

1.7 CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES PARA MANUFACTURA

La mayoría de los materiales de ingeniería pueden clasificarse en: *metales y no metales* dentro de la categoría de los no metálicos se tiene a: *los cerámicos y polímeros*; entre los metales los cerámicos y los polímeros se forma un grupo de tres materiales básicos utilizados en la manufactura. Tanto sus características químicas como sus propiedades físicas y mecánicas son diferentes; estas diferencias afectan los procesos de manufactura. Además de estas tres categorías básicas existe otra: *los materiales compuestos*, los cuales son mezclas no homogéneas de los otros tres tipos básicos de materiales. La clasificación de materiales y la relación de los grupos de se muestra en la figura 1.3.

1.7.1 METALES

Los metales usados en la manufactura son comúnmente aleaciones, las cuales están compuestas de dos o más elementos, en donde por lo menos uno es metálico. Los metales pueden dividirse en dos grupos: 1) ferrosos y 2) no ferrosos.

Metales ferrosos Los *metales ferrosos* se basan en el hierro; el grupo incluye acero y hierro colado; éstos constituyen el grupo de materiales comerciales más importantes y comprende más de las tres cuartas partes del tonelaje de metal que se utiliza en todo el mundo. El hierro puro tiene poco uso comercial; pero aleado con el carbón tiene más usos y mayor valor comercial que cualquier otro metal. Las aleaciones de hierro y carbón pueden formar acero y hierro colado.

Los aceros de baja aleación son aleaciones hierro-carbono que contienen elementos aleantes adicionales en cantidades que totalizan menos del 5% en peso, aproximadamente. Debido a estas adiciones, los aceros de baja aleación tienen propiedades mecánicas que son superiores a los aceros al carbono para las aplicaciones dadas. Las propiedades superiores significan usualmente mayor resistencia, dureza, dureza en caliente, resistencia al desgaste, tenacidad y combinaciones más deseables de estas propiedades. Con frecuencia se requiere el tratamiento térmico para lograr el mejoramiento de estas propiedades.

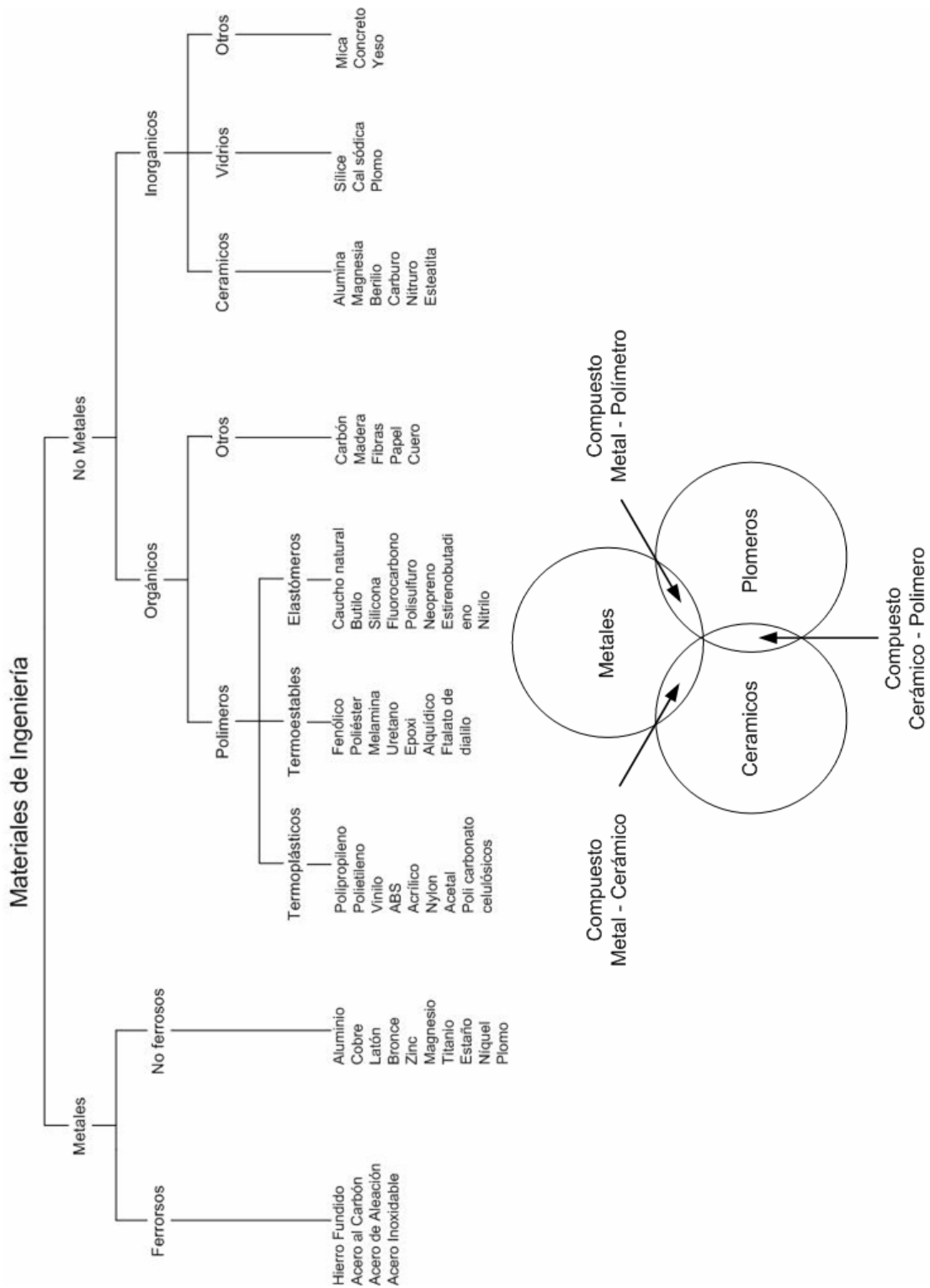


Figura 1.3 En la parte superior se muestra un esquema de la mayoría de los materiales usados es manufactura en la parte inferior un diagrama de Venn mostrando los tres tipos básicos de materiales y los materiales compuestos

Los elementos comunes que se añaden a la aleación son el cromo, el manganeso, el molibdeno, el níquel y el vanadio, algunas veces en forma individual, pero generalmente en combinación. Estos elementos forman soluciones sólidas con el hierro y compuestos metálicos con el carbono (carburos).

