



MT – 1113
CIENCIA DE LOS MATERIALES

Prof. Yliana Barón
ylianabaron@usb.ve
Departamento de Ciencia de los Materiales
MEM 2do piso

TEMA 1. INTRODUCCIÓN A LA CIENCIA DE LOS MATERIALES

1. Que son los materiales?
2. Ciencia e Ingeniería de los Materiales (estructura-propiedades-procesamiento)
3. Clasificación de los materiales, clases y familias. Propiedades y características de los metales y aleaciones, materiales cerámicos y vidrios, materiales poliméricos y materiales compuestos
4. Propiedades mecánicas de los materiales: definición de términos, principales ensayos mecánicos (tracción, impacto) y propiedades a obtener.
5. Introducción a la selección de materiales. Diagramas de propiedades de los materiales

TEMA 2. ENLACES ATÓMICOS Y PROPIEDADES

1. Estructura atómica
2. Enlaces entre átomos: enlace iónico, enlace covalente, enlace metálico, enlace de Van der Waals
3. Estructura cristalina, índices de Miller. Posiciones en la red, direcciones y planos de la red
4. Defectos cristalinos y estructura no cristalina. Defectos puntuales, lineales, de superficie
5. Endurecimiento por deformación

TEMA 3. DIAGRAMA DE FASES

1. Fases, aleaciones, componentes y concentración. Termodinámica del equilibrio de fases
2. Diagramas de fases de materiales puros. Diagramas binarios. Límite de solubilidad. Compuestos intermedios
3. Curvas de enfriamiento
4. Diagrama Hierro-carbono
5. Interpretación de diagramas complejos. Reacción eutéctica, eutectoide, peritética y peritectoide. Diagramas de fases de materiales cerámicos
6. Transformaciones de fases y evolución de la microestructura durante enfriamiento lento
7. Diagramas TTT
8. Tratamientos térmicos

TEMA 4. ALEACIONES METÁLICAS

1. Aleaciones ferrosas. Aceros al carbono y de baja aleación. Aceros de alta aleación. Fundiciones
2. Templabilidad. Ensayo de Jominy
3. Caracterización de metales y aleaciones. Preparación de muestras. Microscopía óptica y electrónica de barrido. Medición del tamaño de grano y del porcentaje de fases.
4. Tratamientos superficiales, difusión y leyes de Fick.

TEMA 5. FALLAS EN MATERIALES

1. Fractura rápida y tenacidad. Caso de estudio de fractura rápida
2. Falla por fatiga, identificación de la falla, caso de estudio de falla por fatiga
3. Termofluencia, mecanismo y materiales resistentes, caso de estudio
4. Oxidación y corrosión, conceptos básicos, control y prevención, casos de estudio

✓ **Tres (3) parciales de 30 puntos c/u:**

PARCIAL 1 – Martes 29/01/2013 (semana 4)

PARCIAL 2 – Jueves 21/02/2013 (semana 7)

PARCIAL 3 – Viernes 22/03/2013 (semana 11)

✓ **Tareas y taller 10 puntos**

Taller de Microestructuras - Jueves 07/03/2013 (semana 9)

CONSULTAS:

- ✓ Martes y jueves, hora 3-4. Departamento de Ciencia de los Materiales, MEM, 2do piso, oficina 210-A
- ✓ Laboratorio de corrosión, edif. Tratamientos Térmicos (detrás de subway)
- ✓ Preguntas por correo: ylanabaron@usb.ve

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA:

- ✓ SHAKELFORD, J. Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros. Pearson: Madrid, 7ma ed., 2010
- ✓ ASHBY, M. y JONES, D. Engineering Materials I: An introduction to properties, applications and design. Elsevier: 4ta ed., Gran Bretaña, 2011
- ✓ ASHBY, M.; SHERCLIFF, H. y CEBON, D. Materials: engineering, science, processing and design. Elsevier: Gran Bretaña, 2009
- ✓ AHSBY, M. Materials selction in mechanical design. Elsevier: 2011, 4ta ed.

MATERIALES

Los materiales son aquellos componentes que los hombres utilizan para fabricar o construir cosas en búsqueda de mejoras en su calidad de vida

Poseen alguna propiedad útil distinta a las que poseen los elementos que lo componen

MATERIA PRIMA



MATERIALES
COSAS ÚTILES



MATERIALES

Ciencias e Ingeniería de los Materiales

Campo interdisciplinario que se ocupa de inventar nuevos materiales y mejorar los ya conocidos

Estructura ↔ Propiedades ↔ Procesamiento

Cs. de los
materiales

Ing. de los
materiales



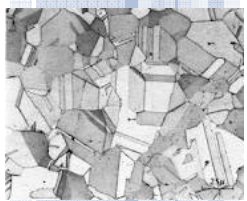
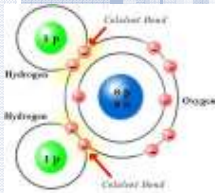
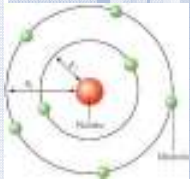
Puente General Rafael
Urdaneta (8.7km)



Puente Qingdao Haiwan
(42.5km)

Estructura

ESTRUCTURA	NIVEL DE DETALLE	EJEMPLO
Electrónica	subatómico	Densidad o nube electrónica
Atómica	Molecular	Composición química (NaCl)
Microestructura	Microscópico	Grupo de átomos que forman aglomerados, fases
Macroestructura	Macroscópico	Fibras que se pueden observar con el ojo desnudo



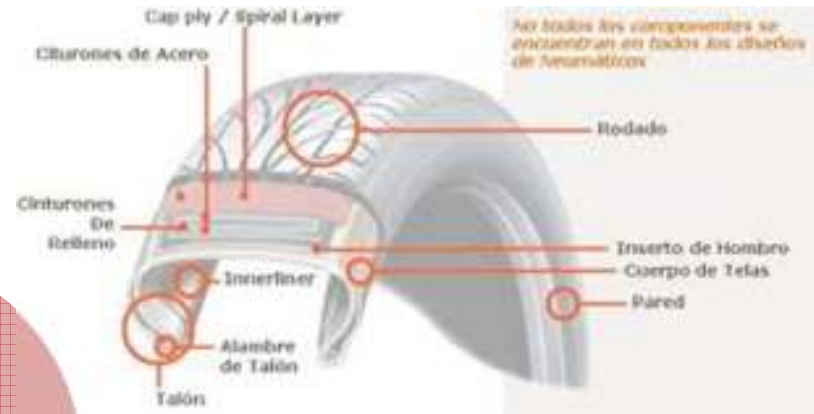
CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES

De acuerdo a su composición y estructura atómica

Cemento reforzado
o concreto armado



Metales
y aleaciones



Cauchos reforzados
con alambres

Cerámicas
y vidrios

Polímeros



Polímero reforzado con fibras de carbono

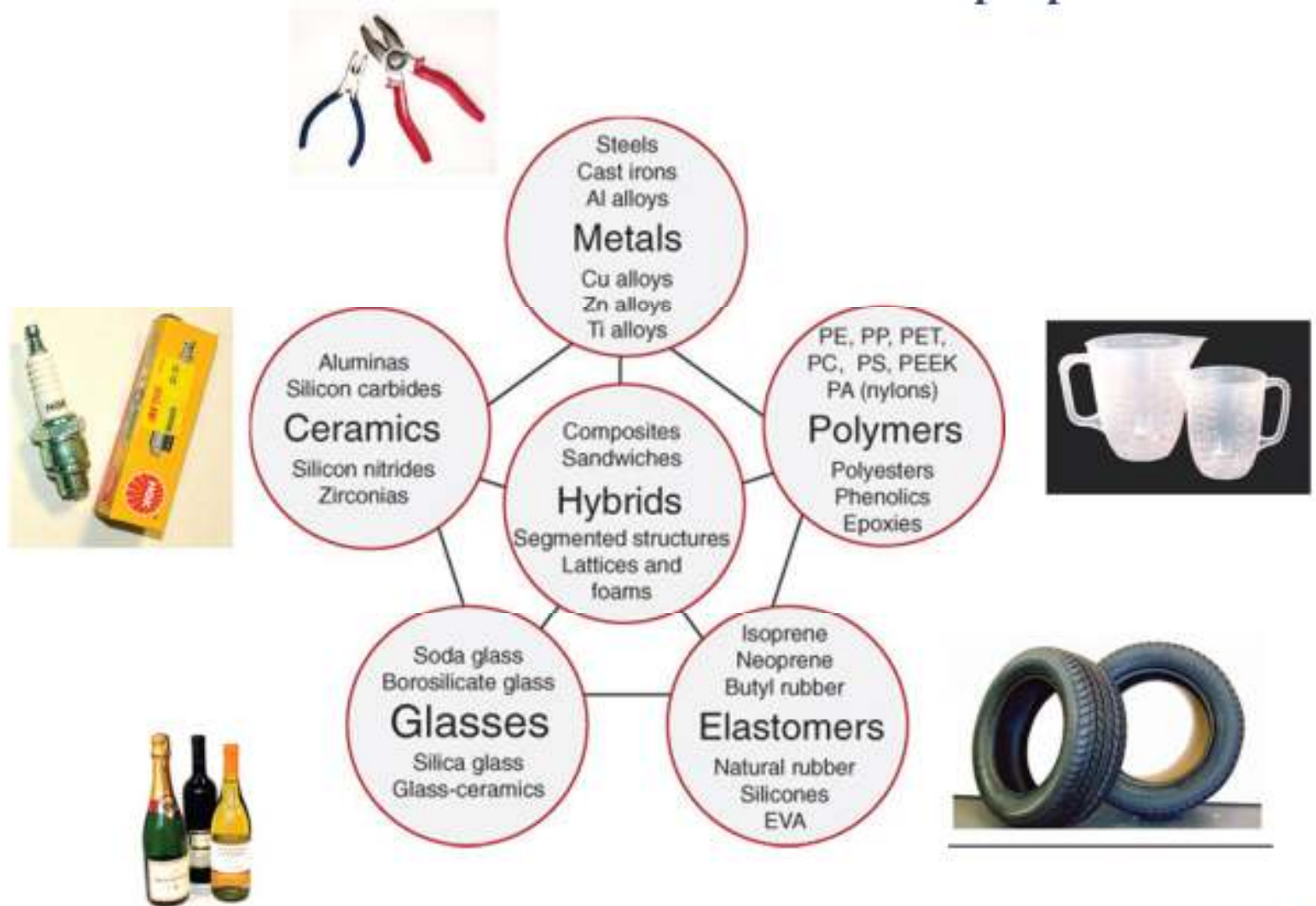
CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES

De acuerdo a la función que cumplen



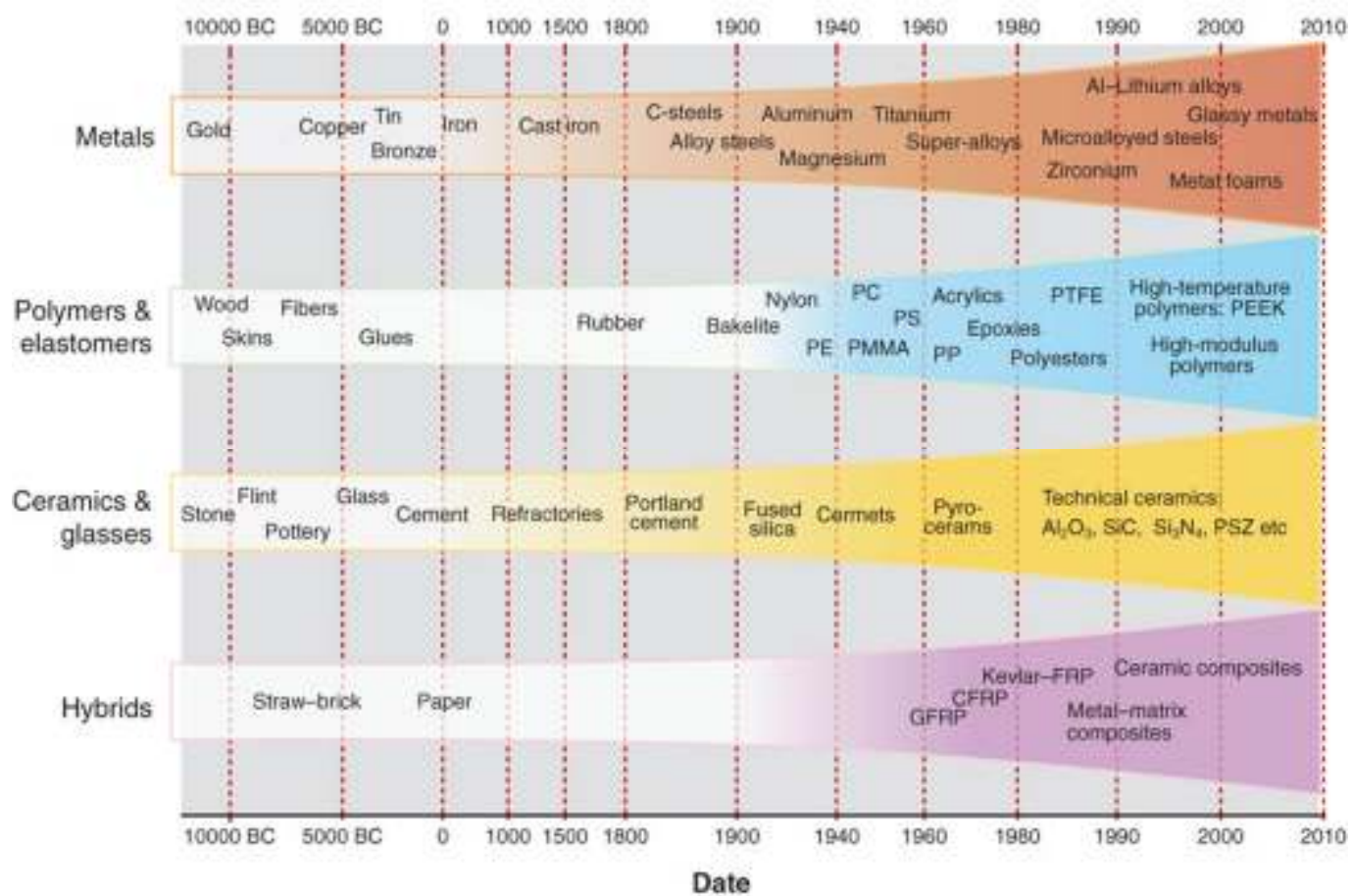
CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES

De acuerdo a sus propiedades



CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES

Evolución de los materiales en el tiempo



Materiales naturales



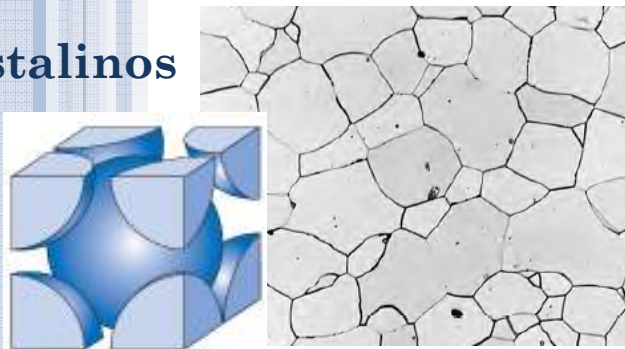
Materiales fabricados

Metales

Tiene un módulo de Young relativamente alto (alta rigidez). Aunque la mayoría de los metales en su estado puro son suaves y se pueden deformar; éstos pueden ser endurecidos mediante la adición de elementos aleantes (mantienen ductilidad). Los metales son susceptibles a sufrir falla por fatiga y tienen poca resistencia a la corrosión



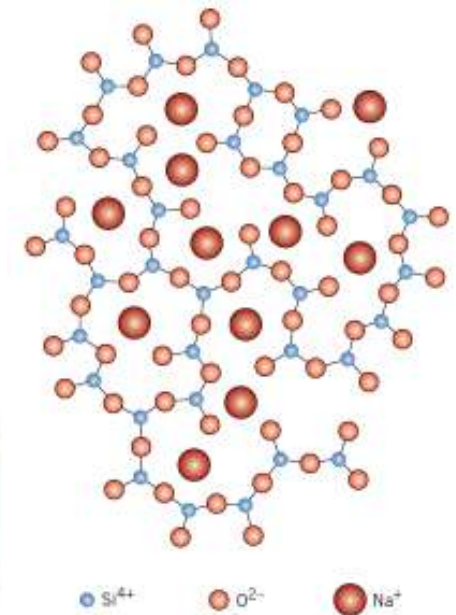
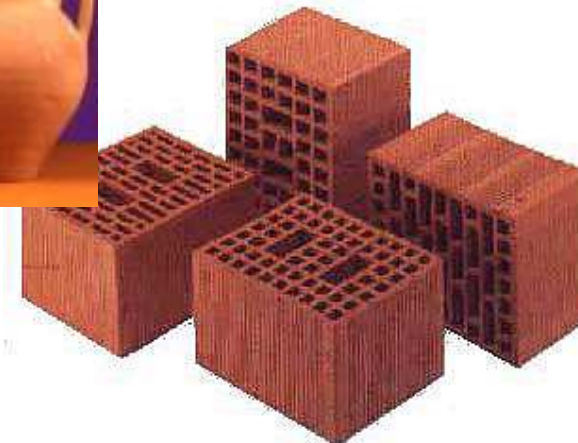
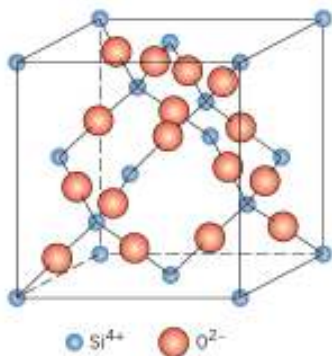
Cristalinos



Cerámicas

Tiene alto módulo de Young pero, a diferencia de los metales, son frágiles. Tiene cierta resistencia a tracción, pero a compresión fracturan frágilmente. Debido a que las cerámicas tienen muy poca (o ninguna) ductilidad, tienen poca tolerancia a los concentradores de esfuerzos (poros o grietas). Son rígidas, son resistentes a la abrasión, mantienen sus propiedades a altas temperaturas y son resistentes a la corrosión.

