

Diseño de materiales

Gracias al enorme avance científico experimentado en el último siglo en el área de la física y la química, pilares de la ciencia de los materiales, por primera vez es posible diseñar y construir materiales con propiedades determinadas, para fines específicos.

La historia de la civilización, muestra los esfuerzos hechos por la humanidad para aprovechar las materias primas que le brinda la naturaleza y ocuparlas en su beneficio y obtener materiales con cada vez mejores propiedades para su uso en construcción, ingeniería, confección de artefactos domésticos.

Edad de Piedra → Edad del Bronce → Edad del Hierro.

La moderna Edad del Acero (siglo XIX), y en la actualidad la Edad del Silicio, a partir de 1960.

Este proceso de búsqueda de materiales con determinadas propiedades mecánicas, térmicas, eléctricas, magnéticas u ópticas, ha transitado desde una etapa inicial (material encontrado en su estado natural) hasta una etapa actual de procesamiento y elaboración mediante técnicas muy sofisticadas, sustentadas en el conocimiento y estudio sistemático tanto en el plano experimental como teórico.

Se aprendió a distinguir distintos elementos y a combinarlos entre sí para producir materiales con mejores propiedades, de acuerdo a las necesidades. Esto permitió obtener reglas empíricas de mezclas y métodos de producción. Estas reglas empíricas, a su vez, sirvieron como base para desarrollar las teorías científicas en el campo de la física y de la química que constituyen los pilares fundamentales de la actual ciencia de los materiales.

Tabla Periódica de los Elementos

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89 Ac	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Uun								

58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

- Metales alcalinos
- Metales alcalinos terrosos
- Metales de transición
- Metales de tierras raras
- Otros metales
- Gases nobles
- haluros
- Otros no metales

Actualmente es posible plantearse y resolver en forma científica el problema de diseñar, elaborar y construir un material con características específicas.

¿Es posible, a partir del conocimiento de los 110 elementos que forman la tabla periódica, de las leyes que rigen a cada uno de esos átomos y sus reglas de combinación, diseñar un material que tenga una densidad de 3.0 g/cm^3 , que sea aislante, de color azul y que sea más duro que el diamante?

Las escalas de tamaño: de lo macroscópico a lo electrónico

Quien trabaje en el área de materiales debe ser capaz de predecir en forma confiable el comportamiento de éstos en una amplia escala de tamaños y tiempos.

Consideremos un ejemplo concreto: Un poste metálico que soporta una antena. De este poste nos gustaría conocer o calcular, propiedades macroscópicas generales, tales como su resistencia mecánica, su flexibilidad, los **cambios que sufre debido a la temperatura** y el tiempo que puede resistir una determinada fuerza externa. Además interesa conocer propiedades tales como **la resistencia a la corrosión o su actividad química**, que dependen directamente de cuales y cómo están dispuestos los átomos y moléculas que componen el poste; es decir, **propiedades a escala atómica**.

Así, para conocer las propiedades de un material en su conjunto, necesitamos estudiarlo en sus distintas escalas de tamaño y de tiempo