Suponiendo que exista la cantidad suficiente de carbono para reaccionar. Podemos resumir los efectos de los principales elementos como sigue:

- *Cromo (Cr)*. Mejora la resistencia, dureza, resistencia al desgaste y dureza en caliente. Es uno de los más efectivos elementos de aleación para incrementar la templabilidad. El cromo mejora significativamente las propiedades de resistencia a la corrosión.
- *Manganeso (Mn)*. Mejora la resistencia y dureza del acero. Cuando el acero se trata térmicamente, el incremento de manganeso mejora la templabilidad. Debido a esto, el manganeso se usa ampliamente como elemento de aleación en el acero.
- *Molibdeno (Mo)*. Aumenta la tenacidad, la dureza en caliente y la resistencia a la termoinfluencia. También mejora la templabilidad y forma carburos para resistencia al desgaste.
- *Níquel (Ni)*. Mejora la resistencia y tenacidad. Incrementa la templabilidad, pero no tanto como los otros elementos de aleación en el acero. En cantidades significativas mejora la resistencia a la corrosión y es otro de los elementos mayoritarios (además del cromo) en ciertos tipos de acero inoxidable.
- *Vanadio (V)*. Inhibe el crecimiento de los granos durante el procesamiento a temperaturas elevadas y durante el tratamiento térmico, lo cual mejora la resistencia y tenacidad del acero. También forma carburos que incrementan la resistencia al desgaste.

Las especificaciones AISI-SAE de muchos de los aceros de baja aleación se presentan en la tabla 1.5, que indica los análisis químicos nominales. El contenido de carbono se especifica por XX en porcentaje de carbón

El *hierro colado* es una aleación de hierro y carbón (2 a 4%) que se utiliza en fundición (principalmente fundición en arena). En esta mezcla también se encuentra presente el silicio (en cantidades desde 0.5 a 3%), y frecuentemente se agregan otros elementos para obtener propiedades deseables en el producto final. El hierro colado se encuentra disponible en diferentes formas, de las cuales se describen a continuación

Fundición gris La fundición gris representa el mayor tonelaje entre las fundiciones de hierro. Tiene una composición que varía entre 2.5 y 4 % de carbono y 1 a 3% de silicio. Las reacciones químicas internas derivan en la formación de hojuelas de grafito (carbono) distribuidas a todo lo largo del producto fundido en la solidificación. Esta estructura es la causa de que la superficie del metal tenga un color gris cuando se fractura; de aquí el nombre de fundición gris. La dispersión de las hojuelas de grafito representa dos propiedades atractivas: 1) buena amortiguación a la vibración, que es una característica deseable en motores y otras máquinas; y 2) cualidades de lubricación internas, que hacen maquinable la fundición.

TABLA 1.5 Especificaciones de aceros AISI-SAE

Tipo	Nombre del Acero	Análisis químico nominal %							
		Cr	Mn	Mo	Ni	V	P	S	Si

10 XX	Al carbono		0.4				0.04	0.05	
11 XX	Resulfurado		0.9				0.01	0,12	0.01
12 XX	Resulfurado		0.9				0.10	0.22	0.01
	Refosforado								
13 XX	Manganeso		1.7				0.04	0.04	0.3
20 XX	Aceros al níquel		0.5		0.6		0.04	0.04	0.2
31 XX	Níquel-cromo	0.6			1.0		0.04	0.04	0.3
40 XX	Molibdeno		0.8	0.25			0.04	0.04	0.2
41 XX	Cromo-molibdeno	1.0	0.8	0.2	1.8		0.04	0.04	0.3
43 XX	Ni-Cr-Mo	0.8	0.7	0.25	1.8		0.04	0.04	0.2
46 XX	Níquel-molibdeno		0.6	0.25	1.0		0.04	0.04	0.3
47 XX	Ni-Cr-Mo	0.4	0.6	0.2	3.5		0.04	0.04	0.3 ,
48 XX	Níquel-molibdeno		0.6	0.25			0.04	0.04	0.3
50 XX	Cromo	0.4	0.4		0.3		0.04	0.04	0.3
52 XX	Cromo	1.4	0.4	0.1	0.5		0.02	0.02	0.3
61 XX	Cr-vanadío	0.8	0.8	0.2	0.5	0,1	0.04	0.04	0.3
81 XX	Ni-Cr-Mo	0.4	0.8	0.35			0.04	0.04	0.3
86 XX	Ni-Cr-Mo	0.5	0.8		3.0		0.04	0.04	0.3
88 XX	Ni-Cr-Mo	0.5	0.8	0.1	1.0		0.04	0.04	0.3
92 XX	Silicio		0.8	0.25			0.04	0.04	2.0
93 XX	NI-Cr-Mo	1.2	0.6				0.02	0.02	0.3
98 XX	Ni-Cr-Mo	0.8	0.8				0.04	0,04	0.3

Fuente [4]

Fundición nodular (dúctil) Es un hierro con la composición del hierro gris, en la cual el metal fundido se trata químicamente antes de vaciarlo para provocar la formación de nódulos de grafito en lugar de hojuelas. El resultado es un hierro más fuerte y más dúctil, de aquí el nombre de fundición dúctil. Sus aplicaciones incluyen componentes de maquinaria que requieren alta resistencia mecánica y buena resistencia al desgaste. Sus características se muestran en la TABLA 1.6

Fundición blanca Posee menor contenido de carbono y silicio que la fundición gris. Se forma mediante un enfriamiento más rápido del metal fundido después de haberlo vaciado, esto causa que el carbono permanezca combinado químicamente con el hierro en forma de cementita (carburo de hierro), en lugar de precipitar la solución en forma de hojuelas. Cuando la superficie se fractura tiene una apariencia blanca cristalina que da su nombre a la fundición. Debido a la cementita, la fundición blanca es dura y frágil, y su resistencia al desgaste es excelente. Su resistencia mecánica se muestra en la TABLA 1.6. Estas propiedades de la fundición blanca la hacen adaptable para aplicaciones donde se requiere resistencia al desgaste. Las zapatas para freno de ferrocarril son un ejemplo clásico.

