiO_2) y feldespatos ($\text{K}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - 6\text{SiO}_2$) determinan las propiedades eléctricas, mecánicas y térmicas de los productos; el aumento de arcilla proporciona mejores propiedades térmicas, el aumento del cuarzo mejores propiedades mecánicas y el aumento del feldespato mejora las propiedades eléctricas.

7 MATERIALES COMPUESTOS

En el campo de la ingeniería, cada vez se hace necesaria la utilización de materiales con una serie de propiedades, imposibles de conseguir con los grupos

de materiales estudiados, llamense metales, cerámicos o polímeros convencionales. Esto ha dado origen a una serie de materiales con propiedades combinadas de los grupos anteriores, estos son denominados materiales compuestos.

Un material compuesto es aquel en el que se unen íntimamente dos o más materiales distintos con el fin de proporcionar propiedades como inuales en un grupo específico de materiales como lo son: baja densidad, resistencia mecánica y química, rigidez, tenacidad a temperatura ambiente y a altas temperaturas.

9.1 CLASIFICACION DE LOS MATERIALES COMPUESTOS

Los materiales compuestos poseen diversas clasificaciones, a continuación se enuncia la clasificación básica:

- **Compuestos tradicionales:** Son aquellos que son producto de la naturaleza o que han sido producidos por antiguas civilizaciones, como es el caso de la madera, el concreto y el asfalto.
- **Compuestos sintéticos:** Son materiales modernos en donde los componentes (materiales comunes) se producen primero normalmente en forma separada y luego se combinan con el fin de obtener la estructura y propiedades necesarias. Este grupo posee dos clasificaciones adicionales y sus subdivisiones se realian de acuerdo al material de la matriz y de acuerdo al material de refuerzo que serán explicados más adelante.

9.2 COMPONENTES DE UN MATERIAL COMPUESTO

Los materiales compuestos están formados por dos o más fases, una primera fase que por lo general es la que existe en mayor cantidad, se denomina matriz, esta rodea a las demás fases que se denominan fases dispersas o agente de refuerzo.

La Fase matriz, por lo general es un material menos resistente y dúctil, que puede ser de cualquiera de los tipos de materiales anteriormente explicados (polímeros,

cermicos o metales), aunque en algunos casos es posible que la matriz sea del mismo grupo del material de refuerzo como en el caso de resinas epoxicas (matriz) unidas con fibras de Kevlar (polimero reforzante). Esta fase posee diferentes funciones como: proporcionar la forma del producto fabricado de material compuesto, reducir la propagacion de grietas y proteger las fibras de daños ambientales.

La clasificación dentro del grupo de compuestos sintéticos, se realiza de acuerdo a la fase matriz de la siguiente forma: Compuestos en matriz metálica (CMM), Compuestos en matriz cerámica (CMC), Compuestos en matriz polimérica (CMP).

9.2.1 Compuestos en matriz metálica (CMM)

Este grupo de materiales son llamados también cermets. Consisten en compuestos de una matriz metálica reforzada por una segunda fase constituida otros metales, cerámicos, carbono y boro en forma de partículas de cerámica y/o fibras.

Estos se subdividen en: Carburos cementados, que son materiales en los que se usan generalmente los carburos de tungsteno, titanio y carburo de cromo en una matriz que suele ser de cobalto o níquel. Las aplicaciones más comunes son las herramientas de corte, brocas para taladros de roca, indentadores para ensayos de dureza, herramientas de corte para operaciones de lámina metálica y en general donde se requiere dureza y resistencia al desgaste. El otro subgrupo lo constituyen los compuestos de matriz metálica reforzados con fibra, en los que la matriz puede ser de aluminio, magnesio y titanio, y las fibras de refuerzo de materiales como boro, carbono SiC y alumina.

9.2.2 Compuestos en matriz cerámica (CMC)

De los tres grupos de materiales compuestos, es del que menos conocimiento se posee. Es un intento para mantener las propiedades de cerámicos (alto módulo, dureza y baja densidad) mejorandola con fibras de los otros grupos especialmente metálicas, pero no han dado resultados satisfactorios debido a la incompatibilidad térmica y química.