Cristalinos



Amorfos

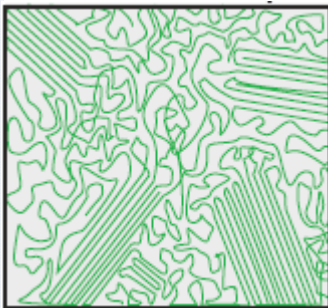
Vidrios

Son sólidos no-cristalinos (amorfos). Los vidrios mas comunes son los silicatos y los borosilicatos, los cuales se utilizan en la fabricación de botellas y utensilios para hornos, pero hay muchos más. La falta de cristalinidad en estos materiales suprime su plasticidad. Al igual que las cerámicas, son duros, frágiles y vulnerables a los concentradores de esfuerzos

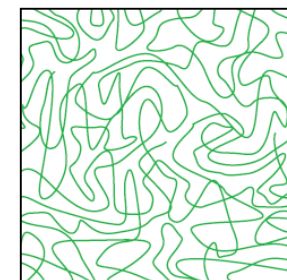
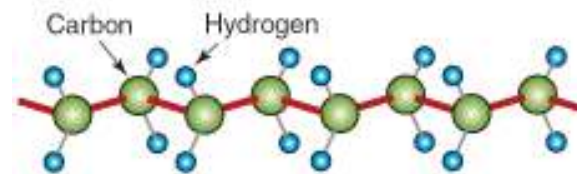


Polímeros

Tienen bajo módulo de Young, alrededor de 50 veces menor módulo que los aceros, aunque pueden ser duros. Pueden ser deformados permanentemente bajo la aplicación de esfuerzos. Sus propiedades son dependientes de la temperatura: un polímero que es dúctil a 20°C, puede ser frágil a 4°C (por ejemplo, cuando es colocado en un refrigerador). Muy pocos polímeros tienen utilidad por encima de los 200°C. Los polímeros pueden ser semi-cristalinos, amorfos o una mezcla de fases cristalinas-amorfas (la transparencia del polímero está asociada a la fase amorfa). Pueden ser moldeados, lo que permite conformar piezas de geometría compleja. Son resistentes a la corrosión (pinturas) y tienen bajo coeficiente de fricción.



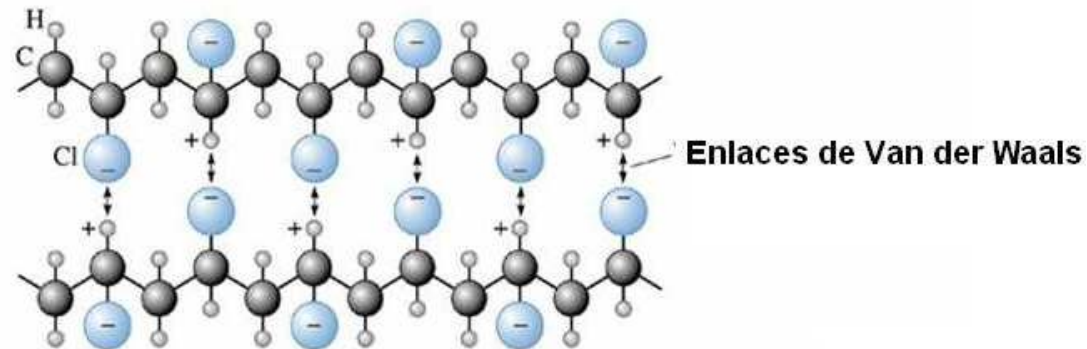
Semi-cristalinos



Amorfos

Elastómeros

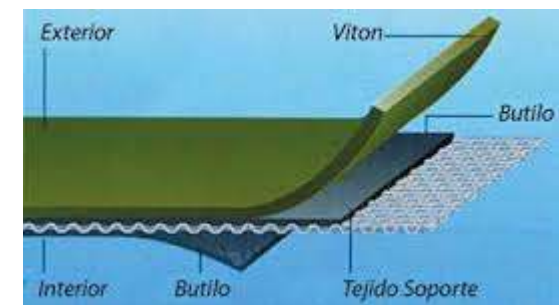
Son polímeros de cadena larga obtenidos a temperaturas superiores a T_g (temperatura de transición vítrea). En los elastómeros los enlaces covalentes que unen las cadenas poliméricas permanecen intactos, pero los enlaces débiles (Van der Waals, puentes de hidrógeno) que mantiene unidas unas cadenas a otras, se han fundido. Debido a esto, el módulo de Young del elastómero es hasta 10^5 veces menor que el de los aceros, presentando una enorme extensión bajo régimen elástico



PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Híbridos

Son combinación de dos o mas materiales. En los materiales híbridos (compuestos) se incluyen los materiales compuestos por fibras o partículas, las estructuras tipo «sandwich», las espumas, cables, laminados, entre otros. Por lo general, son livianos, rígidos, resistentes y tenaces. Son materiales costosos y son difíciles de conformar, por lo que se utilizan bajo condiciones de alto desempeño donde su valor está justificado



PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Propiedades y atributos de los materiales

Módulo de Young,
Ductilidad, fragilidad,
tenacidad

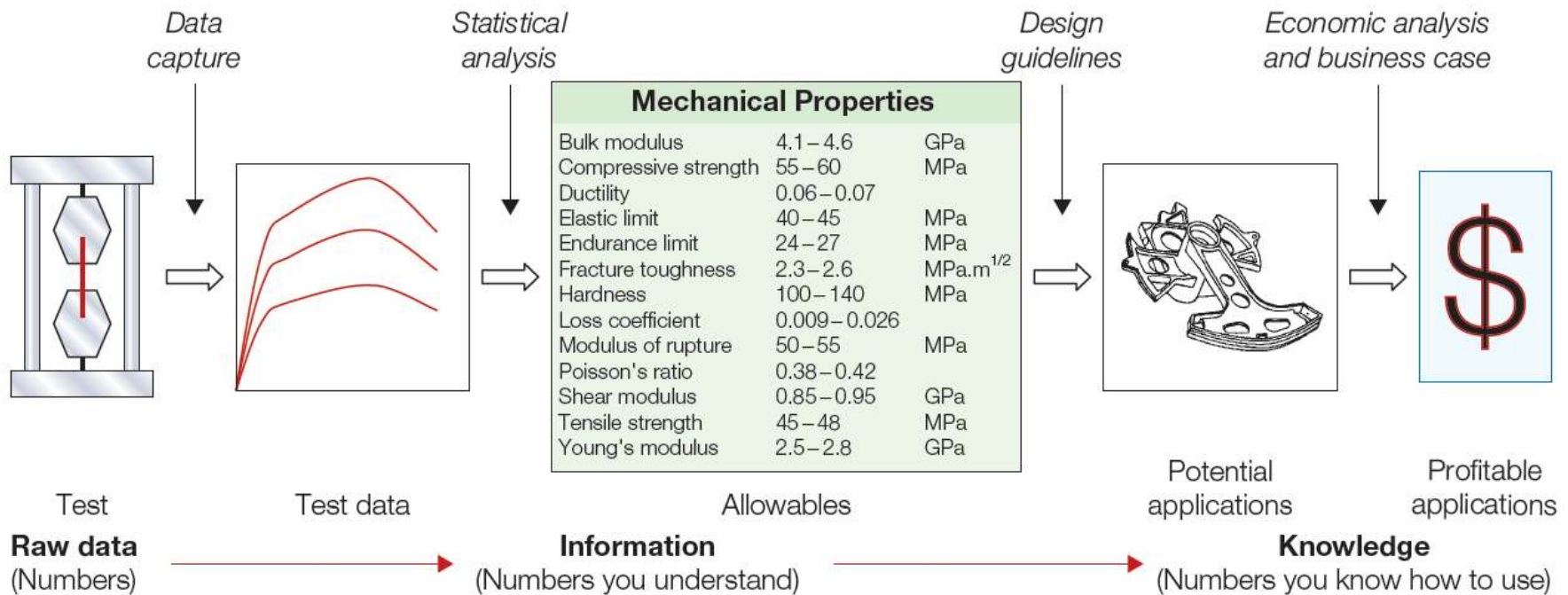
Endurecimiento,
deformación plástica y
elástica



Materiales cristalinos
o amorfos

Enlaces
covalentes,
enlaces débiles

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES



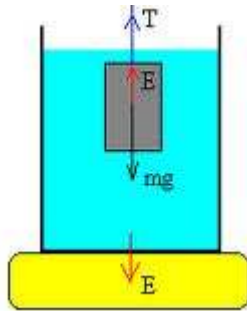
Para poder diseñar o seleccionar materiales para una aplicación específica es necesario conocer las propiedades del material

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Clase	Propiedad
General	Densidad Precio
Mecánicas	Módulo de Young Esfuerzo de tracción Esfuerzo máximo Dureza Elongación Tenacidad a la fractura
Térmicas	Punto de fusión Temperatura de transición vítrea Temperatura máxima/mínima de servicio Conductividad térmica Calor específico Coeficiente de expansión térmica
Eléctricas	Resistividad Constante dieléctrica
Ópticas	Índice de refracción
Eco-propiedades	Huella de carbono Fracción de reciclaje

PROPIEDADES GENERALES

Densidad y costo



La densidad, ρ (kg/m^3), es la masa por unidad de volumen. La densidad puede ser determinada mediante el principio de Arquímedes: pesando el material en aire y en un fluido de densidad conocida



El costo, C_m ($\$/\text{kg}$), puede tener un amplio rango de valores. Algo puede costar tan poco como $0,2\$/\text{kg}$ o tanto como $1000\$/\text{kg}$. El costo varía, de acuerdo a la época del año, al balance entre la oferta y la demanda, y a la cantidad del producto que se quiera obtener (precio al mayor distinto al detal); sin embargo, es útil la información para tomar una decisión cuando se está diseñando

PROPIEDADES MECÁNICAS

¿Elástico o plástico?



Comportamiento elástico

El material deformado, retoma su forma cuando se elimina el esfuerzo (σ) o carga

Módulo de Young / modulo de elasticidad / rigidez (E)
resistencia del material a la deformación elástica

Comportamiento plástico

La deformación es permanente, el material queda deformado aún después de retirar carga

Esfuerzo de fluencia (σ_f)
Resistencia del material a la deformación permanente



PROPIEDADES MECÁNICAS

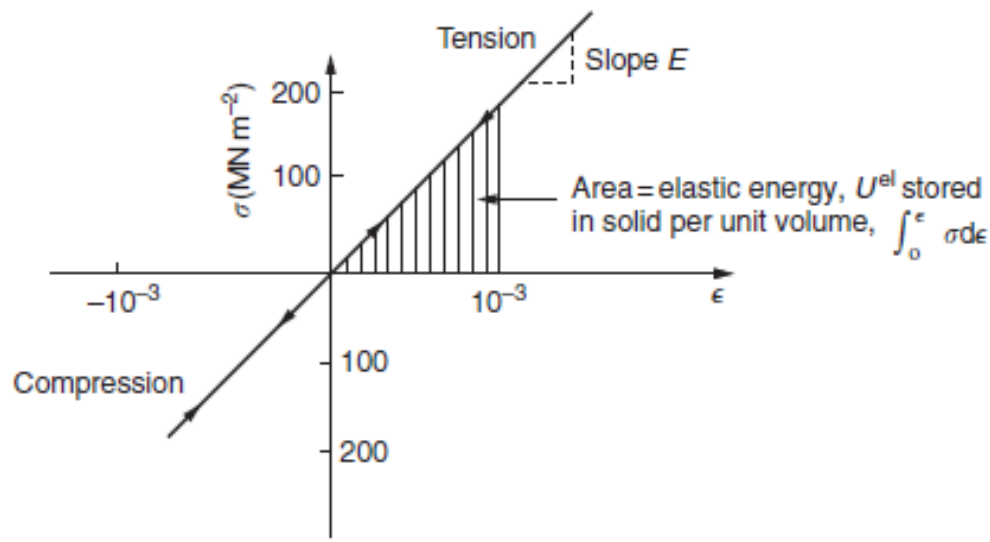
Todos los sólidos tienen un límite elástico por encima del cual pasan “cosas”:

1. Un material frágil fracturará repentinamente (como los vidrios) o progresivamente (como las cerámicas)
2. La mayoría de los materiales ingenieriles se deforman plásticamente (de forma permanente)

Es importante conocer cuando y cómo sucederá esta deformación, para poder diseñar estructuras que soporten cargas in fallar. Para estudiar como los materiales se deforman permanentemente, se fabrican probetas cilíndricas o probetas planas, se colocan en una máquina de ensayos universales y se les aplica tracción (o compresión) y se registra el esfuerzo requerido para causar dicha deformación

Comportamiento Elástico Lineal

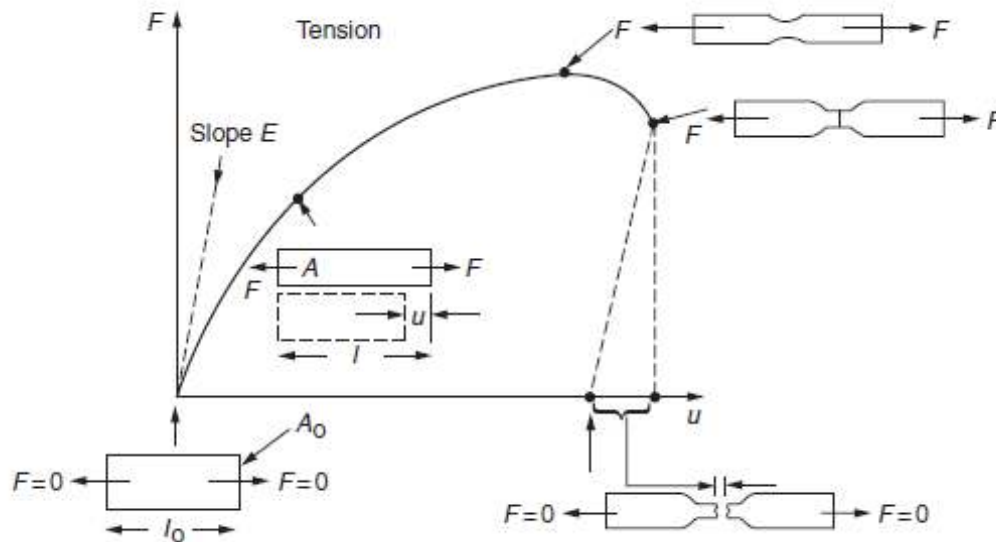
En la figura se presenta una curva esfuerzo-deformación de un material que exhibe un comportamiento elástico perfectamente lineal. Este es el comportamiento caracterizado por la ley de Hooke. Todos los sólidos tienen comportamiento elástico lineal a pequeñas deformaciones (<0.001).



- ✓ La pendiente de la curva esfuerzo-deformación (que es igual en compresión o tensión) es el módulo de Young E .
- ✓ El área sombreada es la energía elástica acumulada por el material por unidad de volumen

Comportamiento no-elástico

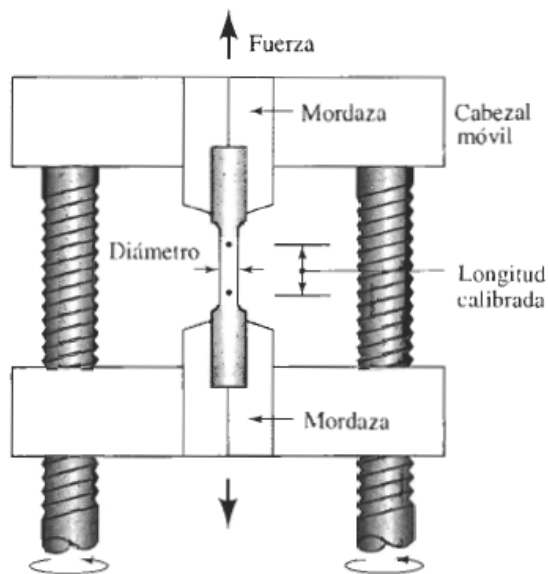
Si se carga un material dúctil (como los metales) a tensión, y se deforma hasta que el material falle, es posible obtener la curva esfuerzo-deformación completa. Inicialmente, la deformación será elástica; pero al alcanzar el límite elástico del material la deformación comenzará a ser permanente (deformación plástica); el material se hará más largo (y más delgado) hasta que el material se vuelva inestable y comience a formar un cuello (punto de máximo esfuerzo).



Al formarse el cuello, el área transversal disminuye.
 $\sigma = F/A \Rightarrow$ el esfuerzo aumentará rápidamente hasta valores que el material no puede soportar y fracturará

Ensayo de tracción

El ensayo de tensión mide la resistencia de un material a una fuerza estática o gradualmente aplicada. La máquina de ensayos universales tiene un dispositivo similar al de la figura. Una probeta típicamente tiene un diámetro de 0.505 pulgadas y una longitud calibrada de 2 pulgadas. La probeta se coloca en la máquina de prueba y se le aplica una fuerza F , que se conoce como carga. Para medir el alargamiento del material causado por la aplicación de la fuerza, se coloca un extensiómetro en la longitud calibrada.