Fundición maleable Cuando las piezas de fundición blanca se tratan térmicamente para separar el carbono en solución y formar agregados de grafito, el metal resultante se llama fundición maleable. La nueva microestructura puede tener una ductilidad sustancial (arriba de 20% de elongación), que es una diferencia significativa con respecto al metal del cual procede. Los productos típicos hechos con fundición

maleable incluyen accesorios para tubería y bridas, algunos componentes para máquinas y partes de equipo ferroviario. Sus principales características se presentan en la TABLA 1.6

La resistencia de la fundición gris abarca un rango significativo. La American Society for Testing Materials (ASTM) utiliza un método de clasificación para la fundición gris, TABLA 1.6 pretende suministrar las especificaciones mínimas. La resistencia a la compresión de la fundición gris es significativamente mayor que su resistencia a la tensión. Las propiedades de las fundiciones se pueden controlar de alguna forma por tratamiento térmico. La ductilidad de la fundición gris es muy baja, es un material relativamente frágil. Los productos hechos con fundición gris incluyen monobloques y cabezas para motores de automóviles, cárteres y bases de máquinas herramientas.

TABLA 1.6 Composición y propiedades mecánicas de fundiciones de hierro seleccionadas

Tipo	Composición Típica					Resistencia a la Tensión	
	Fe	C	Si	Mn	Otros ^a	MPa	Elongación %
Fundiciones grises							
Clase 20	93.0	3.5	2.5	0.65		138	0.6
Clase 30	93.6	3.2	2.1	0.75		207	0.6
Clase 40	93.8	3.1	1.9	0.85		276	0.6
Clase 50	93.5	3.0	1.6	1.0	0.67 Mo	345	0.6
Fundiciones dúctiles							
ASTM A395	94.4	3.0	2.5			414	18
ASTM A476	93.8,	3.0	3.0			552	3
Fundiciones blancas							
Bajo-C	92.5	2.5	1.3	0.4	1.5 Ni, 1 Cr, 0.5 Mo	276	0
Fundiciones maleables							
Ferríticas	95.3	2.6	1.4	0.4		345	10
Perlíticas	95.1	2.4	1.4	0.8		414	10

Recopilada de [4].

Las fundiciones de hierro se identifican por varios sistemas. Hemos tratado de indicar el grado particular de la fundición usando la identificación más común para cada tipo.

^aLas fundiciones de hierro contienen también fósforo y azufre, totalizando generalmente menos de 0.3%.

Metales no ferrosos Los metales no ferrosos incluyen elementos metálicos y aleaciones que no se basan en el hierro. Los metales de ingeniería más importantes en el grupo de los no ferrosos son el aluminio, el cobre, el magnesio, el níquel, el titanio, el zinc y sus aleaciones.

Aunque el grupo de metales no ferrosos no puede igualar la resistencia de los aceros, algunas aleaciones no ferrosas tienen características, como resistencia a la corrosión y relaciones resistencia-peso, que los hacen competitivos con los aceros en aplicaciones para esfuerzos moderados y altos. Además, muchos de ellos tienen otras propiedades distintas a las mecánicas que los hacen ideales para aplicaciones en las que el acero podría ser inadecuado. Por ejemplo, el cobre tiene una de las menores resistividades eléctricas entre los metales y es ampliamente usado para conductores eléctricos. El aluminio es un excelente conductor térmico y sus aplicaciones incluyen intercambiadores de calor y utensilios de cocina. También es uno de los metales más fáciles de formar, por esa razón es muy

apreciado. El zinc tiene un punto de fusión relativamente bajo, por lo cual se utiliza ampliamente en operaciones de fundición en dados. Los metales no ferrosos comunes tienen su propia combinación de propiedades que los hacen útiles para una variedad de aplicaciones. Seguidamente, analizaremos los metales no ferrosos más importantes tanto comercial como tecnológicamente.

El Aluminio (Al) tiene una alta conductividad eléctrica y térmica, y su resistencia a la corrosión es excelente debido a la formación de una película superficial dura y delgada de óxido. Es un metal muy dúctil y notable por su facilidad de formado. El aluminio puro tiene una resistencia relativamente baja, pero puede alearse y tratarse térmicamente para competir con algunos de los aceros, especialmente cuando el peso es una consideración de importancia.

El sistema de especificaciones para el aluminio es un número de código de cuatro dígitos. El sistema tiene dos partes, una para aluminios forjados y la otra para fundiciones de aluminio. La diferencia es que se usa un punto decimal después del tercer dígito para fundiciones de aluminio. Las designaciones se presentan en la TABLA 1.7.

TABLA 1.7 Especificaciones de aleación de aluminio forjadas y en fundición

Grupo de aleación	Código para Forjado	Código para Fundición
Aluminio 99% o mayor pureza	1 XXX	1 XX.X
Aleaciones de aluminio por elemento(s) mayor(es):		
Cobre	2 XXX	2 XX.X
Manganeso	3 XXX	
Silicio y cobre y/o magnesio		3 XX.X
Silicio	4 XXX	4 XX.X
Magnesio	5 XXX	5 XX.X
Magnesio y silicio		
Zinc	6 XXX	
Estaño	7 XXX	7 XX.X
		8 XX.X
Otros	8 XXX	9 XX.X

Dado que el endurecimiento por trabajo y los tratamientos térmicos influyen en las propiedades de las aleaciones de aluminio, el templeado debe designarse adicionalmente al código de composición. Esta designación se adjunta a los números precedentes de cuatro dígitos, separándola con un guión para indicar el tratamiento o la ausencia del mismo, por ejemplo 1050-O. Desde luego, los tratamientos de temple que especifican endurecimiento por trabajo no se aplican a las de aleaciones de fundición. En la tabla 1.8 se muestran algunos ejemplos de diferencias notables en las propiedades mecánicas de las aleaciones de aluminio que resultan de diferentes tratamientos,

TABLA 1.8 Composición y propiedades mecánicas de aleaciones de aluminio seleccionadas

Código	Composición típica %					Resistencia a la tensión			Aplicaciones
	Al	Cu	Fe	Mg	Mn	Si	Temple	MPa	

1050	99.5		0.4			0.3	O	76	39	
							H18	159	7	
1100	99.0		0.6	1.5	0.6	0.3	O	90	40	Lamina, piezas huecas, aletas
							H18	165	10	
2024	93.5	4.4	0.5	1.0	1.2	0.5	O	185	20	Productos para maquina, estructuras de aviones, Piezas forjadas, hélices de avión
							T3	485	18	
3004	96.5	0.3	0.7	1.4	0.1	0.3	O	180	22	Utensilios de cocina, equipo para química, recipientes presión, tanques de almacenamiento
							H36	260	7	
4043	93.5	0.3	0.8	0.7		5.2	O	130	25	
							H 18	285	1	
5050	96.9	0.2	0.7			0.4	O	125	18	Artefactos domésticos, detalles arquitectónico, conductores eléctricos, perfiles estructurales, serpentines, tubos hidráulicos
							H38	200	3	
6063	98.5		0.3			0.4	O	90	25	Recipientes de presión soldados que no se calientan, servicio marino, piezas para vehículos componentes criogénicos para aviones, antenas de TV, alambres y varillas para remache
							T4	172	20	