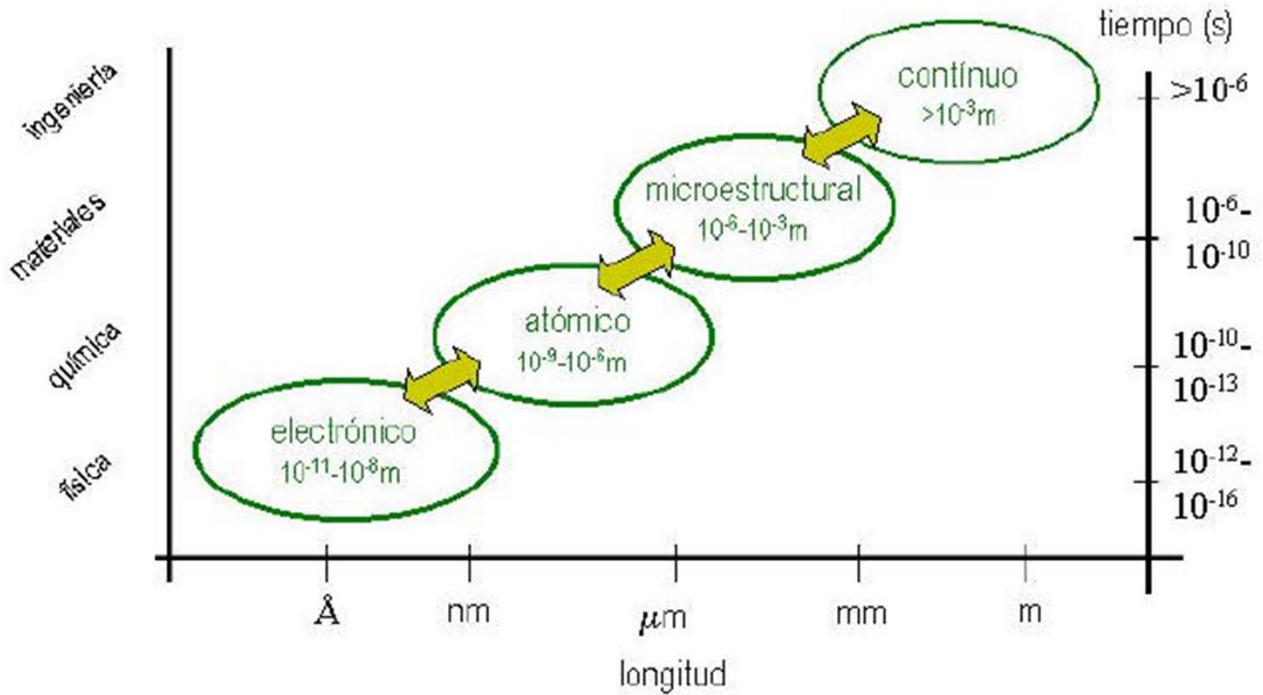


Figura 1. Un material según su tamaño, se puede clasificar en un nivel continuo o macroscópico, luego un nivel microscópico, luego el nivel atómico, y finalmente el nivel electrónico. En cada uno de estos niveles los procesos físicos tienen una longitud y un tiempo característico, y existe una disciplina particular que los estudia.

Cálculo de las propiedades físicas

El **nivel continuo o macroscópico** se refiere a dimensiones de escala humana: metros y segundos. En esta escala un material se considera como una sustancia homogénea, continua, cuyas propiedades son la expresión macroscópica de agregados más pequeños. Las leyes que rigen acá son las de la física clásica, por ejemplo las teorías de hidrodinámica y elasticidad. Es en este nivel macroscópico en el cual trabajan las diferentes disciplinas convencionales de la ingeniería, ya sea mecánica, eléctrica o civil.

Dimensiones microscópicas

Si ahora ponemos una lupa con aumento de unas 10 000 veces sobre esta pared veremos que ella está formada por granos de **dimensiones microscópicas** (10^{-6} m), que aunque están uniformemente distribuidos, el orden se ve interrumpido por irregularidades tales como grietas, bordes de granos, dislocaciones u otro tipo de defecto.

Estos granos tienen dinámica propia y su ordenamiento resulta de fundamental importancia para ciertas propiedades del material, tales como la dureza.

Por ejemplo, las excelentes propiedades mecánicas de la aleación níquel-aluminio (un compuesto intermetálico de Ni-Al) usada en los álabes de las turbinas de avión están directamente relacionadas con su microestructura.

Nivel atómico (10^{-9} m)

En este **nivel** se considera a los átomos como bolitas, y la compleja interacción entre protones y electrones se modela por medio de una fuerza efectiva entre los átomos.

De aquí resulta aquella clasificación tradicional de los materiales en términos del tipo de fuerza o enlace químico que los mantiene cohesionados: enlace iónico, enlace covalente, enlace metálico, enlace puente de hidrógeno y enlace van der Waals.