Para un material dado, los resultados de 1 solo ensayo, son aplicables a todo tamaño y forma de muestras (del mismo material), si se convierte la fuerza en esfuerzo y la distancia entre las marcas en deformación:

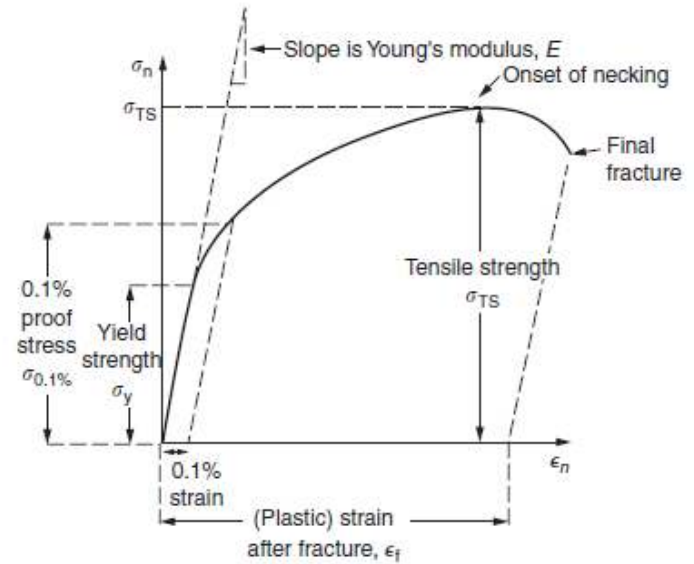
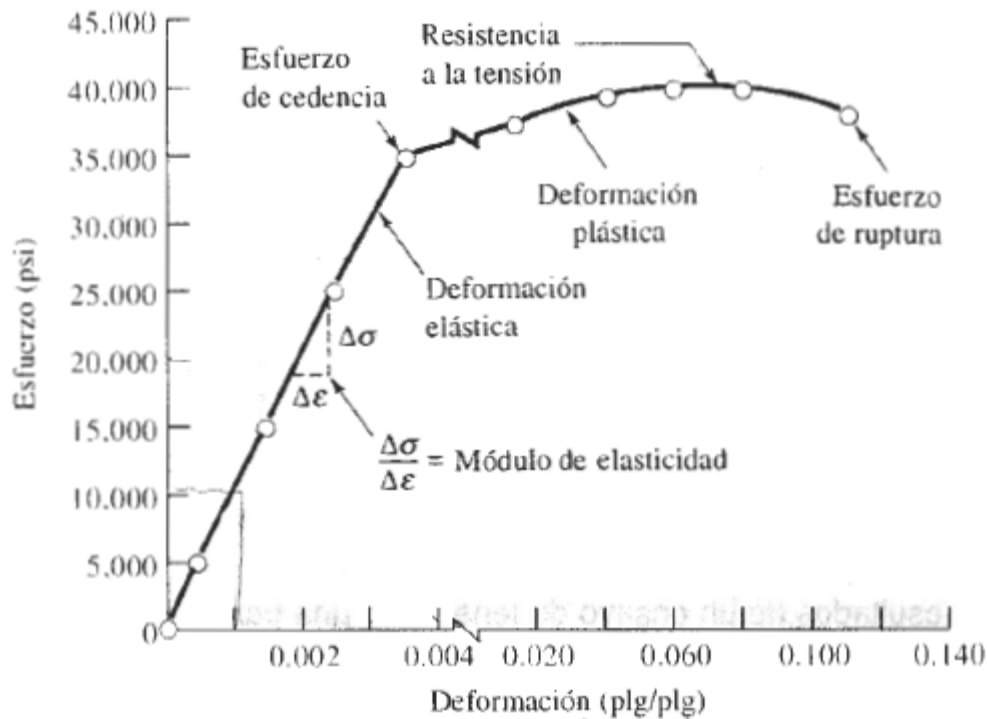
$$\text{Esfuerzo ingenieril} = \sigma = \frac{F}{A_0}$$

$$\text{Deformación ingenieril} = \epsilon = \frac{l - l_0}{l_0},$$

A_0 es el área original de la sección transversal de la probeta antes de iniciar el ensayo, l_0 la distancia inicial entre las marcas calibradas, l la distancia entre las marcas después de haber aplicado la fuerza F

PROPIEDADES MECÁNICAS

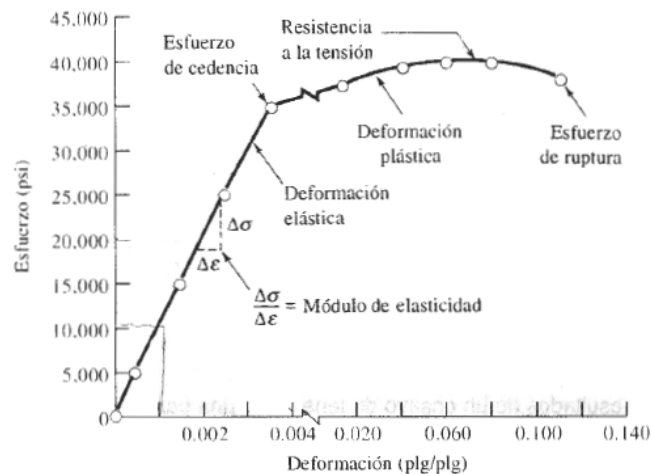
Ensayo de tracción



Con los datos obtenidos en el ensayo de tracción se construye la curva esfuerzo-deformación

Módulo de Young

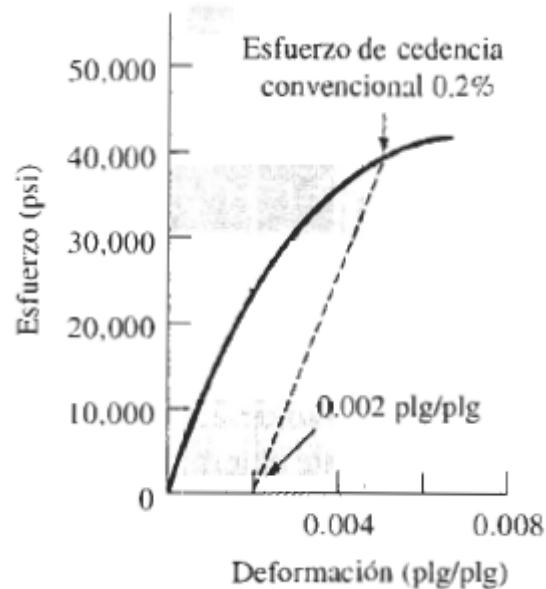
Módulo de Young (E) / módulo de elasticidad: es la pendiente de la curva esfuerzo-deformación en su región elástica. Sigue la ley de Hooke: $E = \sigma / \epsilon$. El módulo de Young representa la rigidez del material o su resistencia a la deformación elástica.



Este módulo está relacionado con la energía de enlace de los átomos. Una pendiente muy acentuada indica que se requieren grandes fuerzas para separar los átomos y hacer que el material se deforme elásticamente. La fuerza de enlace y el módulo de Young por lo general, son mayores en los materiales con alto punto de fusión.

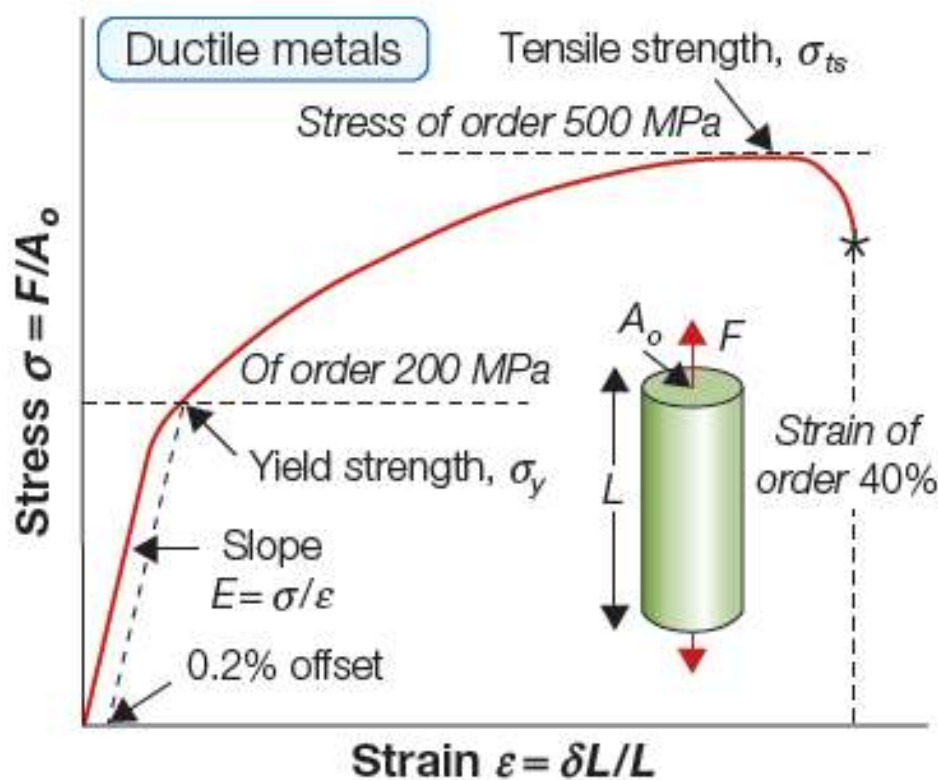
Esfuerzo de fluencia

Esfuerzo de cedencia o fluencia (σ_f): es el esfuerzo al cual la deformación plástica se hace importante. Es el esfuerzo que divide el comportamiento elástico del plástico del material. Si se desea diseñar un componente que no se deforme plásticamente, se debe seleccionar un material con un límite elástico elevado, o fabricarlo de un tamaño suficiente para que la fuerza aplicada produzca un esfuerzo que esté por debajo del esfuerzo de cedencia del material.



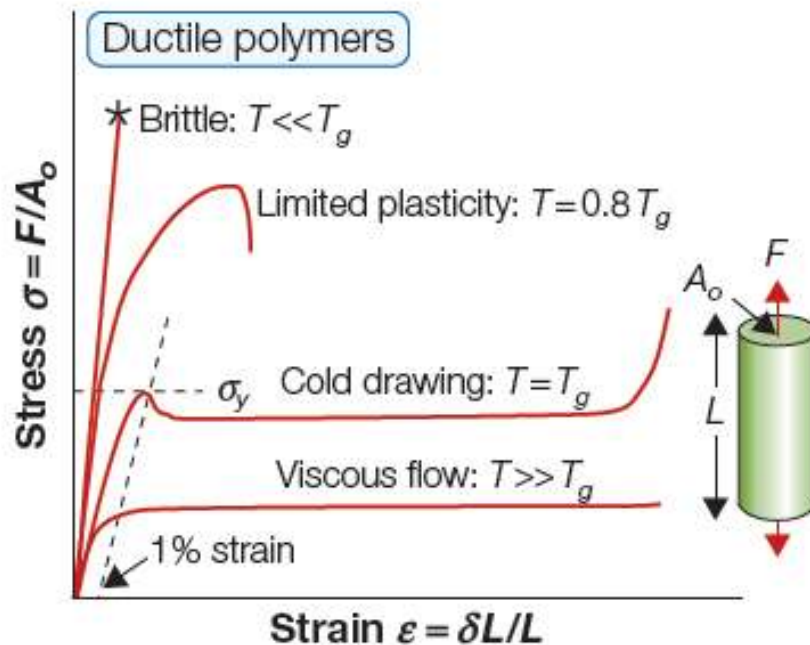
En algunos materiales, el esfuerzo de cedencia no se detecta fácilmente. En este caso, se determina un esfuerzo de cedencia convencional trazando una línea paralela a la porción inicial de la curva esfuerzo-deformación, pero desplazada hacia la derecha

Esfuerzo de fluencia



Metales: el esfuerzo de fluencia (σ_f) se determina mediante el método de "offset". Se traza una línea paralela a la porción inicial de la curva esfuerzo-deformación, pero desplazada 0.002plg/plg (0.2%). El esfuerzo calculado de este modo es similar al valor del límite elástico (σ_y) en los materiales metálicos y sus aleaciones

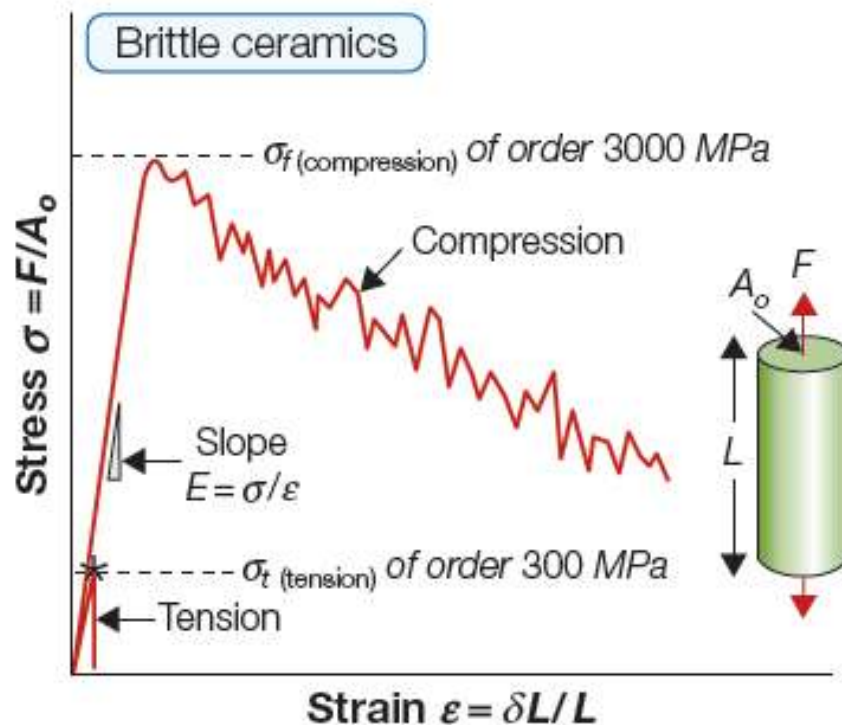
Esfuerzo de fluencia



Polímeros: el esfuerzo de fluencia se identifica como el esfuerzo al cual la curva se vuelve marcadamente no-lineal. Esto ocurre a una deformación típica de 1%. Esto es debido a desplazamientos irreversibles de las cadenas poliméricas, que generan zonas de baja densidad (“crazing”) que desvían la luz, ocasionando que el polímero luzca blanco. Los polímeros son ligeramente más resistentes a compresión que a tracción.

Esfuerzo de fluencia

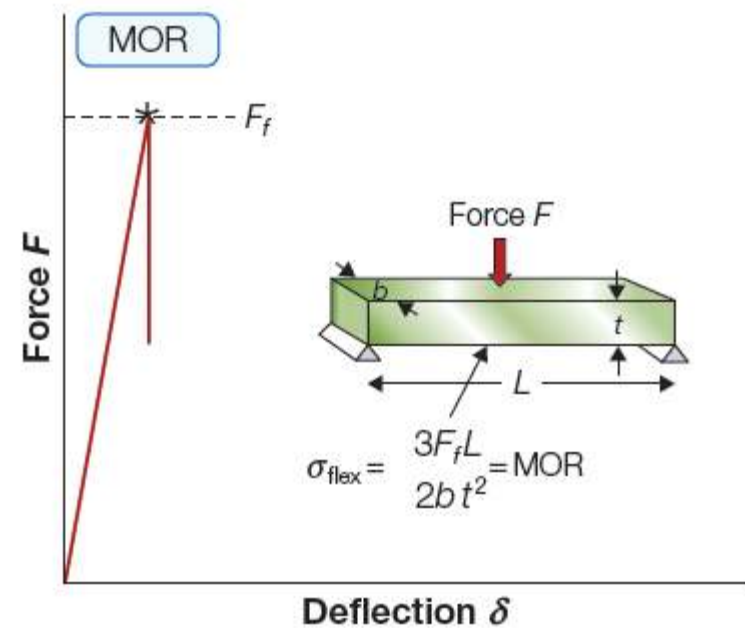
Cerámicas y vidrios: el esfuerzo de fluencia depende del modo de carga. En tracción, la resistencia del material está caracterizado por el esfuerzo de fractura (σ_t). A compresión, el esfuerzo (σ_c) es mucho mayor. Típicamente $\sigma_c = 10$ a $15 \sigma_t$.



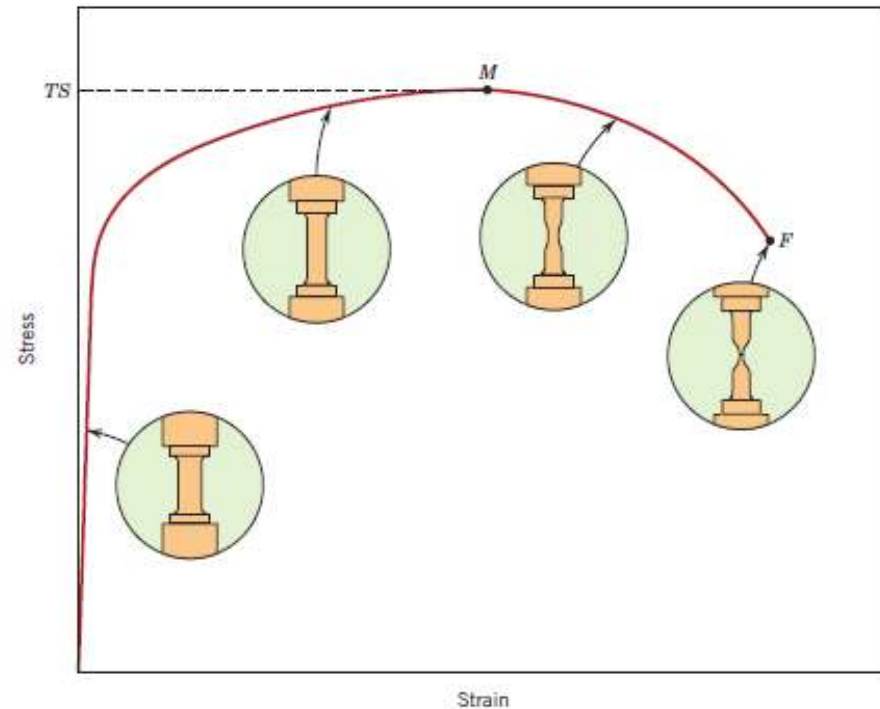
Debido a esta diferencia en comportamiento (tracción/compresión), las propiedades de los materiales cerámicos y vidrios, por lo general, se obtienen a partir de un ensayo de flexión

Esfuerzo de fluencia

En las **cerámicas y vidrios**, el módulo de ruptura (MOR) es el esfuerzo máximo que soporta una muestra sometida a flexión antes de fracturar. Este esfuerzo puede ser 1,3 veces el esfuerzo a tensión, debido a que en este tipo de ensayos la probabilidad de encontrar una grieta es pequeña (menor área) que en tracción (todas las grietas están expuestas al mismo esfuerzo)



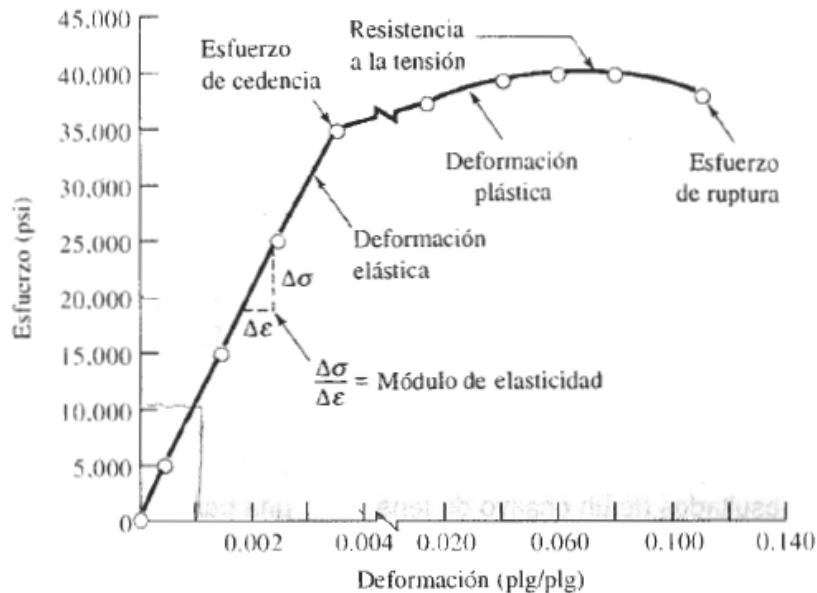
Resistencia a la tensión



Resistencia a la tensión o tracción (σ_{ts}): es el esfuerzo obtenido de la fuerza más alta aplicada. Es el esfuerzo máximo sobre la curva esfuerzo-deformación ingenieril. A partir de este punto comienza la formación del cuello en la probeta de tracción (materiales dúctiles).