- O Recocido para aliviar esfuerzos por deformación y ductilidad mejorada; se reduce la resistencia al nivel mas bajo
 - H18 H = Endurecimiento por deformación (aluminio Forjado). 1 = Ningún tratamiento después del endurecimiento, grado de endurecimiento 8
 - H36 H = Endurecimiento por deformación (aluminio Forjado). 3 = Estabilizado (calentado a una temperatura ligeramente mayor de la que se anticipa en el servicio) grado de endurecimiento 6
 - T3 Solución tratada térmicamente, trabajada en frío, envejecida naturalmente
 - T4 Solución tratada térmicamente y envejecida naturalmente
- Recopilada [4]

El Magnesio (Mg) Es el mas ligero de los metales estructurales. Su gravedad específica es 1.47. El magnesio y sus aleaciones se encuentran disponibles en ambas formas forjadas y en fundición. Su maquinado es relativamente fácil. Sin embargo las partículas de magnesio (como pequeñas virutas) se oxidan rápidamente y debe tenerse cuidado para evitar riesgos de incendio.

El magnesio como metal puro es relativamente suave y carece de la suficiente resistencia para la mayoría de las aplicaciones en ingeniería.

Sin embargo se puede alear y tratar térmicamente para logra resistencias comparables a las aleaciones de aluminio. En particular su razón resistencia-peso es muy ventajosa para componentes de aviación y proyectiles.

El esquema de especificaciones para aleaciones de magnesio usa un código de tres a cinco caracteres alfanuméricos. Los dos primeros son letras que identifican a los principales elementos de la aleación en el código se pueden especificar hasta dos elementos en orden decreciente de porcentajes, o en orden alfabético a porcentajes iguales. Estas letras clave se enlistan en la tabla 1.9, y van seguidas por un número de dos dígitos que indica, respectivamente, las cantidades de los dos elementos al porcentaje más cercano. Finalmente, el último símbolo es una letra que indica algunas variaciones en la composición o simplemente el orden cronológico en que fue normalizada para uso comercial. Las

aleaciones de magnesio también requieren especificación de un temple, para las aleaciones de magnesio se usa el mismo esquema básico que se presenta para el aluminio

TABLA 1.9 [4]

Letras clave usadas para identificar los elementos en las aleaciones de magnesio.	
A	aluminio (Al)
E	metales de tierras raras
H	torio (Th)
K	circonio (Zr)
M	manganeso (Mn)
P	plomo (Pb)
Q	plata (Ag)
S	silicio (Si)
T	estaño (Sn)
Z	zinc (Zn)

En la tabla 1.10 se presentan algunos ejemplos de aleaciones de magnesio que ilustran el esquema de especificaciones e indican la resistencia a la tensión y ductilidad de estas aleaciones y sus aplicaciones

TABLA 1.10 Composición y propiedades_mecánicas de aleaciones de magnesio seleccionadas. [4]

Código	Composición típica %						Proceso	Resistencia a la tensión		Aplicaciones
	Mg	Al	Mn	Si	Zn	Otros		MPa	Elongación %	
AZ10A	98.0	1.3	0.2	0.1	0.4		Trabajado	240	10	Aeroespaciales, proyectiles
AZ80A	91.0	8.5			0.5		Forjado	330	11	Bicicletas
HM31A	95.8		1.2			3.0 Th	Trabajado	283	10	Protecciones de cadenas
ZK21A	97.1				2.3	0.6 Zr	Trabajado	260	4	Equipaje y en otras
AM60	92.8	6.0	0.1	0.5	0.2	0.3 Cu	Fundición	220	6	aplicaciones que requieren
AZ63A	91.0	6.0			3.0		Fundición	200	6	peso ligero

El cobre (*Cu*) es uno de los metales más conocidos por los seres humanos desde la antigüedad. El cobre puro tiene un color rosado rojizo característico, pero su propiedad más distintiva en ingeniería es su baja resistividad eléctrica, una de las más bajas de todos los elementos. Debido a esta propiedad y a su abundancia relativa en la naturaleza, el cobre, comercialmente puro es ampliamente usado como conductor eléctrico (es preciso señalar que la conductividad del cobre disminuye significativamente cuando se añaden elementos de aleación). El cobre es también un excelente conductor térmico. El cobre es uno de los metales nobles (como el oro y la plata), de suerte que es resistente a la corrosión. Todas estas propiedades se combinan para hacer del cobre uno de los metales más importantes.

Por otra parte, la resistencia y dureza del cobre son relativamente bajas, especialmente cuando se toma en cuenta el peso. En consecuencia, para mejorar su resistencia (y por otras razones), el cobre se alea frecuentemente. El *bronce* es una aleación de cobre y estaño (alrededor de 90% Cu y 10% Sn), a pesar de su antigüedad ancestral aún se utiliza ampliamente en la actualidad. Se han desarrollado aleaciones adicionales de bronce basadas en otros elementos fuera del estaño; éstas incluyen bronce

de aluminio y silicio. El *latón* es otra aleación familiar de cobre, compuesta de cobre y zinc (alrededor de 65% Cu y 35% Zn). La aleación con mayor resistencia del cobre es el berilio-cobre (solamente un 2% Be). Puede tratarse térmicamente para obtener resistencias a la tensión de 1035 MPa. Las aleaciones Be-Cu se usan para resortes,

La especificación de aleaciones de cobre se basa en el United Numbering System for Metals and Alloys (UNS), el cual usa un número de cinco dígitos precedidos por la letra C (C de cobre). Las aleaciones se procesan en las formas: forjada y de fundición, y el sistema de especificación incluyen ambas. En la tabla 1.11 se presentan algunas aleaciones de cobre con sus composiciones y sus propiedades mecánicas.

TABLA 1.11 Composición y propiedades mecánicas de aleaciones de cobre seleccionadas.