Por ejemplo, los sólidos nobles (Neón, Argón, Kriptón), corresponden al enlace tipo van der Waals y se modelan mediante una fuerza interatómica muy simple, el llamado potencial de Lennard-Jones, logrando las predicciones teóricas de este modelo un acuerdo notable con las propiedades medidas experimentalmente.

Nivel electrónico

Finalmente, si tomamos en cuenta la estructura del átomo, necesariamente tendremos que considerar los electrones que lo conforman y su comportamiento colectivo al formar una molécula o un cristal, llegando a una descripción a **nivel electrónico** del material. Propiedades tales como la estructura cristalina de un sólido o el comportamiento ante un rayo de luz están determinadas en última instancia por la manera en que los electrones más externos del átomo, los llamados electrones de valencia, se enlazan. **Aquí entramos de lleno en el dominio de la Mecánica Cuántica y sus leyes.**

Por ejemplo, gracias a la Mecánica Cuántica sabemos que los cuatro electrones de valencia del átomo de carbono (C) pueden formar híbridos de estructura tetraédrica, que enlazados entre sí dan origen a la estructura del diamante, donde cada C está enlazado con otros cuatro C, formando una red extremadamente dura.

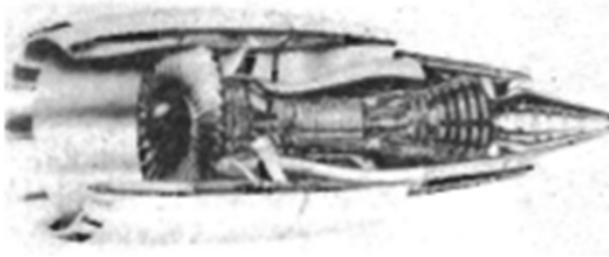
Calculando en todos los tamaños a la vez

La clasificación de los materiales presentada no es la única ni la mejor posible, sino sólo la más usada hasta ahora. No se puede hablar de una división estricta en tamaños ni de teorías que se aplican en uno u otro nivel. Lo que se tiene en la realidad es **un todo, un continuo**, donde sólo se puede hablar de énfasis diferentes en las distintas escalas de tamaño.

Tipos de materiales

Se clasifican en cinco grupos principales y se diferencian por sus propiedades y su estructura.

Metales (y sus aleaciones): Son buenos conductores eléctricos y térmicos, poseen una resistencia mecánica relativamente alta, alta rigidez, ductilidad y resistencia al impacto.



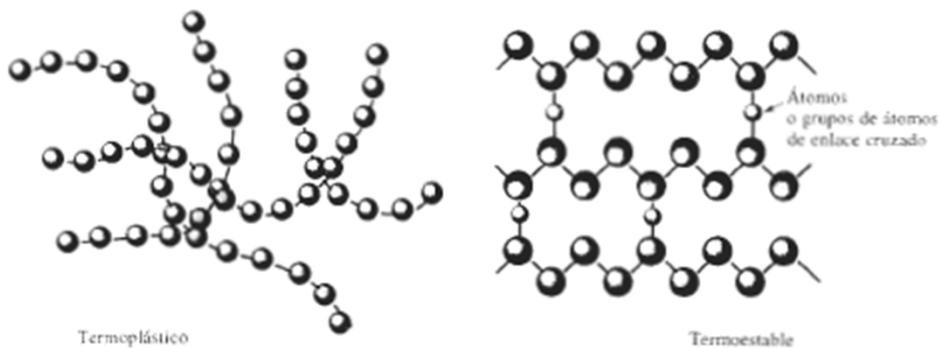
Turborreactor: Parte delantera en base a Titanio (t° mediana). Sección trasera construida con superaleaciones base Níquel (altas t°)

Cerámicos: El ladrillo, el vidrio, la porcelana, los refractarios y los abrasivos, tienen baja conductividad térmica y eléctrica, son fuertes, duros, quebradizos y pueden ser modificados, para aplicaciones de alta resistencia mecánica.