9.2.3 Compuestos en matriz polimérica (CMP)

Son los de mayor importancia comercial. La matriz de los materiales compuestos suele ser de resinas termoestables, aunque puede ser de termoplásticos como nylon, poli estireno y polipropileno. El material de refuerzo lo constituyen fibras de vidrio, carbono y kevlar que le dan resistencia a tracción, cohesión y evitan la propagación de fracturas. La importancia tecnológica e ingenieril de este compuesto se debe a una alta relación de resistencia al peso, alta relación de módulo al peso, baja gravedad específica, buena resistencia a la fatiga y buena resistencia a la corrosión

Las diferentes combinaciones posibles para materiales compuestos dependiendo del material del cual está hecha la matriz y del material de refuerzo se muestran en la [tabla 49](#).

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 ^a	Al ₂ O ₃ 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.

Tabla 6. Combinaciones posibles de materiales compuestos [Fuente: Groover, 2007]

Como se mencionó, el otro constituyente del material compuesto es la fase dispersa o agente de refuerzo, que tal como su nombre lo indica aumentan la resistencia y la rigidez del material. Esta fase en el material se encuentra en forma de fibra, partículas y hojuelas que se explicarán más adelante. Las propiedades de los materiales compuestos dependen de ciertos factores como las propiedades de las

fases constituyentes, de las proporciones de cada uno de ellos y de la geometría de las fases dispersas (forma, tamaño, distribución y orientación de las partículas).

Teniendo en cuenta el criterio de la naturaleza de la microestructura y/o geometría de la fase dispersa los materiales compuestos se pueden establecer tres grandes grupos: compuestos reforzados con partículas, compuestos reforzados con fibras y compuestos estructurales, que su vez presentan subdivisiones como se muestra en la **figura 133**.

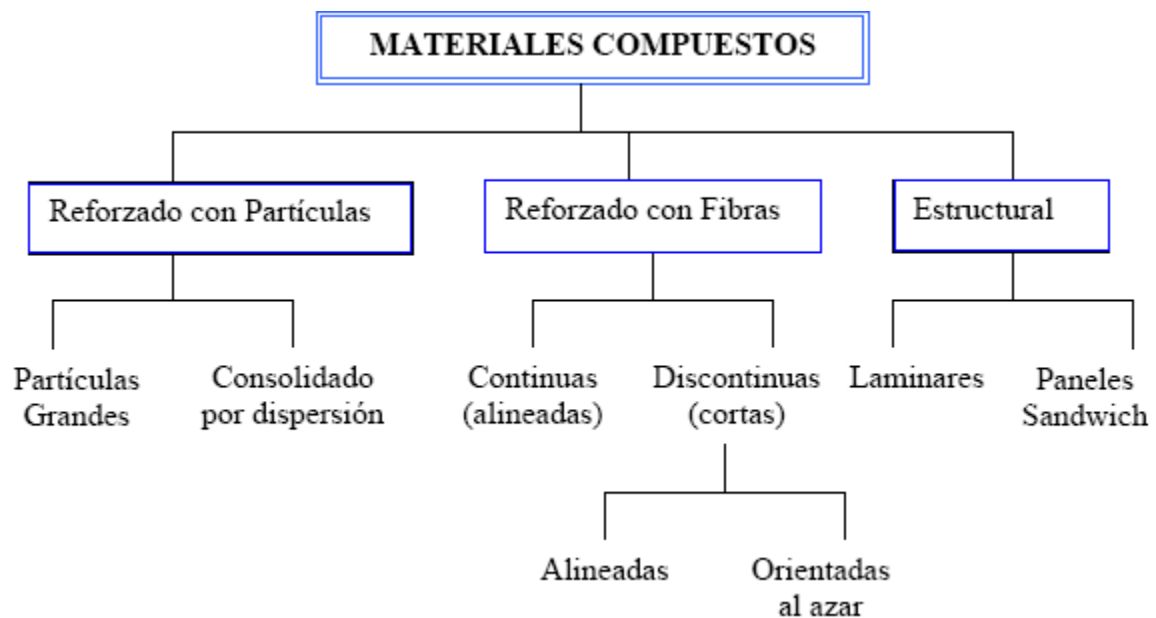


Figura 2. Clasificación de materiales compuestos de acuerdo a la fase dispersa [Fuente: UNCuyo, 2008]