PROPIEDADES MECÁNICAS

Propiedades obtenidas de un ensayo de tracción



Resilencia (E_r): es el área bajo la porción elástica de la curva esfuerzo-deformación. Es la energía elástica que un material absorbe o libera durante la aplicación y liberación de la carga aplicada.

En el caso de un comportamiento lineal:

$$E_r = \frac{1}{2}(\text{esfuerzo de cedencia})(\text{deformación al esfuerzo de cedencia})$$

Propiedades obtenidas de un ensayo de tracción

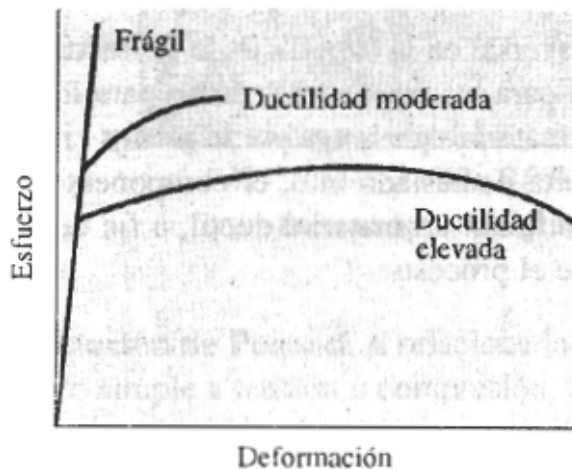
Ductilidad: es el grado de deformación que puede soportar un material sin romperse.

1. Se puede medir la distancia entre las marcas calibradas en una probeta antes y después del ensayo de tracción. El % de elongación representa la distancia que la probeta se alarga plásticamente antes de la fractura

$$\% \text{ de elongación} = \frac{l_f - l_0}{l_0} \times 100,$$

2. Se puede calcular el cambio porcentual en el área de la sección transversal en el punto de fractura antes y después del ensayo. El % de reducción en área expresa el adelgazamiento sufrido por el material durante la prueba

$$\% \text{ de reducción en área} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} \times 100,$$



3. Se puede medir el área debajo de la curva esfuerzo-deformación

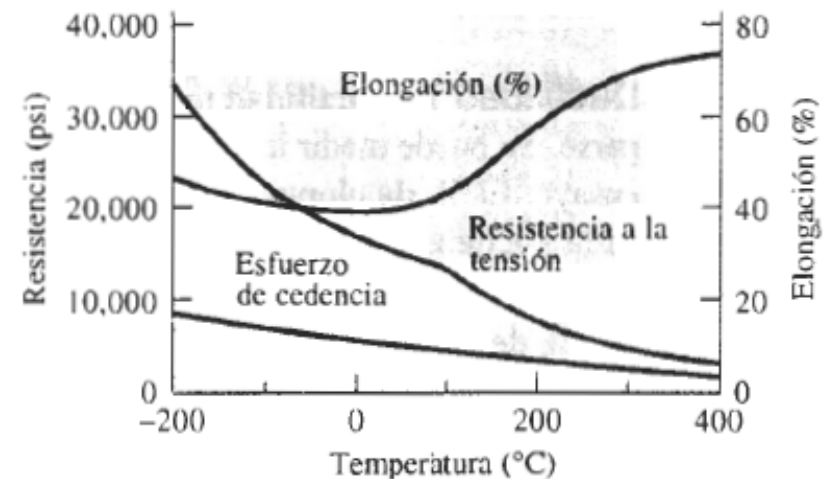
PROPIEDADES MECÁNICAS

Efecto de la Temperatura

Las propiedades a tracción dependen de la temperatura. El esfuerzo de cedencia, la resistencia a la tracción y el módulo de Young disminuyen a temperaturas más altas, en tanto que, la ductilidad se incrementa.



(a)

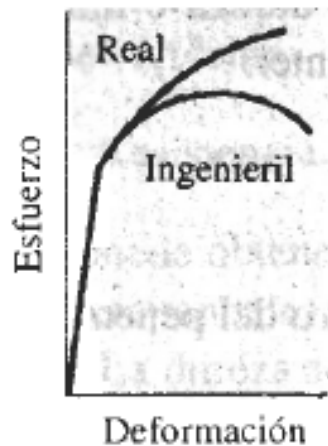


(b)

PROPIEDADES MECÁNICAS

Esfuerzo real y deformación real

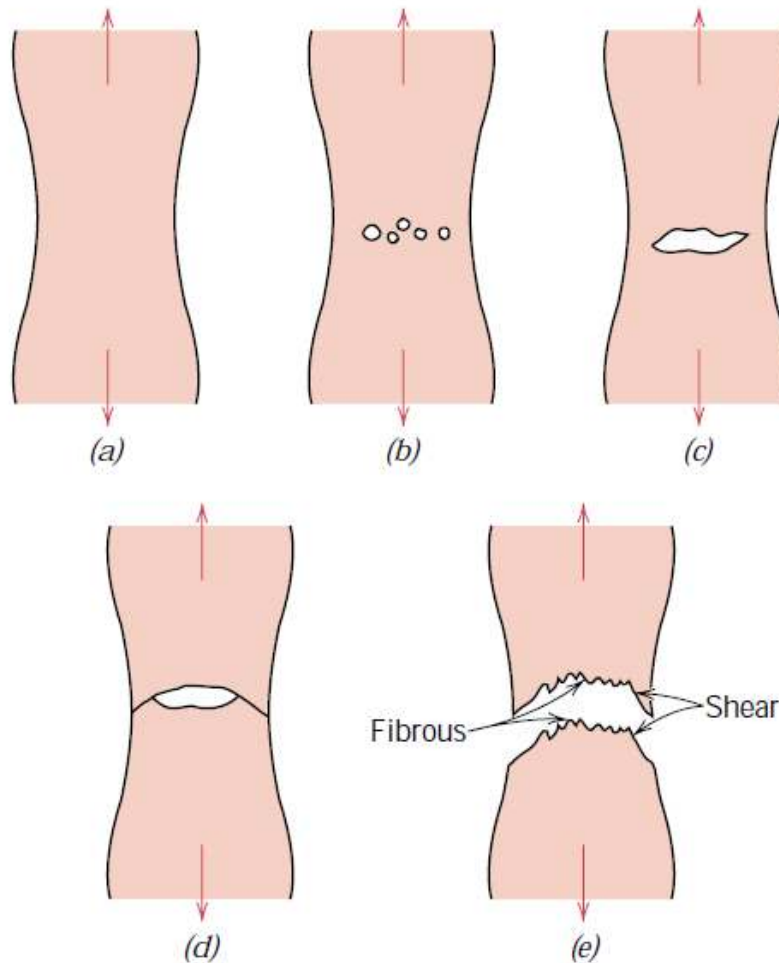
La reducción en el esfuerzo, mas allá de la resistencia a la tensión ocurre en razón a la definición de esfuerzo ingenieril; donde se considera constante el área transversal de la probeta. Sin embargo, esto no es así, ya que el área se modifica constantemente (formación del cuello)



$$\text{Esfuerzo real} = \sigma_r = \frac{F}{A}$$

$$\text{Deformación real} = \int \frac{dl}{l} = \text{Plg} \left(\frac{l}{l_0} \right) = \text{Plg} \left(\frac{A_0}{A} \right),$$

Mecanismo de falla



Fractura tipo copa-cono en los materiales dúctiles debido a la formación del cuello:

1. Formación inicial del cuello al alcanzar el esfuerzo máximo o resistencia a la tracción
2. Formación de cavidades debido a la presencia de impurezas, bordes de granos, defectos
3. Coalescencia de las cavidades para formar una grieta
4. Propagación de la grieta
5. Fractura final a 45° (labio) con respecto a la dirección del esfuerzo

PROPIEDADES MECÁNICAS

Morfología luego de un ensayo de tracción



(a)

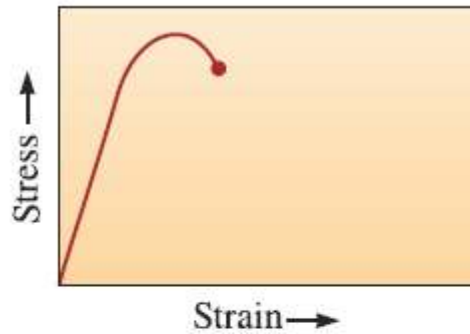


(b)

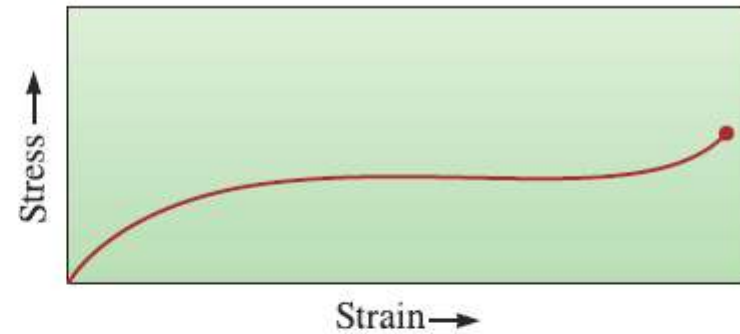
PROPIEDADES MECÁNICAS

Curva esfuerzo – deformación

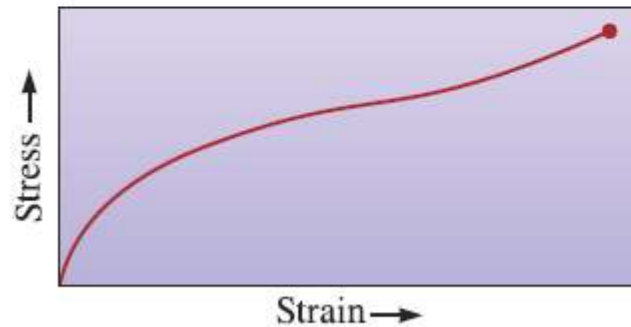
(a) Metal



(b) Thermoplastic material above T_g



(c) Elastomer



(d) Ceramics, glasses, and concrete

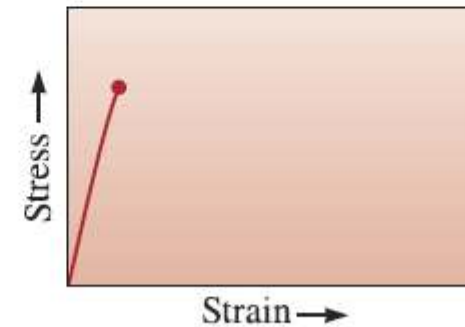
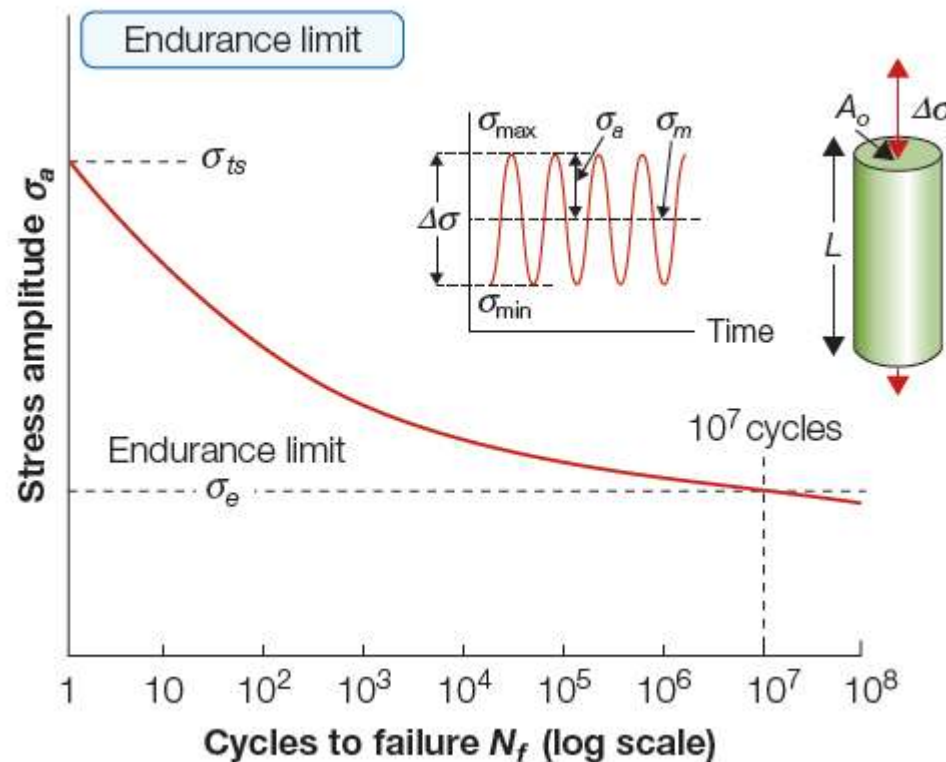


Figure 6-6 Tensile stress–strain curves for different materials. Note that these are *qualitative*. The magnitudes of the stresses and strains should not be compared.



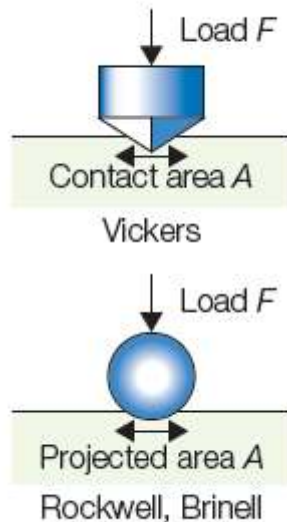
La aplicación de cargas cíclicas puede favorecer el crecimiento de una grieta, lo que lo lleva al material a fallar por fatiga a un esfuerzo menor que el esfuerzo máximo (curva esfuerzo-deformación). Para la mayoría de los materiales, existe un límite de resistencia (σ_e).

Este límite es el esfuerzo por debajo del cual la fractura no ocurre, o sólo ocurre a ciclos muy altos ($N_f > 10^7$ ciclos)

Dureza

- ✓ Los esfuerzos de tracción, compresión, flexión o fatiga son destructivos. Se preparan probetas de dimensiones específicas y se someten al ensayo hasta fallar.
- ✓ Un ensayo (no destructivo) de utilidad para predecir las propiedades mecánicas de los materiales es el de dureza. Para medir la **dureza (H en MPa)** es necesario presionar con un indentador de punta de diamante o una bola de acero endurecido sobre la superficie del material. La dureza se define como relación entre la fuerza que ejerce el indentador y el área de la huella dejada por dicha indentación.
- ✓ El valor de la dureza está relacionado con el esfuerzo de fluencia del material:

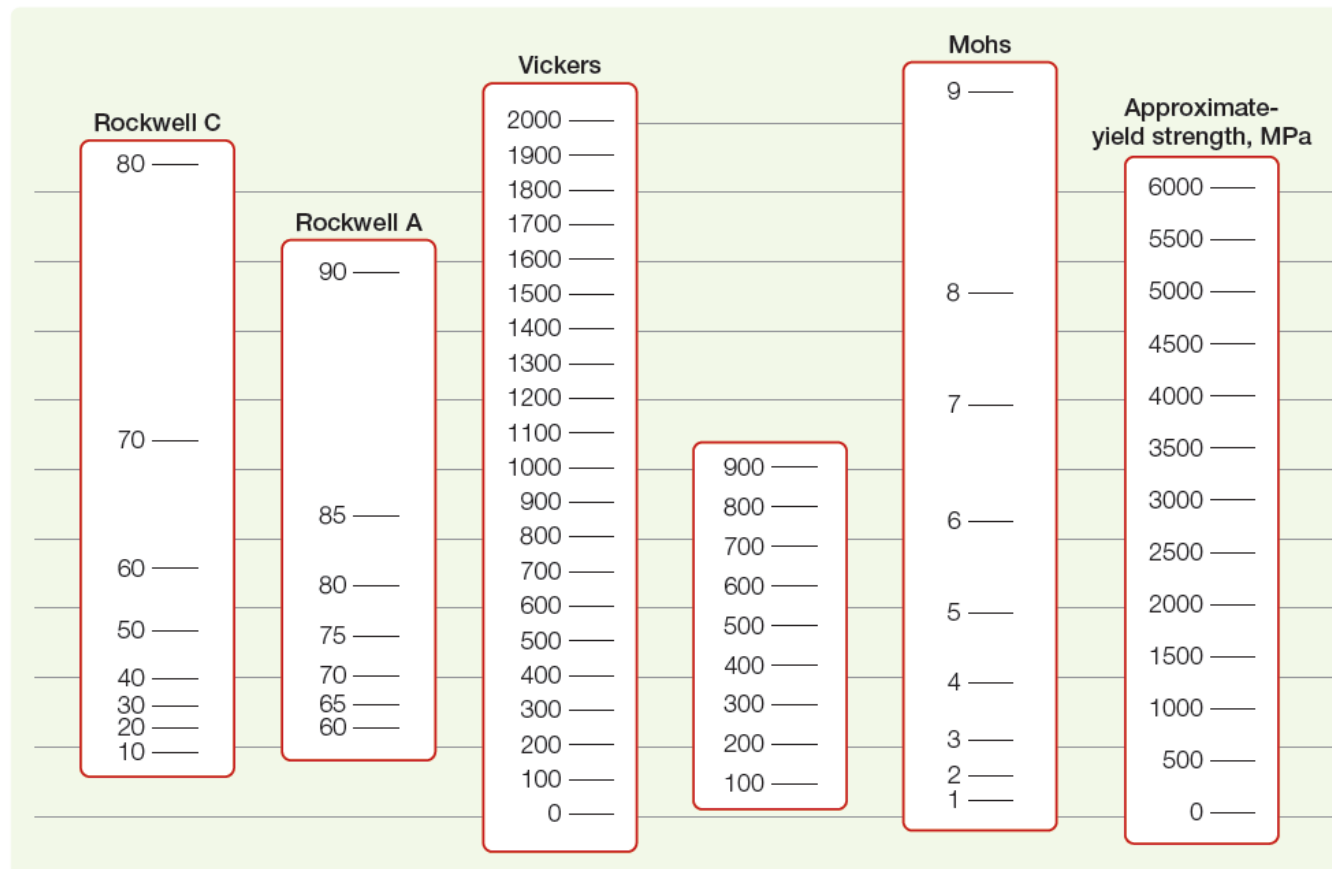
$$H \approx 3\sigma_f$$



PROPIEDADES MECÁNICAS

Dureza

La dureza puede ser medida en diferentes escalas. Algunas de las mas comunes son la escala de dureza Vickers ($H_v = H/10$), la escala de dureza Rockwell (HRA, HRC, etc) y la escala de dureza Brinell (HB)