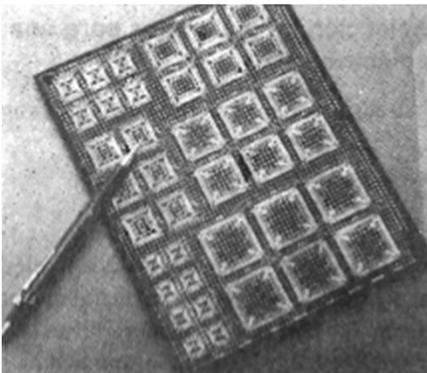


Componentes cerámicos: Impulsores y álabes para operar a alta t° .

Polímeros: Son grandes estructuras moleculares obtenidas a partir de moléculas orgánicas (hule, plásticos, muchos tipos de adhesivos), tienen baja conductividad eléctrica y térmica, reducida resistencia y no son adecuados para su utilización a alta temperatura. Los termoplásticos son **dúctiles** y los polímeros termoestables, son más resistentes, pero frágiles.



Semiconductores: Siendo muy frágiles, se destaca la participación del Silicio, Germanio y GaAs, para aplicaciones electrónicas y de comunicaciones. La conductividad puede ser controlada dependiendo de su uso.



Circuito integrado

Materiales compuestos: Se forman a partir de dos o más materiales, produciendo propiedades que no se encuentran en ninguno de ellos en forma individual. Con materiales compuestos se pueden producir materiales ligeros, fuertes dúctiles, resistentes a altas temperaturas, o producir herramientas de corte duras y resistentes al impacto.