Código	Composición típica %					Resistencia a la tensión		Aplicaciones
	Cu	Be	Ni	Sn	Zn	MPa	Elongación %	
C10100	99.99					235	45	Conductores eléctricos, conmutadores
C11000	99.95					220	45	Interruptores, barras colectoras, piezas electrónicas, terminales, disipadores de calor
C17000	98.0	1.7	^b			500	45	Resortes
C24000	80.0				20.0	290	52	Núcleos de radiadores, joyería, extinguidores de incendio
C26000	70.0				30.0	300	68	Piezas de embutido profundo y de rotación, ojillos, cartuchos para armas pequeñas
C52100	92.0			0.8		380	70	Contactos de muelle, diafragmas, instrumentos
C71500	70.0		30.0			380	45	Piezas de bombas, vástagos de válvulas, engranes, sinfines, conexiones de compresión
C71500 ^a	70.0		30.0			580	3	

Recopilada de [4].

^a Tratada térmicamente para alta resistencia.

^b Pequeñas cantidades de Ni y Fe más 0.3% de Cu.

El *níquel (Ni)* es un elemento similar al hierro en muchos aspectos; Es magnético y su módulo de elasticidad es prácticamente el mismo que el hierro y el acero. Difiere del hierro en que es mucho más resistente a la corrosión y las propiedades de sus aleaciones a altas temperaturas son generalmente superiores. Debido a sus características de resistencia a la corrosión, se usa ampliamente como 1) un elemento de aleación en acero, tal como el acero inoxidable y 2) como un metal de chapeado sobre otros metales como el acero al carbono. Las aleaciones de níquel son comercialmente importantes por sí mismas y notables por su resistencia a la corrosión y su desempeño a altas temperaturas. La composición, la resistencia a la tensión y la ductilidad y aplicaciones de algunas aleaciones de níquel se dan en la tabla 1.12.

TABLA 1.12 Composición y propiedades mecánicas de aleaciones de níquel seleccionadas

Código	Composición típica %							Resistencia a la tensión		Aplicaciones
	Ni	Cr	Cu	Fe	Mn	Si	Otros	MPa	Elongación %	
270	99.9		^a	^a				345	50	Elemento de aleación en aceros inoxidable, laminado metálico en acero, aplicaciones que requieren resistencia a altas temperaturas y a la corrección
200	99.0		0.2	0.3	0.2	0.2	C, S	462	47	
400	66.8		30.0	2.5	0.2	0.5	C	550	40	
600	74.0	16.0	0.5	8.0	1.0	0.5		655	40	
230	52.8	22.0		3.0	0.4	0.4	^b	860	47	

Recopilada de [4]

^a Indicios.

^b Otros elementos de aleación en el Grado 230: 5% Co, 2% Mo, 14% W, 0.3% Al y 0.1 % C.

TABLA 1,13 Composiciones y propiedades mecánicas típicas de aleaciones de titanio seleccionadas.

Código	Composición típica %						Resistencia a la tensión		Aplicaciones
	Ti	Al	Cu	Fe	V	Otros	MPa	Elongación %	
R50250	99.8			0.2			240	24	Componentes de motores de propulsión a chorro, otras aplicaciones aeroespaciales, Prótesis e implantes.
R56400	89.6	6.0		0.3	4.0	^b	1000	12	
R54910	90.0	8.0			1.0	1 Mo ^b	985	15	
R56620	84.3	6.0	0.8	0.8	6.0	2 Sn ^b	1070	13	

Recopilada de [4]

^a Sistema de numeración unificada (UNS).

^b Indicios de C, H, O.

El titanio (Ti) es medianamente abundante en la naturaleza, constituye cerca del 1% de la corteza terrestre (el aluminio es el más abundante y constituye el 8%). La densidad del titanio está entre la del aluminio y la del hierro; Su importancia ha crecido en las décadas recientes debido a sus aplicaciones aeroespaciales, en las cuales se explota su peso ligero y su buena razón resistencia-peso. El coeficiente de expansión térmica del titanio es relativamente bajo comparado con otros metales. Es más rígido y fuerte en comparación con el aluminio y tiene buena resistencia a temperaturas elevadas. El titanio puro es reactivo, lo cual presenta problemas para su procesamiento, especialmente en estado fundido. Sin embargo, a temperatura ambiente forma un delgado recubrimiento adherente de óxido (TiO₂) que suministra excelente resistencia a la corrosión.

Estas propiedades dan lugar a dos áreas principales de aplicación del titanio: 1) en estado comercialmente puro, el titanio se usa para componentes resistentes a la corrosión, tales como componentes marinos, implantes y prótesis; y 2) las aleaciones del titanio se usan como componentes con alta resistencia en un rango de temperaturas, desde la ambiente hasta 550 °C especialmente donde se aprovecha su excelente relación resistencia-peso. Estas últimas aplicaciones incluyen componentes de aviones y de proyectiles. Algunos de los elementos de aleación usados con el titanio incluyen al

aluminio, el manganeso, el estaño y el vanadio. En la tabla 1.13 se presentan algunas composiciones y propiedades mecánicas de algunas de sus aleaciones.

El zinc (Zn). Su bajo punto de fusión lo hace atractivo como un metal de fundición. También suministra protección contra la corrosión cuando se aplica como recubrimiento sobre el acero o hierro; el término acero galvanizado se refiere al acero que ha sido recubierto con zinc. Las aleaciones de zinc se usan ampliamente en la fundición de dados para producciones masivas de componentes destinados a la industria automotriz y de accesorios. Otra aplicación importante del zinc se encuentra en la galvanización del acero. Como su nombre lo indica, se crea una celda galvánica en el acero galvanizado (Zn es el ánodo y el acero es el cátodo), la cual protege al acero de los ataques de la corrosión. Finalmente, un tercer uso importante del zinc se encuentra en el latón. Como se señaló antes, esta aleación consiste en dos metales, cobre y zinc en la relación aproximada de dos terceras partes de Cu y una tercera parte de Zn. Esta aleación fue descrita ya en nuestro análisis del cobre. En la tabla 1.14, se enlistan varias aleaciones de zinc y sus datos relativos a la composición, resistencia a la tensión y aplicaciones.

TABLA 1.14 Composiciones, resistencia a la tensión y aplicaciones de aleaciones de zinc seleccionadas.