Tenacidad

La tenacidad, G_{1c} (kJ/m^2), y la tenacidad a la fractura, K_{1c} ($\text{MPa/m}^{1/2}$ o $\text{MN/m}^{1/2}$) miden la resistencia del material a la propagación de una grieta. Para medir la tenacidad a la fractura, se utiliza un material al que se le ha generado deliberadamente una grieta de longitud $2c$ y se registra el esfuerzo σ^* al que la grieta se propaga. Luego, los valores de la tenacidad y la tenacidad a la fractura se pueden calcular a partir de las siguientes expresiones:

$$K_{1c} = Y\sigma^* \sqrt{\pi c}$$

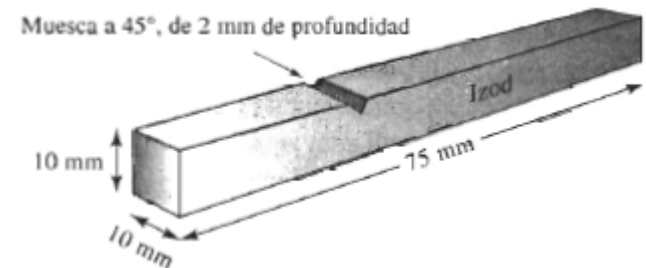
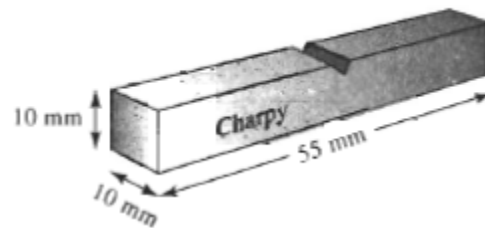
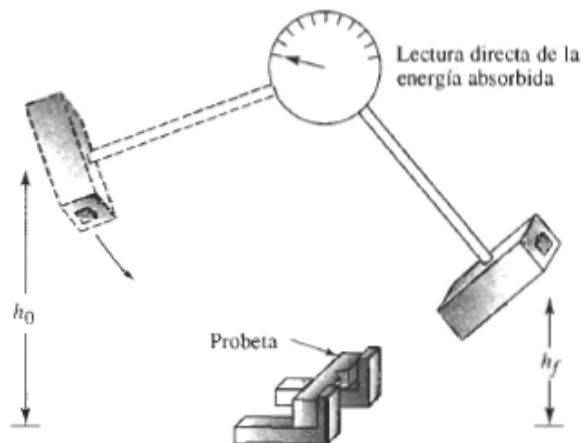
$$G_{1c} = \frac{K_{1c}^2}{E(1 + \nu)}$$

Donde Y es un factor geométrico (cercano a la unidad) dependiente de la geometría de la muestra, E el módulo de Young y ν el coeficiente de Poisson. El coeficiente de Poisson es una medida de cuanto se contrae un material en una dirección, cuando éste se deforma bajo tracción en una dirección perpendicular.

Impacto

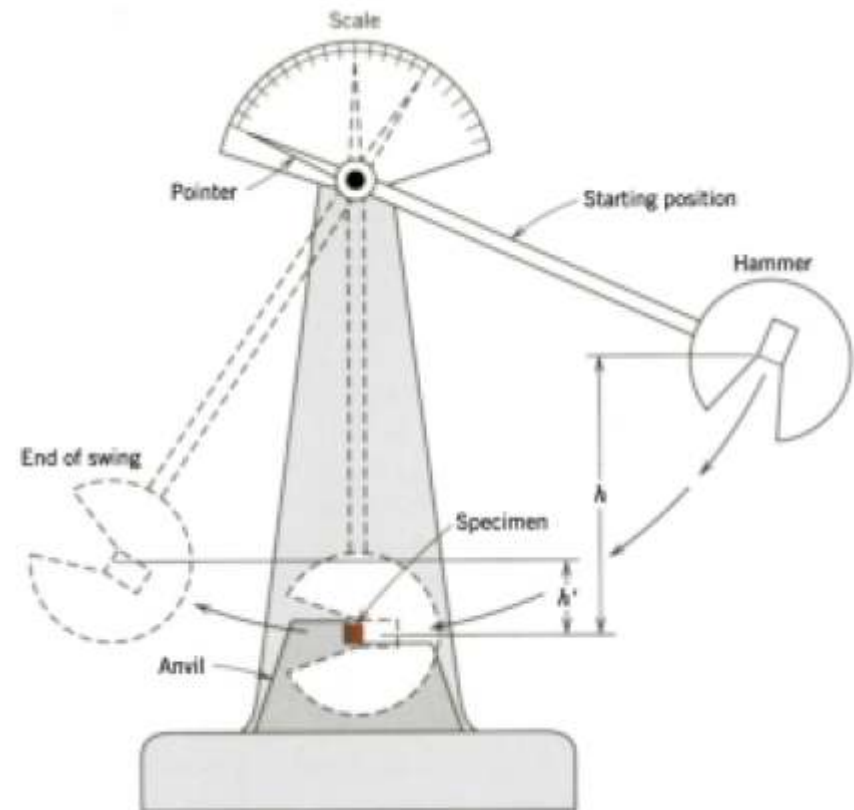
Cuando se somete a un material a un golpe súbito e intenso, el material puede tener un comportamiento más frágil que el que normalmente presentaría en un ensayo de tracción.

El **ensayo de impacto** se utiliza para medir la fragilidad de un material bajo estas condiciones. Se han diseñado muchos procedimientos, entre los cuales se encuentran el **ensayo Charpy** y el **ensayo Izod**. El ensayo Izod generalmente se utiliza para evaluar materiales no metálicos; pero ambos se basan en el mismo mecanismo.



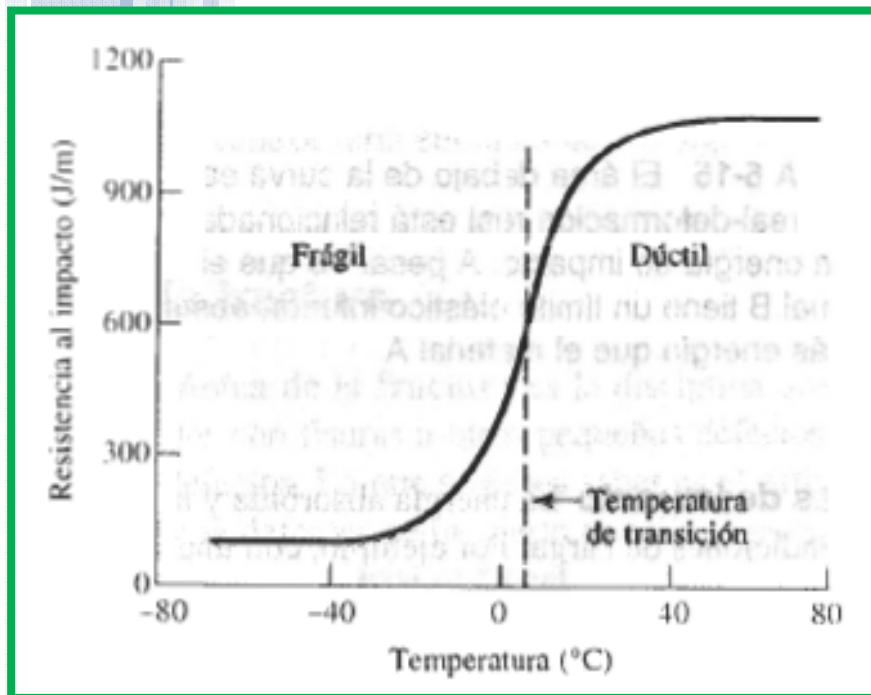
Impacto

1. Durante el ensayo, un péndulo pesado, que inicia su movimiento desde una altura h_o , describe un arco y posteriormente golpea y rompe una probeta, alcanzando una altura final h_f .
2. Si se conoce la altura inicial y la altura final (h_o y h_f), se puede calcular la diferencia de energía potencial.
3. Esta diferencia de energía es la energía de impacto absorbida durante la falla o ruptura de la probeta



Impacto

Temperatura de transición: es la temperatura a la cual un material cambia de comportamiento dúctil a frágil.



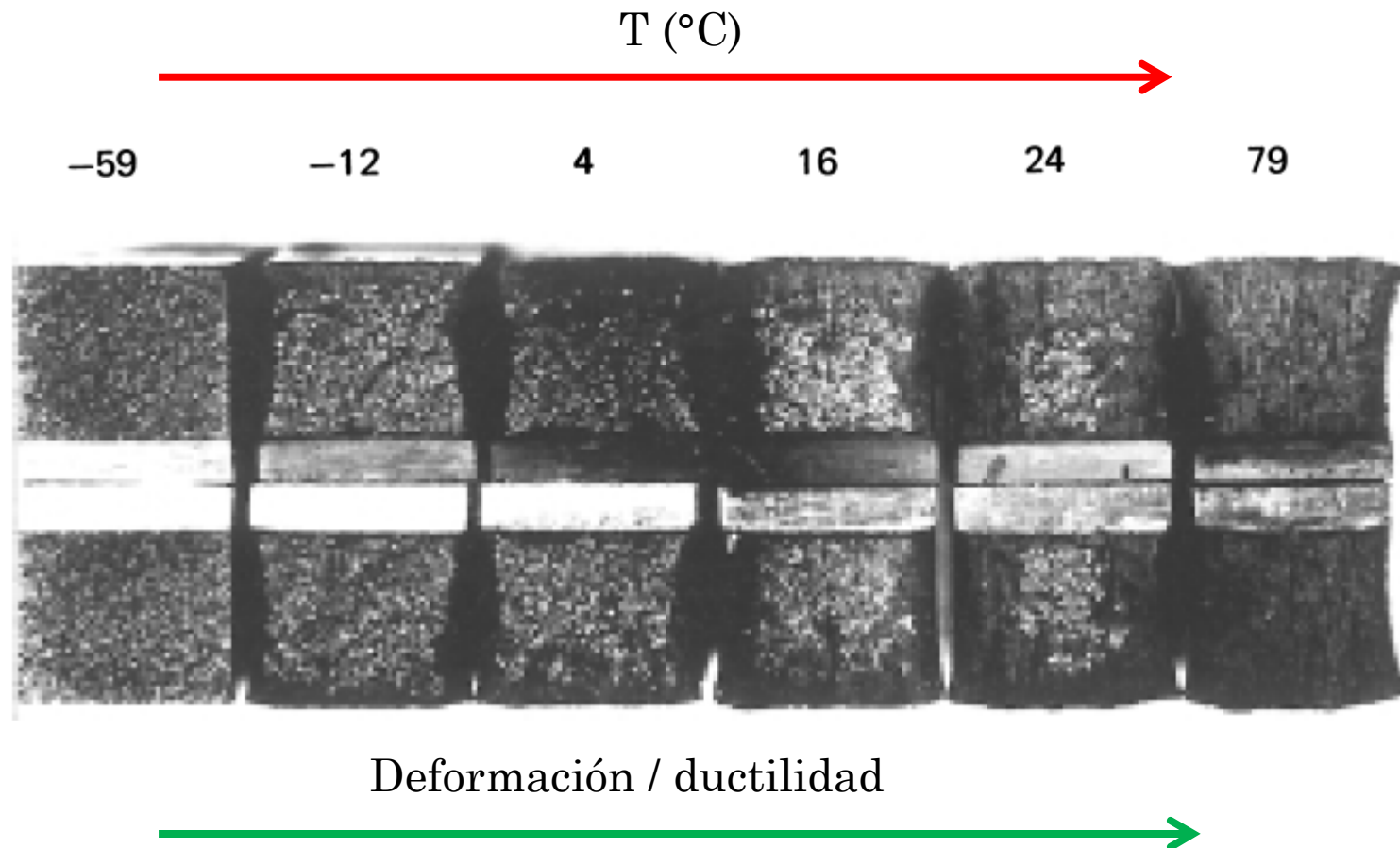
Esta temperatura puede definirse en función de:

- ✓ La energía promedio entre las regiones dúctil y frágil
- ✓ Una energía absorbida específica
- ✓ Las características de la superficie de fractura

No todos los materiales tienen una temperatura de transición bien definida: los metales bcc tienen temperatura de transición, pero la mayoría de los materiales fcc no tiene

PROPIEDADES MECÁNICAS

Impacto

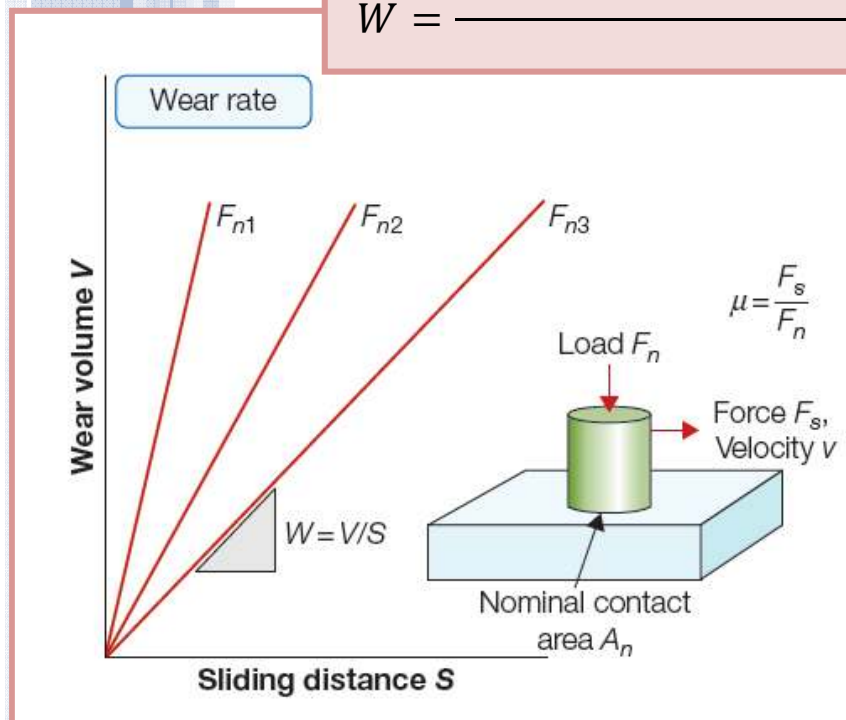


Morfología de muestras ensayadas bajo impacto a distintas temperaturas

Desgaste

El **desgaste** es la pérdida de material debido al movimiento relativo entre dos superficies. La velocidad a la cual ocurre dicha pérdida es la velocidad de desgaste, W (m^2). La resistencia al desgaste de una superficie está caracterizada por la constante de Archard (K_A en $1/\text{MPa}$)

$$W = \frac{\text{volumen de material removido por el contacto entre las superficies}}{\text{Distancia de deslizamiento}}$$



$$\frac{W}{A} = K_A P$$

Donde A es el área de contacto y P la fuerza normal ejercida entre las dos superficies. Aunque K_A está tabulado, hay que tener especial cuidado

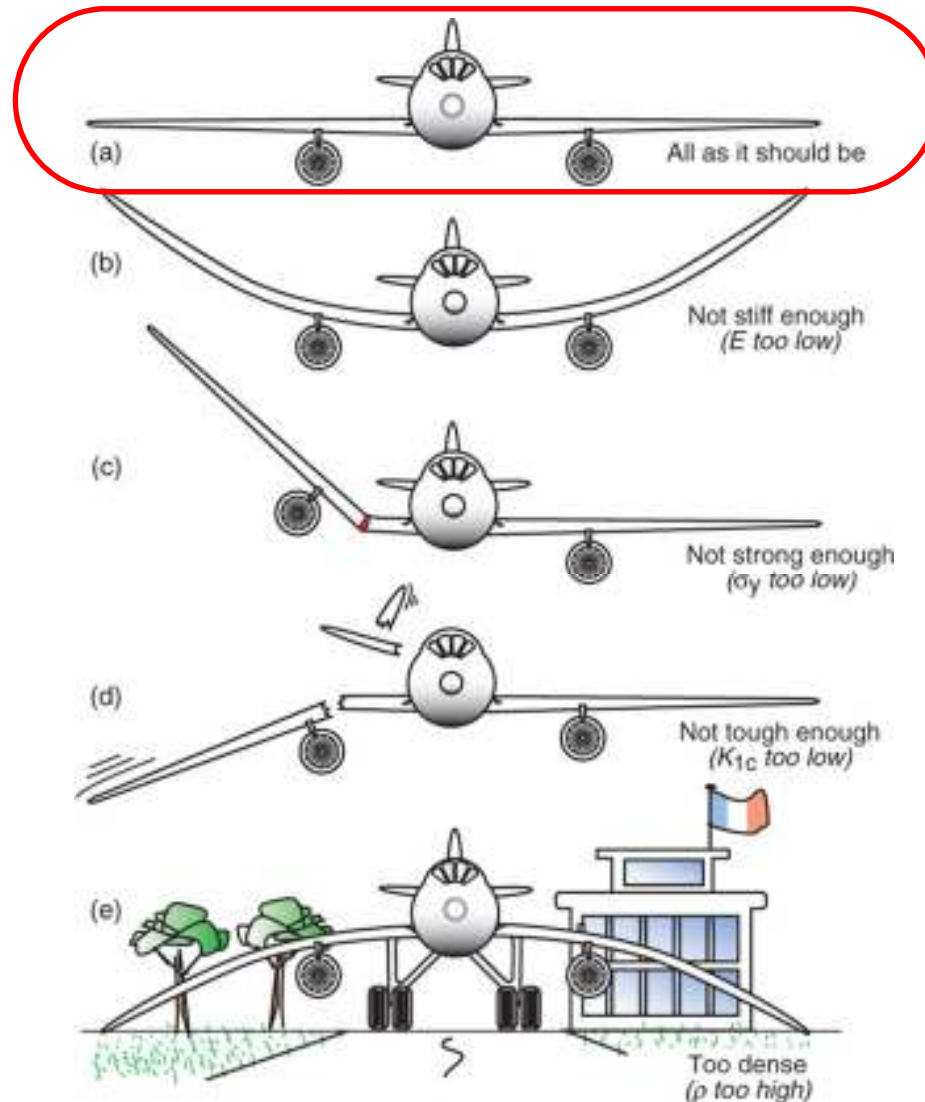
PROPIEDADES MECÁNICAS

Módulo de Young (E)

Esfuerzo de fluencia (σ_y)

Tenacidad a la fractura (K_{1c})

Densidad (ρ)



El material no es suficientemente rígido

El material no es suficientemente resistente

El material no es tenaz

El material tiene alta densidad

Temperaturas

La **temperatura de fusión** (T_m) y la de **transición vítrea** (T_g) se relacionan directamente con la resistencia de los enlaces del sólido.