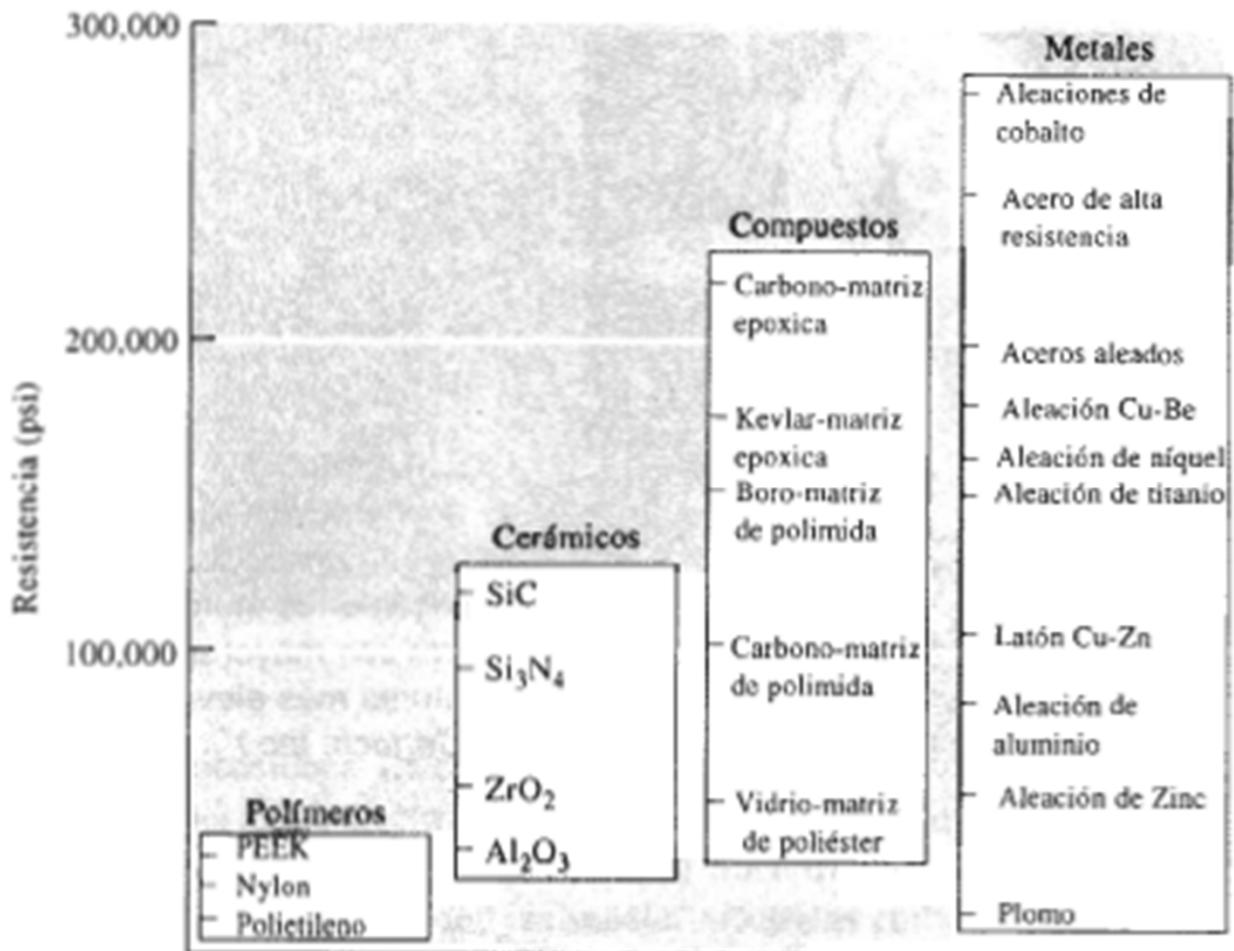


El ala en X de los helicópteros, es de un material compuesto de polímero reforzado con fibra de carbono.

RESUMEN DE LOS TIPOS DE MATERIALES

Aplicaciones		Propiedades
Metales		
Cobre	Alambre conductor eléctrico	Alta conductividad eléctrica, buena formabilidad
Hierro fundido gris	Bloques para motor de automóvil	Moldeable, maquinable, absorbe vibraciones
Aleación de aceros	Llaves	Endurecidas de manera significativa mediante tratamientos térmicos
Cerámicos		
SiO ₂ -Na ₂ O-CaO	Vidrio para ventana	Ópticamente útil, aislante térmico
Al ₂ O ₃ , MgO, SiO ₂	Refractarios para contener metal fundido	Aislantes térmicos, se funden a alta temperatura, relativamente inertes ante metal fundido
Titanato de bario	Transductores para equipo de audio	Convierten sonido en electricidad (comportamiento piezoeléctrico)
Polímeros		
Polietileno	Empacado de alimentos	Fácilmente conformable en delgadas películas flexibles e impermeables
Epóxicos	Encapsulado de circuitos integrados	Eléctricamente aislante y resistente a la humedad
Fenólicos	Adhesivos para unir capas de madera laminada	Fuertes, resistentes a la humedad
Semiconductores		
Silicio	Transistores y circuitos integrados	Comportamiento eléctrico único
GaAs	Sistemas de fibras ópticas	Convierte señales eléctricas en luz
Compuestos		
Grafito en matriz epóxica	Componentes para aeronaves	Relación elevada resistencia-peso
Carburo de tungsteno-cobalto	Herramientas de corte de carburo para maquinado	Alta dureza, y de una buena resistencia al impacto
Acero recubierto de titanio	Recipientes para reactores	Tiene el bajo costo y la alta resistencia del acero, con la resistencia a la corrosión del titanio