Código	Composición típica %					Resistencia a la tensión	Aplicaciones
	Zn	Al	Cu	Mg	Fe	MPa	
Z33520	95.6	4,0	0.25	0.04	0.1	283	Fundición en dados
Z35540	93.4	4.0	2.5	0.04	0,1	359	Fundición en dados
Z35635	91.0	8.0	1.0	0.02	0.06	374	Aleación para fundición
Z35840	70.9	27.0	2.0	0.02	0.07	425	Aleación para fundición
Z45330	98.9		1.0	0.01		227	Aleación para laminad

Recopilada de [4]

1.7.2 CERÁMICOS

Un *material cerámico* se define comúnmente como un compuesto que contiene elementos metálicos (o semimetálicos) y no metálicos. Los elementos no metálicos típicos son el oxígeno, el nitrógeno y el carbón. Algunas veces se incluye en la familia de los materiales cerámicos al diamante, el cual no se ajusta a la definición anterior.

Los materiales cerámicos abarcan una gran variedad de materiales tradicionales y modernos. Entre los materiales tradicionales que se han usado por miles de años se encuentran: el barro, cuya disponibilidad en la naturaleza es abundante, y está compuesto por finas partículas de silicatos hidratados de aluminio y otros minerales, el cual se usa para hacer ladrillos, tejas y alfarería; la sílice (SiO_2), base de casi todos los productos de vidrio; la alúmina (AlO_3) y el carburo de silicio, dos materiales abrasivos usados en procesos de esmerilado.

Los materiales cerámicos modernos incluyen algunos de estos materiales, como la *alúmina*, cuyas propiedades se mejoran de varias formas mediante métodos modernos de proceso. Los materiales cerámicos más nuevos incluyen *carburos* de metales, como el carburo de tungsteno y el carburo de

titanio que son empleados ampliamente en la fabricación de buriles, y los *nitruros* metálicos y semimetálicos como el nitruro de titanio y el nitruro de boro que se usan como herramientas de corte y abrasivos.

Los materiales cerámicos pueden dividirse para propósitos de proceso en: 1) cerámicos cristalinos y 2) vidrios. Se requieren diferentes métodos de manufactura para los dos tipos. Los materiales cerámicos cristalinos son formados de diversas maneras a partir de polvos y luego se sinterizan (se calientan a una temperatura por debajo del punto de fusión para aglutinar y endurecer los polvos). Los materiales vítreos (vidrio) pueden derretirse, vaciarse y luego formarse mediante procesos como el tradicional soplado de vidrio.

1.7.3 POLÍMEROS

Un *polímero* es un compuesto formado por repetidas unidades estructurales llamadas meros cuyos átomos comparten electrones para formar moléculas muy grandes. Los polímeros están constituidos generalmente por carbón y otros elementos como hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y cloro. Los polímeros se dividen en tres categorías: Polímeros termoplásticos, Polímeros termofijos y Elastómeros

Polímeros termoplásticos. Los termoplásticos pueden someterse a múltiples ciclos de calentamiento y enfriamiento sin alterar sustancialmente la estructura molecular del polímero. Los termoplásticos típicos a temperatura ambiente poseen las siguientes características: 1) menor rigidez, el módulo de elasticidad es de dos a tres veces más bajo que los metales y los cerámicos; 2) la resistencia a la tensión es más baja, cerca del 10% con respecto a la de los metales; 3) dureza muy baja; y 4) ductilidad más alta en promedio, con un tremendo rango de valores, desde una elongación del 1 % para el poliestireno, hasta el 500% o más para el propileno. En cuanto a sus propiedades físicas, los polímeros termoplásticos poseen: 1) densidades más bajas que los metales y los materiales cerámicos, las gravedades específicas típicas para los polímeros son alrededor de 1.2, para los cerámicos alrededor de 2.5, y para los metales alrededor de 7.0, 2) coeficientes de expansión térmica mucho más altos, aproximadamente cinco veces el valor de los metales y 10 veces el de los cerámicos; 3) temperaturas de fusión muy bajas; 4) conductividades térmicas que son alrededor de tres órdenes de magnitud más bajos que los de los metales, y 5) propiedades de aislamiento eléctrico

Los productos termoplásticos incluyen artículos moldeados y extruidos, fibras, películas y láminas, materiales de empaque, pinturas y barnices. Se adquiere normalmente en forma de polvos o pellets (grano grueso). Los polímeros TP más importantes se analizarán según la norma ASTM por orden alfabético en la tabla 1.15

Tabla 1.15 Plásticos Termoplásticos principales [3]

Clase	Resis. a la Tensión MPa	Temp. Máx. de servicio °C	Propiedades importantes	Proceso de fabricación (materia prima)	Aplicaciones
-------	-------------------------	---------------------------	-------------------------	--	--------------

ABS	28-55	120	Dureza, rigidez y tenacidad; amplio espectro de propiedades; degradables en la intemperie	Extrusión, moldeo, formado en frío, calandrado (resina y aditivos)	Molduras de automóvil, impulsores - cajas, tubería, cascós, perillas, rejillas, alojamientos
Acetales:	55-69	80-105	Fortaleza y rigidez con buena resistencias a la humedad, calor y químicos; resiste la mayoría de los solventes pero no los ácidos minerales fuertes	Extrusión, moldeo, formado, maquinado (resinas, algunos con fibras de vidrio y otros rellenos y aditivos)	Engranés, piñones, carretillas, muelles de hojas, cojinetes, palancas, abanicos, tubería, válvulas
Acrílicos:	42-69	60-110	Resistencia moderada, suavidad, baja resistencia al calor ; buena óptica, clara a coloreada; buena resistencia eléctrica	Extrusión, moldeo, termoformado revestimiento, maquinado (compuestos moldeados y láminas coladas)	Lentes, letreros, decoraciones, exhibidores de novedades, carátulas, acabados transparentes o coloreados, botellas.
Celulósicos:	10-59	50-90	Tenacidad, facilidad de proceso; buena transparencia y brillo de superficie; muchos colores; resistencia moderada al calor	Extrusión, moldeo, termoformado, revestimiento, maquinado (moldeo de compuestos, películas, hojas, barras, polvos)	Perillas, manijas, aparatos domésticos acabados transparentes y coloreados, bolas de billar, tuberías, volantes de automóvil
Fluoro-plásticos.	17-45	175-290	Resistencia química sobresaliente, a la electricidad y a la temperatura, a la intemperie baja fricción; baja resistencia mecánica pero puede reforzarse; tenaz a baja temperatura	Extrusión, moldeo, revestimiento formado, colado por dispersión, maquinado (granulados, perdigonado, polvos y dispersiones con agregado de rellenos, películas, hojas)	Cojinetes, sellos, tubería, aislamiento eléctrico, esmaltes, revestimientos que no se vuelven pegajosos con la temperatura, superficies no adherentes, blindajes ablativos
Lonómeros	14-34	70	Ligero, tenaz, transparente y flexible no rígido y cierta fluencia	Extrusión, moldeo, termoformado (resinas y estabilizadores)	Películas, juguetes, contenedores, charolas, aislamiento de alambres
Fenoxis	48-117	75	Buena ductilidad estabilidad y propiedades a baja temperatura	Extrusión, moldeo, termoformado; (varios grados de resinas, algunos reforzados)	Partes en flujo de agua, dispositivos electrónicos, aparatos domésticos
Poliamidas	55-207	120-150	Alta resistencia, rigidez , resistente a la temperatura, electricidad y los químicos, absorbe agua, se suaviza con solventes	Extrusión, moldeo, sintetizado, formado, colado, revestimiento, maquinado (sólido y líquido, resinas con rellenos y refuerzo)	Telas, cerdas, suturas, tubos, cojinetes, camas, engranes, empaques, aislamiento