- ✓ Los sólidos cristalinos tiene una temperatura de fusión bien definida, con un cambio de fase sólido-líquido a una temperatura fija que caracteriza al material.
- ✓ Los sólidos no-cristalinos (amorfos) no presentan este cambio de fase; en estos materiales la temperatura de transición vítrea es la que caracteriza el momento en el cual el sólido pasa a ser un líquido viscoso.

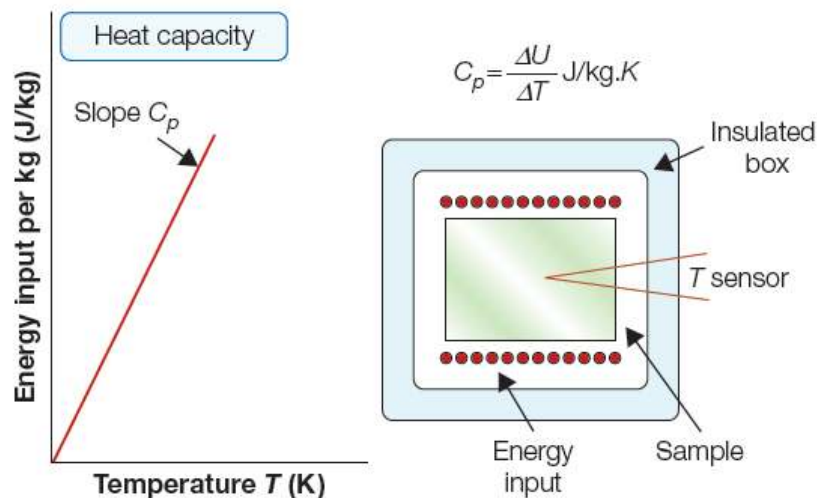


Otras dos temperaturas que caracterizan el comportamiento de los materiales son la **temperatura máxima y mínima de servicio** (T_{max} y T_{min}). La primera indica la temperatura máxima a la que se puede utilizar el material sin que haya oxidación excesiva, cambio químico o deformación apreciable. La segunda temperatura indica el valor por debajo del cual el material se vuelve frágil

Capacidad calórica

La **capacidad calórica** o el **calor específico** (J/kg,K) es la energía necesaria para aumentar la temperatura de 1kg de material en 1K.

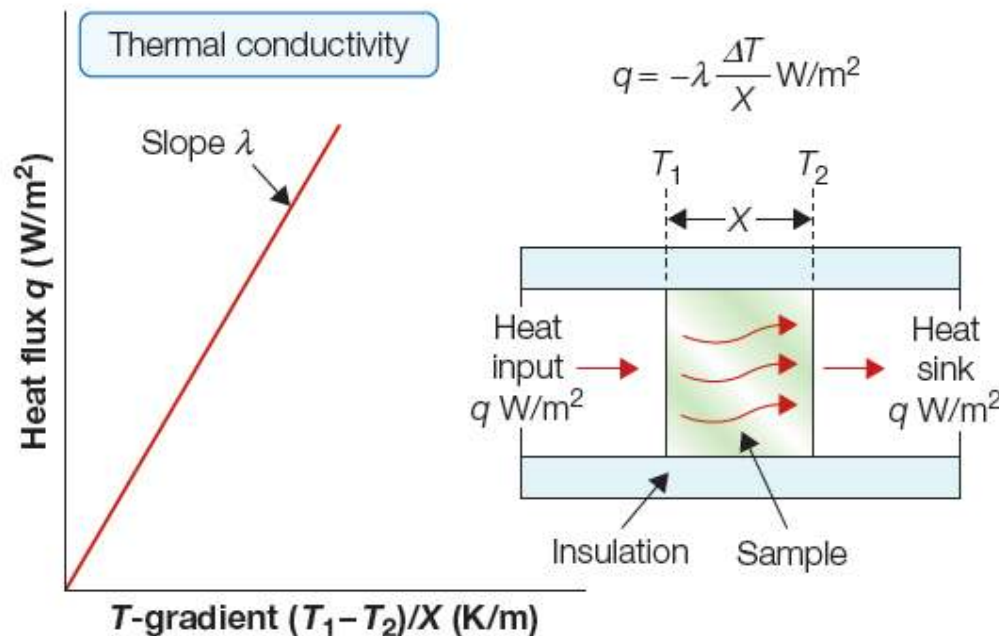
- ✓ Para los **sólidos**, esta medida se realiza a presión constante (atmosférica), por lo que el término se denomina como C_p .
- ✓ Para los **gases**, el calor específico se mide a volumen constante y se denomina C_v . Para los gases C_v y C_p no son iguales, para los sólidos estas medidas son casi iguales.



La **capacidad calórica** es medida utilizando un calorímetro, en el cual se imprime una cantidad de energía (energía eléctrica) a una muestra de material de masa conocida. Se registra el aumento de la temperatura en función de la energía aplicada al sistema y se calcula C_p

Conductividad térmica

La velocidad a la cual el calor es conducido a través de un sólido, en estado estacionario, es medido mediante la **conductividad térmica** λ (W/m.K). Para ello se registra el flujo de calor q (W/m²) que fluye a través de un material desde una superficie a alta temperatura (T_1) hacia una de menor temperatura (T_2), separados una distancia x .



La conductividad se calcula a partir de la ley de Fourier:

$$q = -\lambda \frac{dT}{dX} = \lambda \frac{(T_1 - T_2)}{X}$$

PROPIEDADES TÉRMICAS

Difusividad térmica

En estado no-estacionario, el flujo de calor depende de la difusividad térmica a (m²/s), la cual se define como:

$$a = \frac{\lambda}{\rho C_p}$$

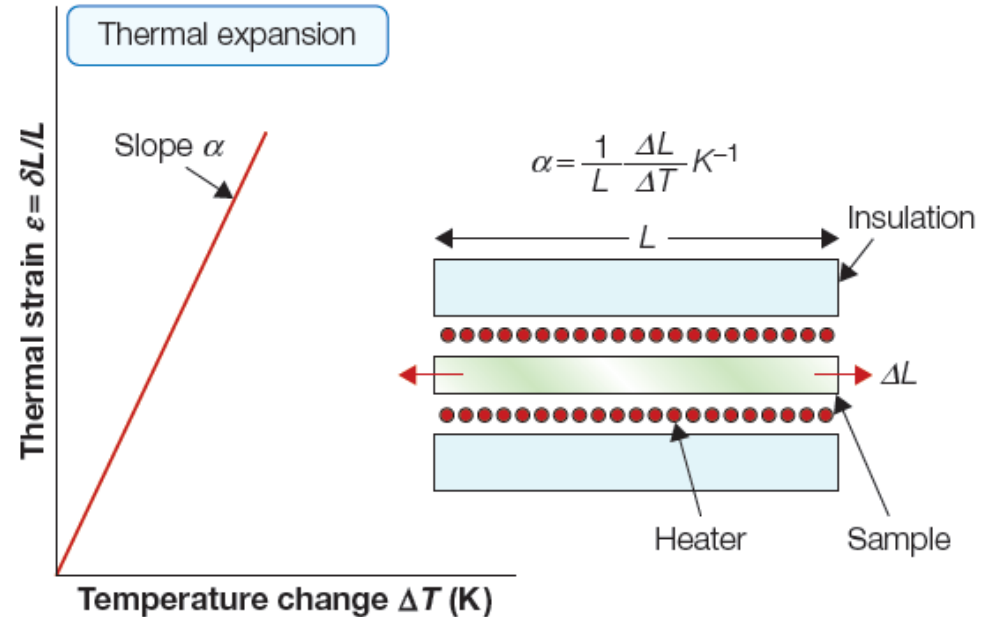
Donde, ρ es la densidad y C_p la capacidad calórica. La difusividad térmica se puede medir directamente registrando la caída de temperatura cuando una fuente de calor (aplicada al material) es apagada. La distancia (x) de difusión del calor en un tiempo t es aproximadamente:

$$x \approx \sqrt{2\alpha t}$$

PROPIEDADES TÉRMICAS

Coefficiente de expansión térmica

La mayoría de los materiales se expanden cuando están expuestos al calor. La deformación térmica por el aumento de un grado de temperatura es medido a través del **coeficiente de expansión térmica** α (K^{-1}).

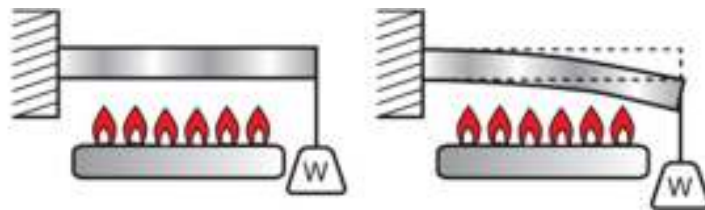


Choques térmicos / Termofluencia

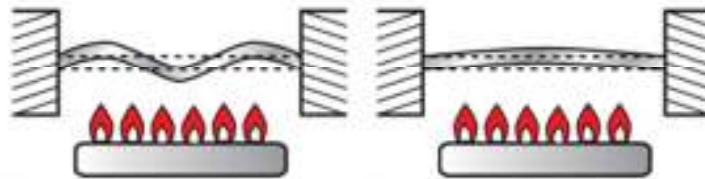
1. La **resistencia a los choques térmicos** ΔT_s (en K o °C) es la máxima diferencia de temperatura que se le puede aplicar a un material sin que éste se agriete.
2. La **resistencia a la termofluencia** de los materiales es un aspecto que se debe tomar en cuenta cuando se diseña para condiciones a altas temperaturas. La termofluencia es la deformación lenta (dependiente del tiempo) que presentan los materiales cuando son expuestos a temperaturas cercanas a $\frac{1}{3}T_m$ o $\frac{2}{3}T_g$. El diseño de materiales resistentes a la termofluencia es un campo especializado; sin embargo, es seguro utilizar un material, si éste se mantiene a $T < T_{\max}$

PROPIEDADES TÉRMICAS

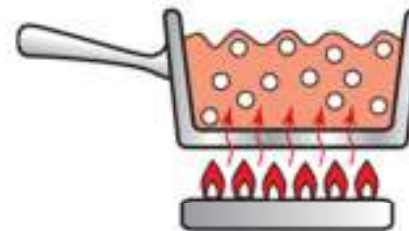
Propiedades Térmicas



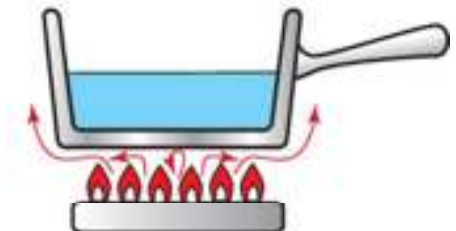
(a) High service temperature T_{max} Low service temperature T_{max}



(b) High expansion coefficient α Low expansion coefficient α



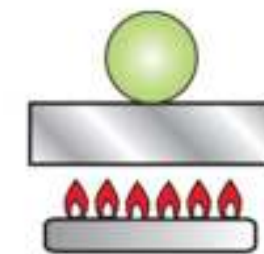
(c) High conductivity λ



Low conductivity λ



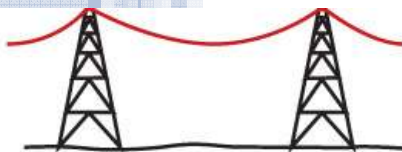
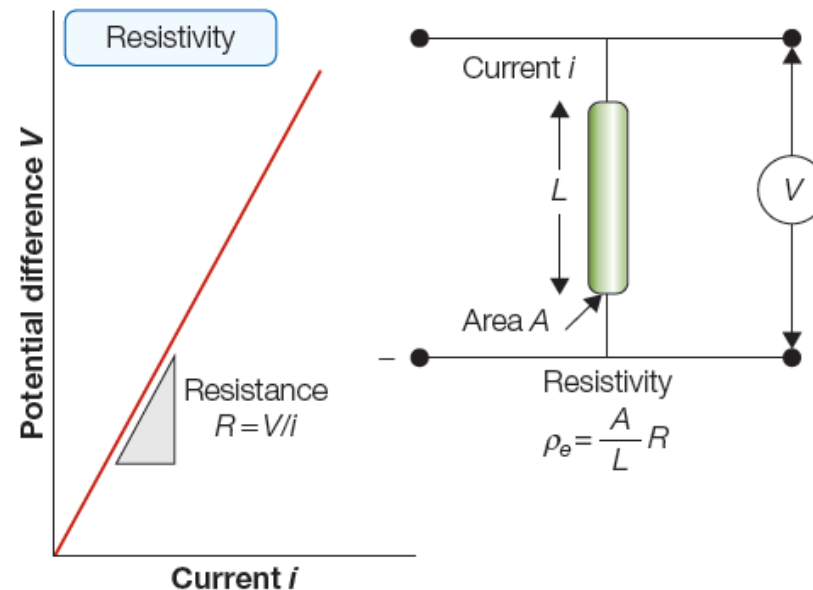
(d) High T-diffusivity a



Low T-diffusivity a

Resistividad / Conductividad

- ✓ La resistividad eléctrica ρ_e ($\Omega \cdot m$) es la resistencia de una unidad cúbica con una diferencia de potencial unitario entre un par de sus caras. Puede tener un amplio rango de valores, desde 10^{-8} $\Omega \cdot m$ en los buenos conductores hasta más de 10^{16} $\Omega \cdot m$ en los mejores materiales aislantes.
- ✓ La conductividad eléctrica κ_e (S/m o $(\Omega \cdot m)^{-1}$) es el inverso de la resistividad.

High resistivity ρ_e (a) Low resistivity ρ_e 

PROPIEDADES ELÉCTRICAS

Constante dieléctrica

- ✓ Cuando un material aislante (dieléctrico) es colocado en campo eléctrico, éste se polariza, apareciendo cargas en su superficie que tienden formar una barrera o pantalla que reduce el campo eléctrico en el interior.
- ✓ La tendencia a polarizarse es medida mediante la **constante dieléctrica** (ϵ_r adimensional).
- ✓ Su valor en el espacio libre y en la mayoría de los gases es 1. La mayoría de los materiales aislantes tiene valores entre 2 y 30.

PROPIEDADES ÓPTICAS

Índice de refracción

- ✓ Todos los materiales permiten el paso al menos de una pequeña porción de luz: En los metales, esta fracción es muy pequeña.
- ✓ La velocidad de la luz en el material (v) es siempre menor que la velocidad de la luz en el vacío (c). Como consecuencia, un haz de luz que incide sobre una superficie a un ángulo α , va a entrar al material a un ángulo de refracción β .
- ✓ El **índice de refracción (n)** es la relación entre la velocidad de la luz en los dos medios distintos.

$$n = \frac{c}{v} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$

PROPIEDADES ÓPTICAS

Índice de refracción



El índice de refracción y la constante dieléctrica están relacionadas

$$n \approx \sqrt{\epsilon_r}$$

El índice de refracción depende de la longitud de onda del haz incidente y, por lo tanto, del color de la luz. Mientras mas denso es el material, mayor es ϵ_r y mayor es n . Cuando $n=1$, la luz incidente penetra completamente el material; pero cuando $n>1$, algo se refleja. Si la superficie está lisa y pulida, se refleja en forma de haz; si es rugosa se difracta. El porcentaje reflejado (R) está relacionado con n

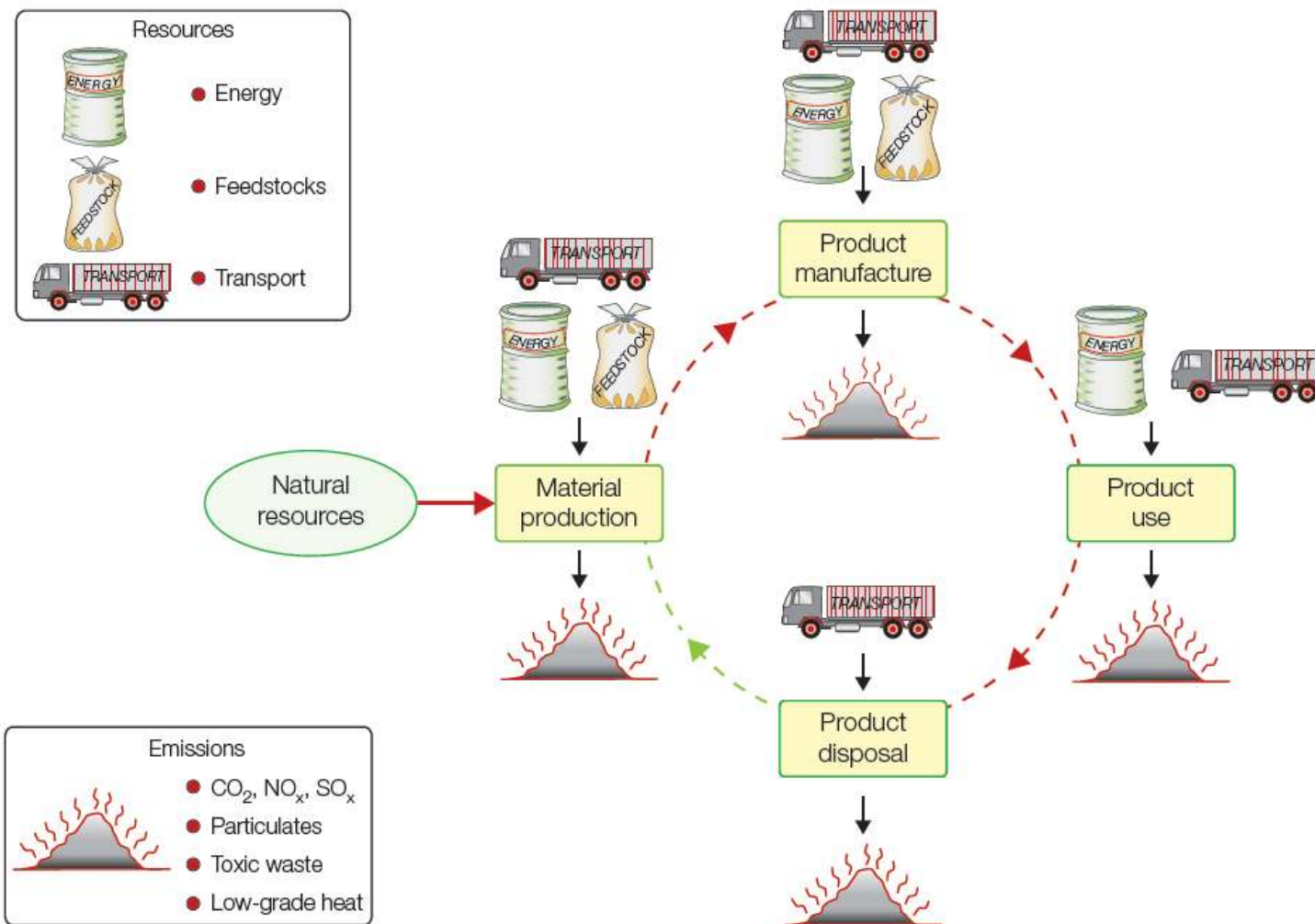
$$R = \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2 \times 100$$