RESISTENCIAS MECÁNICAS REPRESENTATIVAS DE LOS DISTINTOS TIPOS DE MATERIALES

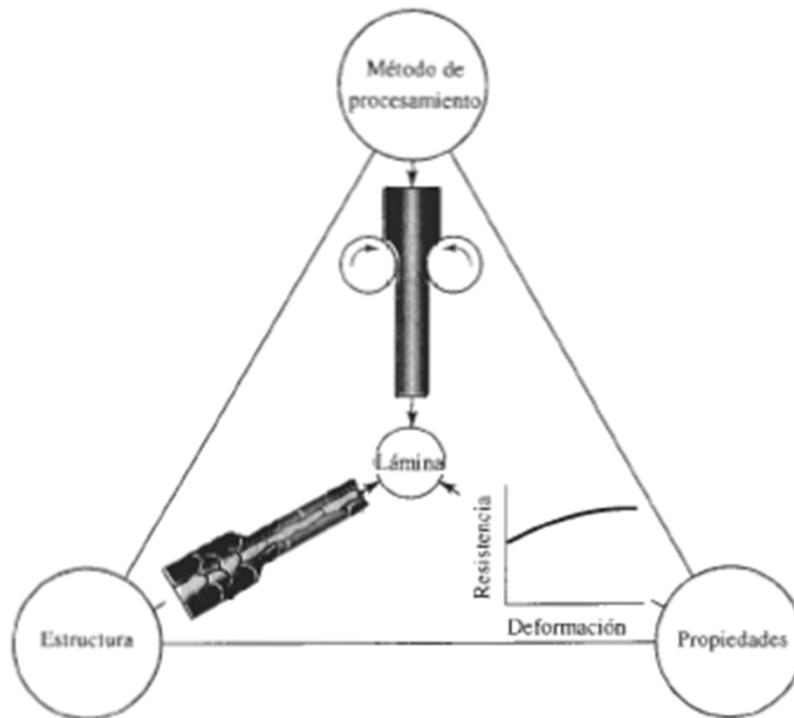


Ejemplos de aplicación:

1.- Diseño y selección de un material para una extensión eléctrica. ¿Cuáles son sus requisitos?

2.- Diseño y selección de un material para una taza de café. ¿Cuáles son sus requisitos?

Relación estructura-propiedades-procesamiento



1.3 Propiedades del material

- **Mecánicas:** describen la forma en que el material responde a una fuerza aplicada (resistencia, rigidez, ductilidad). También puede ser un golpe repentino e intenso (impacto), a la aplicación de cargas cíclicas (fatiga), expuesto a altas temperaturas (termofluencia) o condiciones abrasivas (desgaste).

- **Físicas:** Comportamiento eléctrico, térmico, magnético, óptico, elástico y químico que dependen tanto de la estructura como del procesamiento del material.

Ejemplo: Diseño y selección de un material para el ala de un avión. ¿Cuáles son sus requisitos?

Diseño y selección de materiales

Cuando se diseña un material, para una cierta aplicación, deben considerarse varios factores:

- El material debe adquirir las propiedades mecánicas y físicas deseadas.
- Debe ser procesado y manufacturado de la forma deseada.
- Debe ser una solución económica al problema de diseño.
- El entorno debe quedar protegido (reciclaje)

Normalmente se considera el costo del material con base en el **costo por libra de peso** y un balance criterioso entre las características (requisitos) del producto final, su costo, densidad, reciclabilidad, propiedades, etc.

Material	Resistencia (lb/plg ²)	Densidad (lb/plg ³)	Relación resistencia-peso (plg)
Polietileno	1,000	0.03	0.03×10^6
Aluminio puro	6,500	0.098	0.07×10^6
Al ₂ O ₃	30,000	0.114	0.26×10^6
Epóxicos	15,000	0.05	0.30×10^6
Aleación de acero con tratamiento térmico	240,000	0.28	0.86×10^6
Aleación de aluminio con tratamiento térmico	86,000	0.098	0.88×10^6
Compuesto carbono-carbono	60,000	0.065	0.92×10^6
Aleación de titanio con tratamiento térmico	170,000	0.16	1.06×10^6
Compuesto Kevlar-epóxico	65,000	0.05	1.30×10^6
Compuesto carbono epóxico	80,000	0.05	1.60×10^6

- **Isotropía vs. anisotropía**

i) **Materiales isótropos**: policristales orientados aleatoriamente \Rightarrow propiedades físicas similares en todas las direcciones.

ii) **Materiales anisótropos**: orientación no aleatoria de los ejes cristalográficos \Rightarrow propiedades físicas pueden variar en función de la dirección en el material.

Módulo de elasticidad de metales en Función de orientaciones cristalográficas			
Metal	Módulo de elasticidad (MPa x 10 ³)		
	[100]	[110]	[111]
Aluminio	63,7	72,6	76,1
Cobre	66,7	130,3	191,1
Hierro	125,0	210,5	272,7
Tungsteno	384,6	384,6	384,6