Tabla 1.15 Plásticos Termoplásticos principales (Continuación)

Clase	Resis. a la Tensión	Temp. Máx. de servicio	Propiedades importantes	Proceso de fabricación (materia prima)	Aplicaciones
-------	---------------------	------------------------	-------------------------	--	--------------

	MPa	°C			
Policarbonatos	62-72	120	Alta resistencia mecánica, eléctrica, hasta -170°C; ductilidad, rigidez y transparencia	Extrusión, moldeo, espumas, maquinado (resinas y hojas)	lentes, cubiertas, mirillas de calibradores, accesorios de alumbrado, bolas de cojinetes
Poliésteres	55-121	110	Buena resistencia química, al agua, abrasión y resistencia eléctrica, tenacidad	Extrusión y moldeo (resinas, algunas reforzadas)	Bombas, medidores, engranes, rodillos, componentes electromecánicos
Poliétilenos	4-48	90	Tenaz hasta 98°C; buena resistencia química, a la humedad y eléctrica; baja fricción; plástico de más uso; flexible y rígido	Trabajado en todos los procesos (resinas con aditivos)	Alojamientos, tuberías, ductos, botellas, cubetas, tanques, objetos caseros, juguetes, revestimientos, películas, empaques
Polímidas	69-172	315	Fuerte, rígido y estable con excelente resistencia al calor, abrasión, fluencia y radiación; flexible a 270°C	Moldeo y sinterizado (polvo, revestimiento, películas, formas sólidas)	Válvulas, aislamiento eléctrico, cientos de partes en cada motor de chorro
Polipropilenos	34-59	120	Resistencia química, humedad y electricidad; grados especiales para resistencia al impacto y servicio a temperaturas altas y bajas	Extrusión, moldeo, laminado, revestimiento sinterizado (resina con aditivos)	Equipo eléctrico, bisagras, tubería, empaque, equipaje, molduras de automóvil
Poliestirenos	14-55	60-80	Buena resistencia eléctrica	Extrusión, moldeo, termoformado, espumado (resina con aditivos)	Tubería, juguetes, aislamiento a alta frecuencia, cajas de baterías, placas dentales, vajillas y aparatos domésticos.
Polisulfonas	69	150-260	Rígido y dúctil hasta 100°C; estable y resistencia eléctrica	Extrusión, moldeo, termoformado (resina con aditivos)	Partes eléctricas y para automóvil, alojamiento, tubería, aislamiento de cables
Vinilos	7-48	60-105	Muy flexible hasta rígido, buena resistencia a la flama, eléctrica, química, aceite, abrasión y a la intemperie en varios grados; coloreable y atractivo; fácil de procesar	Extrusión, moldeo, revestimiento, colado, espumado (resina con aditivos, dispersiones, hojas, películas)	Pisos y cubiertas de paredes, tapicería, ropa impermeable, laterales de casas, tuberías, juguetes, aislamiento, discos fonográficos, cristal inastillable de seguridad

Polímeros termofijos. Estas moléculas se transforman químicamente (se curan) en una estructura rígida cuando se enfrían después de una condición plástica por calentamiento, de aquí el nombre de

termofijo. Debido a las diferencias en la composición química y estructura molecular, las propiedades de los plásticos termofijos son diferentes de los termoplásticos. En general, los termofijos son 1) más rígidos, con módulos de elasticidad dos o tres veces más grandes; 2) frágiles, prácticamente no poseen ductilidad; 3) menos solubles en los solventes comunes; 4) capaces de funcionar a temperaturas más altas; y 5) no pueden ser refundidos, en lugar de esto se degradan o se queman. Los polímeros termofijos más importantes se analizarán por orden alfabético en la tabla 1.16

Tabla 1.16 Plásticos Termofijos principales [3]

Clase	Resistencia a la Tensión MPa	Temp. Máx. de servicio °C	Propiedades importantes	Proceso de fabricación (materia prima)	Aplicaciones
Alquidos	21-62	150	Buen aislamiento eléctrico, estabilidad dimensional, resistencia al impacto	Moldeo (polvos, líquidos, hojas suaves, cuerdas, trozos, pedazos)	Equipo eléctrico
Alílicos	28-55	180	Alta resistencia a la humedad y química, estabilidad, y resistencia dieléctrica	Moldeo y extrusión, laminación, (polvos, líquidos, preimpreg.)	Equipo electrónico, lentes, laminados.
Aminos	34-69	80-100	Colorido dureza; resiste rayados, detergentes y muchos líquidos	Moldeo y laminado, (polvos, granulados, líquidos, espumas)	Vajillas, tapas de distribuidor cubiertas de mostrador, utensilios domésticos
Epoxis	34-207	260	Buenas propiedades eléctricas y mecánicas, resistente al calor y químicos, fuertes	Colado extrusión, moldeo y preservación en tina (polvos, líquidos, espumas)	Adhesivos, tanques y envolventes herramientas y dados
Fenólicos	34-69	150-260	Rígido, estable, buena resistencia eléctrica y química, colores limitados	Moldeo y colados, (polvos, perdigones, soluciones e impregnados)	Equipo eléctrico, partes de artefactos, paneles laminados, aglutinantes para ruedas de esmerilar
Poliésteres	7-345	65-150	Para hacer esfuerzos tenaces; resiste la mayoría de los solventes, ácidos	Moldeo, colados, laminados (polvos, líquidos hojas, barras y tubos)	Partes para carrocería de automóviles, decoraciones, lanchas, maletas