- ✓ La **energía almacenada** (MJ/kg) es la energía requerida para producir 1kg de material. Este es un indicador ambiental que toma en cuenta la energía necesaria para extraer el mineral del suelo, transportarlo, procesarlo, transformarlo, hasta obtener el material final.
- ✓ La **huella de CO₂** (kg/kg) es la masa de dióxido de carbono liberada hacia la atmósfera durante la producción de 1kg de material

ECO-PROPIEDADES

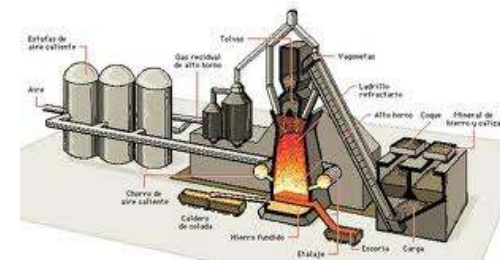
Ciclo de Vida de los Materiales



ECO-PROPIEDADES

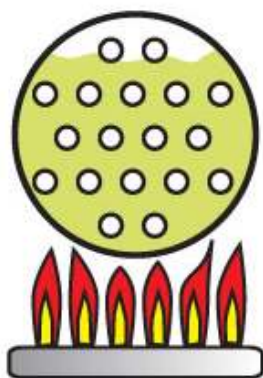
MATERIAL	PROCESO	EJEMPLOS
Minerales metálicos	Extraer el mineral del subsuelo	Minería a cielo abierto, minas subterránea
Metales	Extracción y refinación	Horno (Fe), Alúmina (Al)
Aleaciones	Extracción y fusión de metales	(y fusión) de metales
Piezas	Formación de la forma deseada	Fundición y vaciado en moldes, mecanizado

SUSTENTABLE



MT-1113

PROPIEDADES QUÍMICAS



Oxidation



UV radiation



Fresh water



Salt water



Acids and alkalis



Organic solvents

MATERIALES

Ciencias e Ingeniería de los Materiales

Campo interdisciplinario que se ocupa de inventar nuevos materiales y mejorar los ya conocidos

Estructura ↔ Propiedades ↔ Procesamiento

Cs. de los
materiales

Ing. de los
materiales



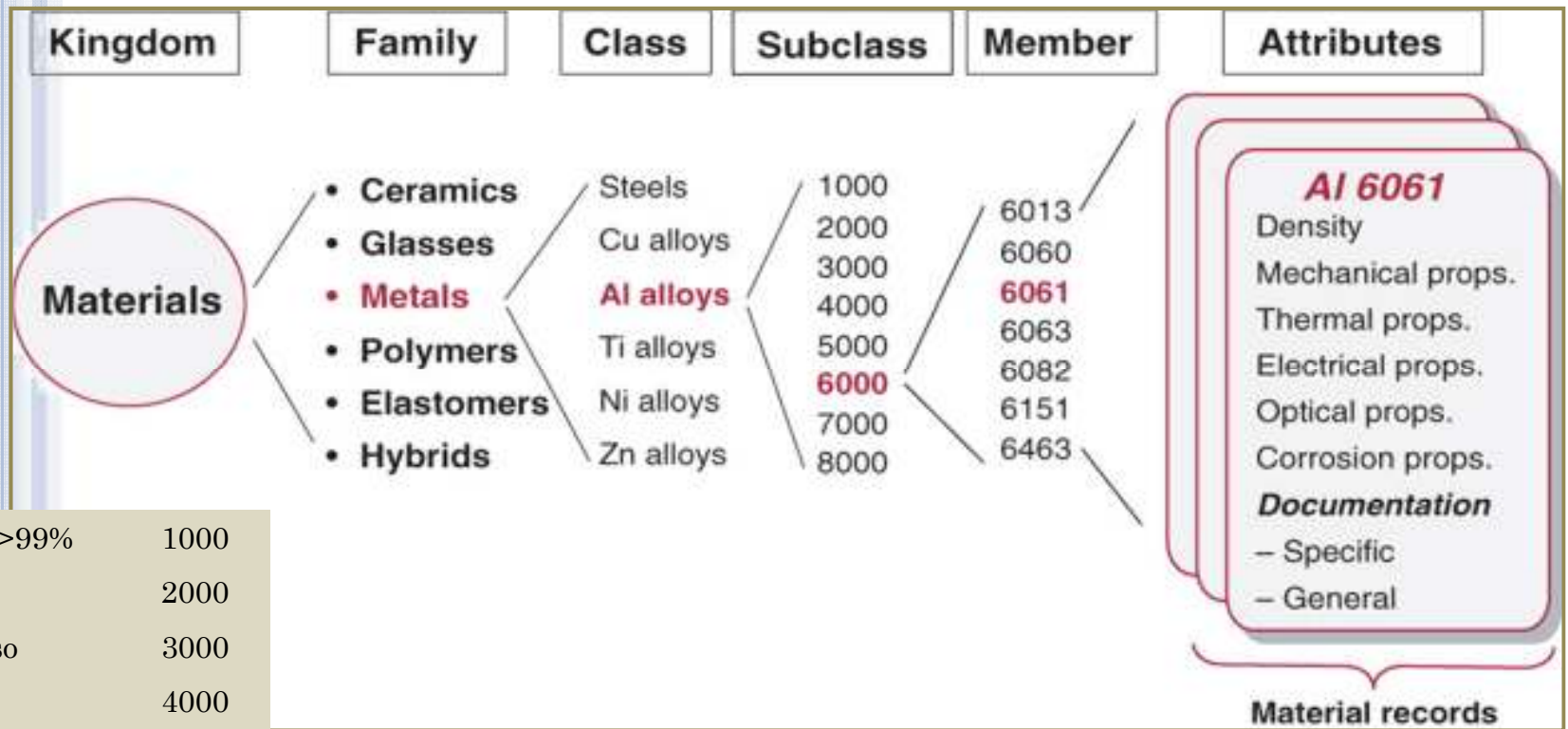
Puente General Rafael
Urdaneta (8.7km)



Puente Qingdao Haiwan
(42.5km)

CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES

Familias, Clases y Sub-classes



Aluminio >99%	1000
Cobre	2000
Manganeso	3000
Silicio	4000
Magnesio	5000
Magnesio y silicio	6000
Cinc	7000
Otros elementos	8000

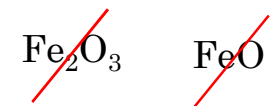
METALES Y ALEACIONES

En el caso de los elementos con isótopos no estables, entre parentesis se encuentran las masas de aquellos isótopos que son más estables o más abundantes.

Tarjeta Periódica Diseño e Interface de Copyright © 1997 Michael Dayah. Pídale con Última actualización 12/02/2012

Aleación: mezcla homogénea de dos o mas elementos (en su estado elemental), donde al menos uno es de origen metálico. Dicha mezcla se realiza a altas temperaturas, a $T \geq T_{\text{fusión}}$ de todos los elementos que lo componen (todos los elementos están en fase líquida)

Acero \rightarrow Fe (metal) + C (no metal) + otros elementos



METALES Y ALEACIONES

Materiales Ferrosos

Principal elemento aleante Fe

Más del 90% de los materiales metálicos utilizados por el hombre son aleaciones ferrosas, lo que representa una inmensa familia de materiales con un amplio rango de estructuras y propiedades

Metal	Typical composition (wt%)	Typical uses
Low-carbon ("mild") steel	Fe + 0.04 to 0.3 C (+ \approx 0.8 Mn)	Low-stress uses. General constructional steel, suitable for welding.
Medium-carbon steel	Fe + 0.3 to 0.7 C (+ \approx 0.8 Mn)	Medium-stress uses: machinery parts – nuts and bolts, shafts, gears.
High-carbon steel	Fe + 0.7 to 1.7 C (+ \approx 0.8 Mn)	High-stress uses: springs, cutting tools, dies.
Low-alloy steel	Fe + 0.2 C 0.8 Mn 1 Cr 2 Ni	High-stress uses: pressure vessels, aircraft parts.
High-alloy ("stainless") steel	Fe + 0.1 C 0.5 Mn 18 Cr 8 Ni	High-temperature or anti-corrosion uses: chemical or steam plants.
Cast iron	Fe + 1.8 to 4 C (+ \approx 0.8 Mn 2 Si)	Low-stress uses: cylinder blocks, drain pipes.

Aceros
0.05 < %C < 2.0

Fundiciones
2.0 < %C < 4-4.5

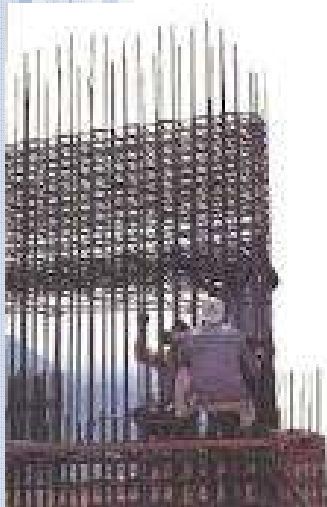
baja
aleación
<5% aleantes

METALES Y ALEACIONES

Materiales Ferrosos

Aceros al carbono y de baja aleación

- ✓ Son aleaciones de moderado costo debido a que tienen pocos elementos aleantes
- ✓ Son dúctiles por lo que pueden ser conformados en diferentes formas
- ✓ El producto final es duro y duradero



Leer artículo «**barras de acero de uso en automóviles**» en aula virtual

METALES Y ALEACIONES

Designación de aceros AISI-SAE

Numerals and digits ^a	Type of steel and nominal alloy content ^b	Numerals and digits	Type of steel and nominal alloy content	Numerals and digits	Type of steel and nominal alloy content
Carbon Steels		Nickel–Chromium–Molybdenum Steels		Chromium Steels	
10XX(a)	Plain carbon (Mn 1.00% max)	43XX	Ni 1.82; Cr 0.50 and 0.80; Mo	50XXX	Cr 0.50
11XX	Resulfurized		0.25	51XXX	Cr 1.02
12XX	Resulfurized and rephosphorized	43BVXX	Ni 1.82; Cr 0.50; Mo 0.12 and	52XXX	Cr 1.45
15XX	Plain carbon (max Mn range— 1.00 to 1.65%)	47XX	0.25; V 0.03 min		} C 1.00 min
			Ni 1.05; Cr 0.45; Mo 0.20 and		
	Manganese Steels		0.35	61XX	Chromium–Vanadium Steels
13XX	Mn 1.75	81XX	Ni 0.30; Cr 0.40; Mo 0.12		Cr 0.60, 0.80, and 0.95; V 0.10
		86XX	Ni 0.55; Cr 0.50; Mo 0.20		and 0.15 min
		87XX	Ni 0.55; Cr 0.50; Mo 0.25		Tungsten–Chromium Steel
	Nickel Steels	88XX	Ni 0.55; Cr 0.50; Mo 0.35	72XX	W 1.75; Cr 0.75
23XX	Ni 3.50	93XX	Ni 3.25; Cr 1.20; Mo 0.12		Silicon–Manganese Steels
25XX	Ni 5.00	94XX	Ni 0.45; Cr 0.40; Mo 0.12		Si 1.40 and 2.00; Mn 0.65, 0.82,
		97XX	Ni 0.55; Cr 0.20; Mo 0.20	92XX	and 0.85; Cr 0.00 and 0.65
	Nickel–Chromium Steels	98XX	Ni 1.00; Cr 0.80; Mo 0.25		High-Strength Low-Alloy Steels
31XX	Ni 1.25; Cr 0.65 and 0.80			9XX	Various SAE grades
32XX	Ni 1.75; Cr 1.07		Nickel–Molybdenum Steels		Boron Steels
33XX	Ni 3.50; Cr 1.50 and 1.57	46XX	Ni 0.85 and 1.82; Mo 0.20 and		B denotes boron steel
34XX	Ni 3.00; Cr 0.77	48XX	0.25	XXBXX	
			Ni 3.50; Mo 0.25		Leaded Steels
	Molybdenum Steels			XXLXX	L denotes leaded steel
40XX	Mo 0.20 and 0.25		Chromium Steels		
44XX	Mo 0.40 and 0.52	50XX	Cr 0.27, 0.40, 0.50, and 0.65		
		51XX	Cr 0.80, 0.87, 0.92, 0.95, 1.00,		
	Chromium–Molybdenum Steels		and 1.05		
41XX	Cr 0.50, 0.80, and 0.95; Mo 0.12, 0.20, 0.25, and 0.30				

Source: *Metals Handbook*, 9th ed., Vol. 1, American Society for Metals, Metals Park, OH, 1978.

^aXX or XXX in the last two or three digits of these designations indicates that the carbon content (in hundredths of a weight percent) is to be inserted.

^bAll alloy contents are expressed in weight percent.

Acero 1020: acero de baja aleación con 0.20%C
Acero 52150: acero de baja aleación con 1.50%C y 1.45%Cr

METALES Y ALEACIONES

Materiales Ferrosos

<i>Metal</i>	<i>Typical composition (wt%)</i>	<i>Typical uses</i>
Low-carbon ("mild") steel	Fe + 0.04 to 0.3 C (+ \approx 0.8 Mn)	Low-stress uses. General constructional steel, suitable for welding.
Medium-carbon steel	Fe + 0.3 to 0.7 C (+ \approx 0.8 Mn)	Medium-stress uses: machinery parts – nuts and bolts, shafts, gears.
High-carbon steel	Fe + 0.7 to 1.7 C (+ \approx 0.8 Mn)	High-stress uses: springs, cutting tools, dies.
Low-alloy steel	Fe + 0.2 C 0.8 Mn 1 Cr 2 Ni	High-stress uses: pressure vessels, aircraft parts.
High-alloy ("stainless") steel	Fe + 0.1 C 0.5 Mn 18 Cr 8 Ni	High-temperature or anti-corrosion uses: chemical or steam plants.
Cast iron	Fe + 1.8 to 4 C (+ \approx 0.8 Mn 2 Si)	Low-stress uses: cylinder blocks, drain pipes.

Aceros
0.05 < %C < 2.0

Fundiciones
2.0 < %C < 4-4.5

baja
aleación
<5% aleantes

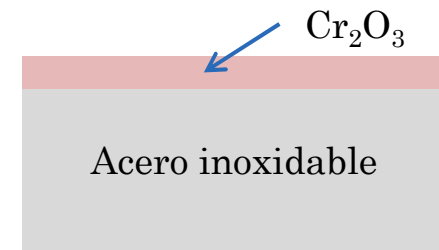
Aceros de baja aleación y alta resistencia

HSLA → high-strength, low-alloy steels (aceros microaleados)

- ✓ Son aceros al carbono de baja aleación (< 5% otros elementos aleantes) que son fabricados para cumplir con propiedades mecánicas específicas.
- ✓ Por lo general las composiciones de los aceros microaleados son propiedad del fabricante, por lo que estos aceros son identificados por sus propiedades mecánicas y no por la composición.
- ✓ Estos aceros presentan un procesamiento cuidadoso que permite la precipitación de carburos y nitruros (V y Ti) que permiten un endurecimiento por dispersión y un tamaño de grano fino
- ✓ Son más costosos que los aceros de baja aleación, por lo que son usados en condiciones especiales

Materiales Ferrosos

Aceros de alta aleación



- ✓ **Aceros inoxidables** → elementos aleantes para prevenir corrosión atmosférica (principalmente Cr) debido a la formación de una capa estable de óxidos de cromo en la superficie
- ✓ **Aceros de herramienta** → elementos aleantes para aumentar dureza
- ✓ **Superalaciones** → elementos aleantes para obtener alta estabilidad de material a altas temperaturas

Materiales Ferrosos

Aceros de alta aleación



Aceros inoxidables

- **Austeníticos:** microestructura de austenita retenida a temperatura ambiente debido a la adición de níquel. Tienen mas de 17% de Cr y menos de 0.1%C. Alta resistencia a la corrosión.
- **Ferríticos:** tienen poco contenido de níquel, se usan en aplicaciones que requieran menor resistencia a la corrosión. Contienen hasta 30%Cr y menos de 0.12%C. Son aleaciones más económicas debido a que tienen menor contenido de elementos aleantes.
- **Martensíticos:** a estos aceros se les realizan tratamientos térmicos para obtener microestructura de martensita. Son aceros inoxidables duros.
- **Endurecidos por precipitación:** se les realizan tratamientos térmicos para transformar una aleación monofásica en un material con mas de una fase. Tiene alta resistencia y dureza. Se usan cuando se requieren materiales estructurales resistentes a corrosión

Materiales Ferrosos

Aceros de alta aleación



Aceros de herramienta

- Los aceros de herramienta son usados para cortar y deformar otros materiales de allí sus requerimientos de dureza y estabilidad.
- Anteriormente se utilizaban aceros al carbono para fabricar piezas de herramienta (alto desgaste, alto consumo).
- Ahora se utilizan aceros de alta aleación: pueden ofrecer la dureza necesaria con tratamientos térmicos sencillos, retienen dicha dureza a altas temperaturas de operación
- Principales elementos aleantes: W, Mo y Cr