Elastómeros. Estos polímeros exhiben un comportamiento elástico importante, de aquí el nombre de elastómero. Los elastómeros son polímeros capaces de sufrir grandes deformaciones elásticas cuando se les sujeta a esfuerzos relativamente bajos, Algunos elastómeros pueden soportar deformaciones de hasta el 500% o más, pero retornan a su forma original. El ejemplo más popular de un elastómero es desde luego el hule. Podemos dividir a los hules en dos categorías: 1) hule natural, derivado de ciertas plantas y 2) polímeros sintéticos producidos por procesos de polimerización, similares a los que se utilizan para los termoplásticos y los termofijos. Los elastómeros más importantes se analizarán por orden alfabético en la tabla 1.17

Tabla 1.17 Elastómeros principales [3]

Clase	Propiedades	Características importantes
-------	-------------	-----------------------------

Hule natural, poliisopreno natural, NR	A: R B: 20 C: 7.5-8.5	Excelentes propiedades físicas; buena resistencia al corte, mordidas y abrasión; baja resistencia al calor, ozono y aceite
Isopreno, poliisopreno sintético, IR	A: R B: 17 C: 3.0-8.0	Lo mismo que el hule natural pero requiere menos masticación; llantas de automóvil, bandas de transmisión de potencia, mangueras, empaques, rodillos
GR-S o Buna S, estirenobutadieno, SBR	A: R B: 1.7 C: 4.0-6.0	Buenas propiedades físicas cuando se le refuerza; excelente resistencia al agua y a la abrasión; no resiste aceite, ozono o intemperie
Butil isobutileno isopreno, IIR	A: R B: 18 C: 7.5-9.0	Excelente resistencia a la intemperie y al calor; buena impermeabilidad al gas, buena resistencia química, resistencia mecánica aceptable; cámaras de llantas, mangueras de vapor
Clorobutil-, cloro isobutilenoisopreno, IIR modificado	A: T B: 18 C: 7.5-9.0	Propiedades similares al butilo con temperaturas de servicio a 200°C y buena resistencia al aceite cuando se mezcla; para tubos internos (cámaras) y vejigas de curado
Polibutadieno, cis-4, BR	A: R B: 4 C: 4.0-10.0	Propiedades generales similares a las del hule y del SBR pero mejor resistencia a la abrasión y a la intemperie, servicio a baja temperatura y resiliencia; empleado por lo general en mezclas
Etileno propileno, EPM (termpolímero EPDM)	A: R B: 7 máx. C: pobre	Buenas propiedades mecánicas cuando se le refuerza; excepcional para resistir la luz solar, ozono; buenas propiedades eléctricas y de temperatura; para aislamiento, zapatos, encintados contra intemperie
Neopreno, cloropreno, CR	A: S B: 25 C: 8.0-9.0,	Excelente resistencia al ozono, calor, intemperie y flama y propiedades mecánicas; buena resistencia química y al aceite; para mangueras de aceite, revestimiento de tanques y aislamiento
Buna N, nitrilo, acrilonitrilo-butadieno, NBR	A: S B: 5 C: 4.5-7.0	Excelente resistencia química y al aceite; propiedades mecánicas aceptables y pobres a baja temperatura; partes para carburador y tanques de gasolina y bomba, empaques y rodillos para imprenta
Hypalon (HYP), polietileno clorosulfonado, CSM	A: S B: 25 máx. C: máx. 6.0	Excelente resistencia al ozono, intemperie y ácidos, resistencia aceptable al aceite y servicio a baja temperatura hasta 120 °C para mangueras químicas y de petróleo, conectores, etc., zapatos y pisos
Uretano, poliéster U, AU, poliéter U, EU	AS B: 35 y más C: 5.4-7.5	Resistencia excepcional a la abrasión, corte y desgarramiento, buena resistencia al oxígeno, ozono y a la luz solar; especial para amortiguación de vibraciones y aislamiento acústico; baja resistencia al calor y la humedad
Hules silicones, MQ, PMQ, etc.	A: T B: 7 C: 1 -0-5. 0	Temperatura 85 a 315 °C; alta resistencia al oxígeno, ozono y radiación; fraguado en alta compresión; baja resistencia mecánica al desgaste y al aceite; aislamiento, sellos, empaques
Viton, elastómeros de fluorocarbono, FKM	A: T B: 15 y más	Temperatura 40 a 315 °C ; resistencia sobresaliente química y al aceite, especialmente a alta temperatura; buenas propiedades mecánicas; para equipo industrial y de aviación,
Hules acrílicos, poliacrilato ACM	A: T B: 2 C: 4.5-7.5	Excelente resistencia al ozono y aceite; pobre resistencia al agua; para sellos, empaques, mangueras y anillos-O

^a Código para designación de propiedades: A servicio: R designa sin resistencia a los aceites, S para resistencia específica a los aceites, T para exposición prolongada a temperaturas anormales y aceites compuestos; B resistencia relativa media a la tensión de goma pura MPa; C alargamiento hasta ruptura de goma pura, 100%

1.7.4 COMPUESTOS

Los materiales compuestos no constituyen realmente una categoría separada de los materiales; sino que constituyen una mezcla de los otros tres tipos de materiales. Un material compuesto se logra comúnmente con dos fases en las que se procesan separadamente los materiales y luego se unen para lograr propiedades superiores a los de sus constituyentes. La estructura usual de un material compuesto está formada por partículas o fibras de una fase mezcladas con una segunda fase llamada matriz.

Los materiales compuestos se encuentran en la naturaleza (madera, por ejemplo) y pueden también producirse sintéticamente. Estos últimos son los que nos interesan; comprenden fibras de vidrio en matriz de polímero como los plásticos reforzados con fibras; fibras de polímero de una clase en matriz de un segundo tipo de polímero, como los compuestos epoxy-Kevlar; y materiales cerámicos en matriz metálica, como carburo de tungsteno en una cubierta de cobalto para formar un buril de carburo cementado.

Las propiedades de los materiales compuestos dependen de sus componentes, de la forma física de dichos componentes y de la manera en que se combinan para formar el material final. Algunos materiales compuestos combinan alta resistencia con peso ligero y son apropiados para utilizarse como componentes de aviones, carrocerías de automóviles, cascos de botes, raquetas de tenis y cañas de pesca; otros son fuertes, duros y capaces de mantener estas propiedades a temperaturas elevadas, como por ejemplo los buriles de carburo cementado.