METALES Y ALEACIONES

Materiales Ferrosos

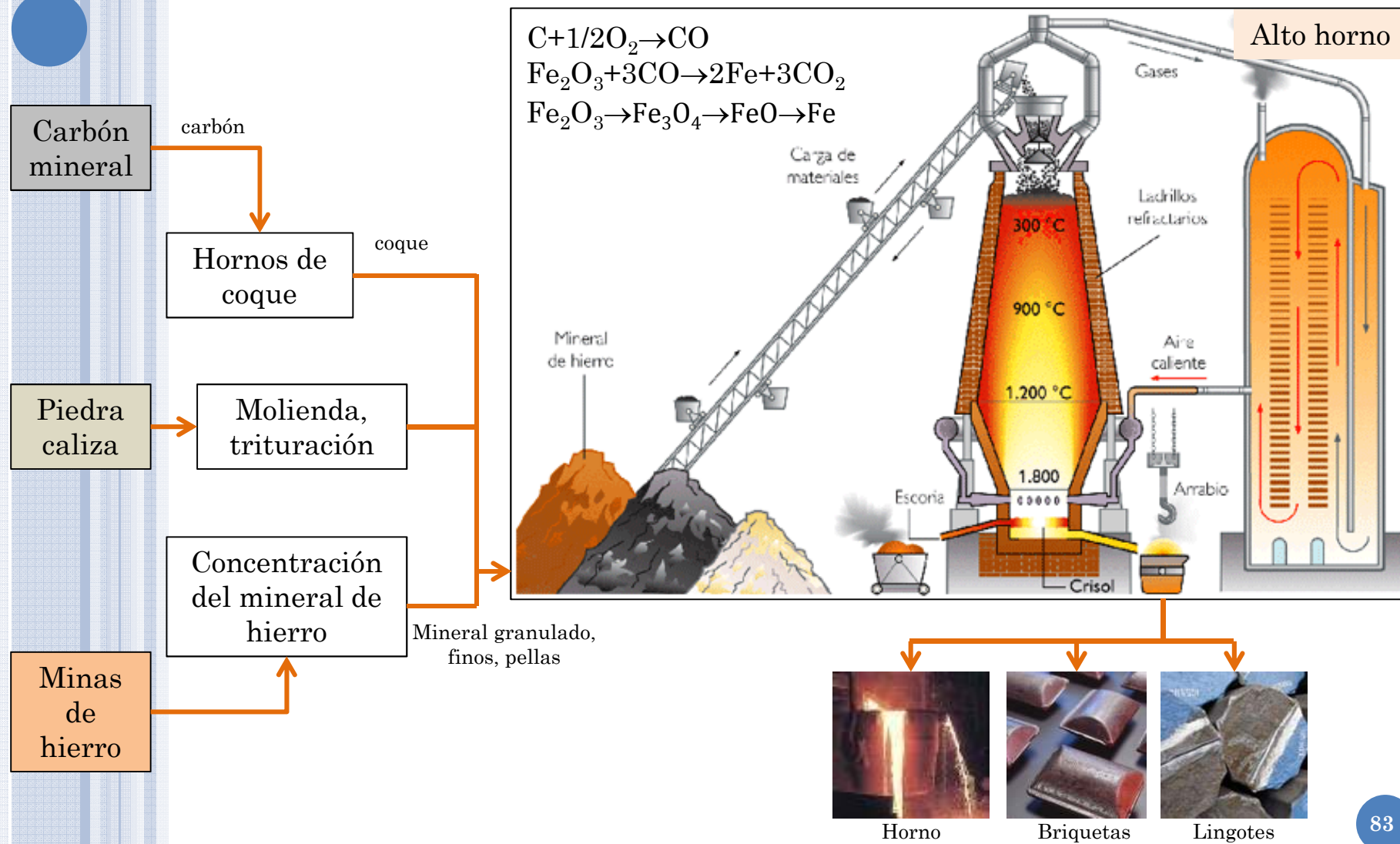
Aceros de alta aleación



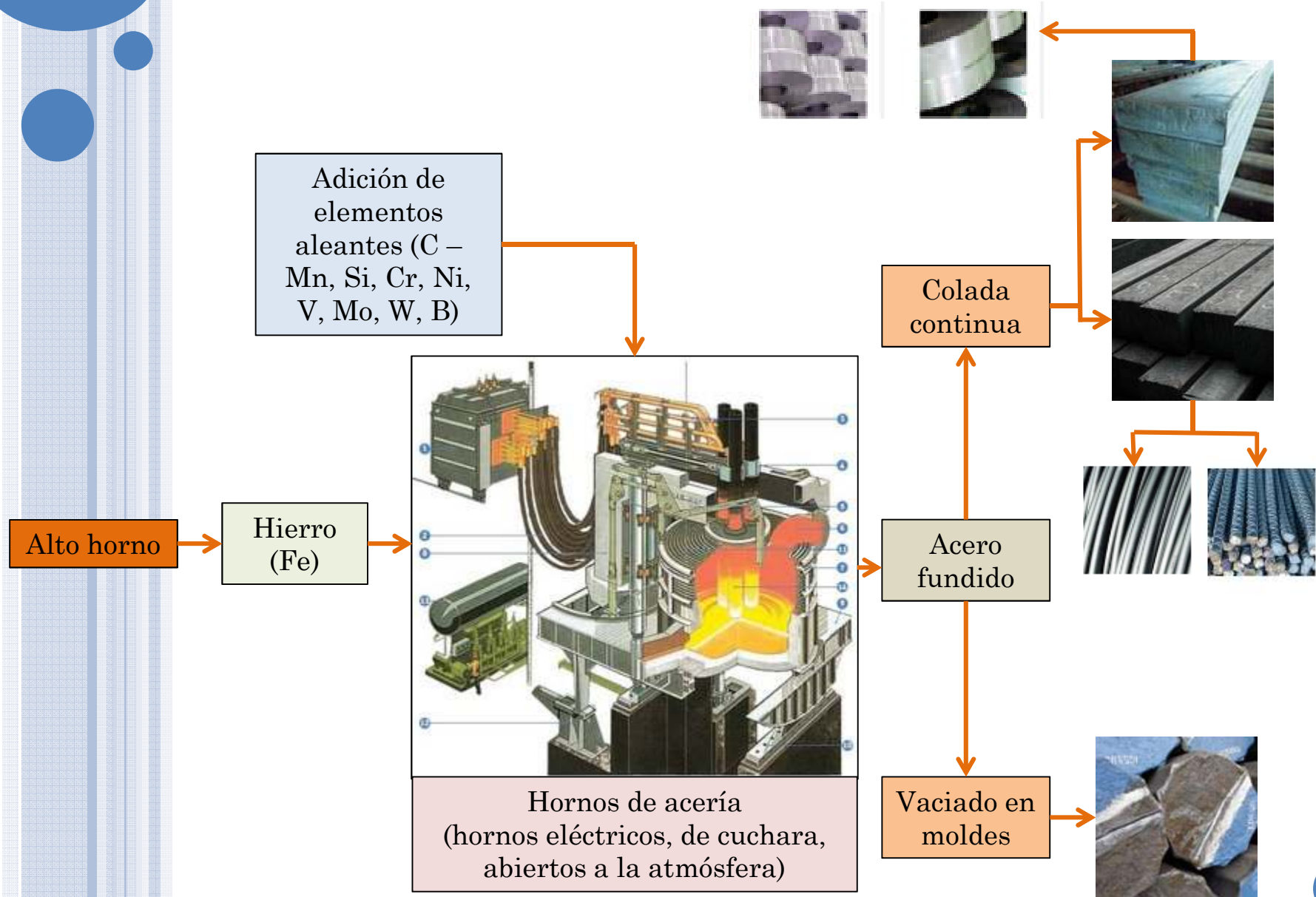
Superalaciones

- Son materiales muy costosos. Son utilizados en aplicaciones donde las condiciones de operación del material y las propiedades que éste debe tener justifiquen los costos.
- Por ejemplo: partes de motores de avión, turbinas

Producción de aceros



METALES Y ALEACIONES



Materiales Ferrosos

<i>Metal</i>	<i>Typical composition (wt%)</i>	<i>Typical uses</i>
Low-carbon ("mild") steel	Fe + 0.04 to 0.3 C (+ \approx 0.8 Mn)	Low-stress uses. General constructional steel, suitable for welding.
Medium-carbon steel	Fe + 0.3 to 0.7 C (+ \approx 0.8 Mn)	Medium-stress uses: machinery parts – nuts and bolts, shafts, gears.
High-carbon steel	Fe + 0.7 to 1.7 C (+ \approx 0.8 Mn)	High-stress uses: springs, cutting tools, dies.
Low-alloy steel	Fe + 0.2 C 0.8 Mn 1 Cr 2 Ni	High-stress uses: pressure vessels, aircraft parts.
High-alloy ("stainless") steel	Fe + 0.1 C 0.5 Mn 18 Cr 8 Ni	High-temperature or anti-corrosion uses: chemical or steam plants.
Cast iron	Fe + 1.8 to 4 C (+ \approx 0.8 Mn 2 Si)	Low-stress uses: cylinder blocks, drain pipes.

Aceros
 $0.05 < \%C < 2.0$

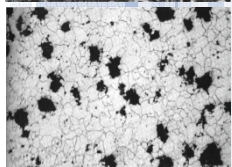
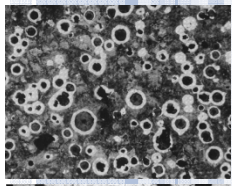
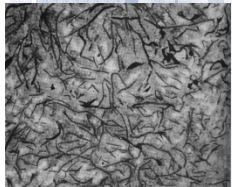
Fundiciones
 $2.0 < \%C < 4-4.5$

baja
 aleación
 $< 5\%$ aleantes

Materiales Ferrosos

Fundiciones

Se usa en componentes sometidos a bajo esfuerzo. Tienen mayor contenido de carbono que los aceros. Durante el enfriamiento, parte del grafito se puede separar y formar pequeñas partículas de grafito distribuidas en todo el material. Estas partículas de grafito actúan como un material lubricante (sistema de frenos de los vehículos, cilindros/pistones)



1. **Fundiciones blancas:** tienen una superficie de fractura blanca y cristalina debido a la presencia de Fe_3C . Material duro y frágil
2. **Fundiciones grises:** superficie de fractura gris. Tiene 2-3%Si, lo que favorece la precipitación de grafito en vez de Fe_3C
3. **Fundiciones dúctiles:** contienen 0.05%Mg, que agregados a las fundiciones grises en estado líquido, favorecen la precipitación de grafito esferoidal. Tienen alta ductilidad y resistencia
4. **Fundiciones maleables:** son fundiciones blancas a las que se les realizan tratamientos térmicos para producir grafito nodular

METALES Y ALEACIONES

Materiales No – Ferrosos

Aluminio

Posee baja densidad, buena relación resistencia – peso, alta conductividad térmica y eléctrica, no magnético, excelente resistencia a la corrosión, utilización en industria aeronáutica y automotriz

Metal	Typical composition (wt%)	Typical uses
1000 Series unalloyed Al	>99 Al	Weak but ductile and a good electrical conductor: power transmission lines, cooking foil.
2000 Series major additive Cu	Al + 4 Cu + Mg, Si, Mn	Strong age-hardening alloy: aircraft skins, spars, forgings, rivets.
3000 Series major additive Mn	Al + 1 Mn	Moderate strength, ductile, excellent corrosion resistance: roofing sheet, cooking pans, drinks can bodies.
5000 Series major additive Mg	Al + 3 Mg 0.5 Mn	Strong work-hardening weldable plate: pressure vessels, ship superstructures.
6000 Series major additives Mg + Si	Al + 0.5 Mg 0.5 Si	Moderate-strength age-hardening alloy: anodised extruded sections, e.g. window frames.
7000 Series major additives Zn + Mg	Al + 6 Zn + Mg, Cu, Mn	Strong age-hardening alloy: aircraft forgings, spars, lightweight railway carriage shells.
Casting alloys	Al + 11 Si	Sand and die castings.
Aluminium–lithium alloys	Al + 3 Li	Low density and good strength: aircraft skins and spars.

METALES Y ALEACIONES

Materiales No – Ferrosos

Cobre

Es un excelente conductor eléctrico, por lo que es ampliamente utilizado en la elaboración de cables eléctricos. Debido a su conductividad térmica, es utilizado en radiadores e intercambiadores de calor. Alta resistencia a la corrosión en ambientes marinos. Es dúctil. Tiene apariencia rojiza



Metal	Typical composition (wt%)	Typical uses
Copper	100 Cu	Ductile, corrosion resistant and a good electrical conductor: water pipes, electrical wiring.
Brass (latón)	Zn	Stronger than copper, machinable, reasonable corrosion resistance: water fittings, screws, electrical components.
Bronze	Cu + 10–30 Sn	Good corrosion resistance: bearings, ships' propellers, bells.
Cupronickel	Cu + 30 Ni	Good corrosion resistance, coinage.

Alpaca, aleación ternaria compuesta por Cu (45-70%), cinc (8-45%) y níquel (8-20%). Material muy dúctil que puede ser trabajado a temperatura ambiente: imágenes religiosas, en los envases para tomar mate, en bisutería, monedas

METALES Y ALEACIONES

Materiales No – Ferrosos

Níquel

El níquel es mas duro que el cobre. Las aleaciones de níquel presentan una excelente resistencia a la corrosión y a altas temperaturas (alta resistencia a la termofluencia), por lo que se utilizan en el diseño de turbinas en la industria aeronáutica

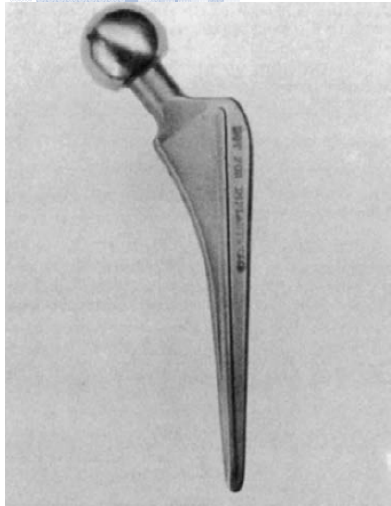


Metals	Typical composition (wt%)	Typical uses
Monels	Ni + 30 Cu 1Fe 1Mn	Strong, corrosion resistant: heat-exchanger tubes.
Superalloys	Ni + 30 Cr 30 Fe 0.5 Ti 0.5 Al	Creep and oxidation resistant: furnace parts.
	Ni + 10 Co 10 W 9 Cr 5 Al 2 Ti	Highly creep resistant: turbine blades and discs.



Materiales No – Ferrosos

Titanio



Las aleaciones de titanio poseen resistencia mecánica alta y buenas propiedades a altas temperaturas. El titanio es altamente reactivo, por lo que forma una película muy delgada de TiO_2 que aísla al material, actuando como un recubrimiento excelente contra la corrosión. Entre algunas aplicaciones destacan lo equipos de procesamiento químico, componentes marinos e implantes biomédicos

Metal	Typical composition (wt%)	Typical uses
α - β titanium alloy	Ti-6 Al4 V	Light, very strong, excellent corrosion resistance, high melting point, good creep resistance. The alloy workhorse: turbofans, airframes, chemical plant, surgical implants.

Materiales No – Ferrosos

Magnesio

Las aleaciones de magnesio tienen menor densidad que el aluminio. De todos los materiales utilizados comúnmente como materiales estructurales, las aleaciones de magnesio tienen la menor densidad (1.74 mg/m^3). Estos materiales tienen una alta resistencia y baja densidad. Pero, a diferencia del aluminio, el magnesio puede presentar comportamiento es frágil



Alta afinidad por el oxígeno.
Degradación a altas temperaturas

↓
Nuevas aleaciones Mg-Al-X para
substitución de partes en automóviles

↓
Reducción de peso

↓
Aumento de eficiencia y de
rendimiento de combustible

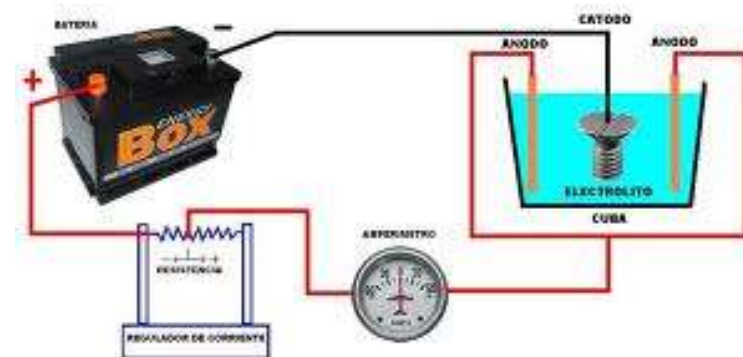
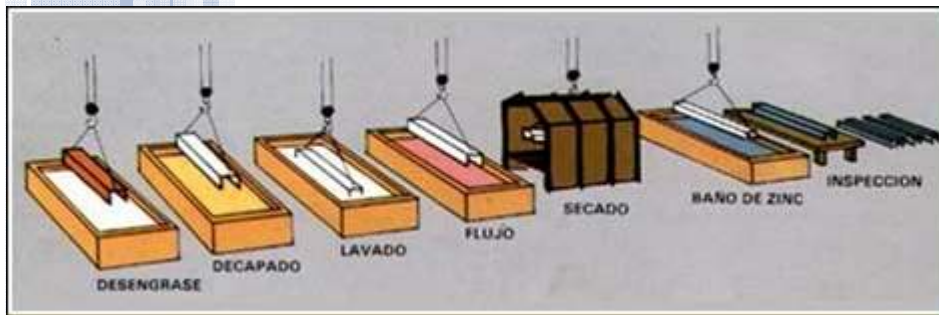
Materiales No – Ferrosos

Cinc

- ✓ Las aleaciones de cinc son ideales para realizar piezas por vaciado en moldes metálicos debido a su bajo punto de fusión y a su poca reactividad con el acero del molde.
- ✓ Cada vez se usan menos debido a su alto peso.
- ✓ Una forma en la que se utiliza ampliamente el cinc es como recubrimiento, éstos son altamente resistentes a la corrosión en diferentes medios.



Galvanizado



Materiales No – Ferrosos

Plomo



- ✓ Las aleaciones de plomo tienen alta densidad y por consiguiente alto peso, sin embargo son deformables y tienen bajo punto de fusión, lo que lo hace un material versátil que se puede utilizar en diferentes aplicaciones.
- ✓ Por ejemplo, los baños romanos tenían tuberías de plomo, los cuales aún se conservan en Bath en Inglaterra.
- ✓ Las aleaciones de plomo también se utilizan en las baterías, en las soldaduras, en los sistemas de protección de radiación.
- ✓ Sin embargo, debido a la toxicidad del plomo, su uso ha venido decayendo a aplicaciones específicas.

Propiedades de los metales y aleaciones

Metal	Cost (UK£ (US\$) tonne ⁻¹)	Density (Mg m ⁻³)	Young's modulus (GPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Ductility	Fracture toughness (MPa m ^{1/2})	Melting Temperature (K)	Specific heat (J kg ⁻¹ K ⁻¹)	Thermal conductivity (W m ⁻¹ K ⁻¹)	Thermal expansion coefficient (MK ⁻¹)
Iron	100 (140)	7.9	211	50	200	0.3	80	1809	456	78	12
Mild steel	200-230 (260-300)	7.9	210	220	430	0.21	140	1765	482	60	12
High-carbon steel	150 (200)	7.8	210	350-1600	650-2000	0.1-0.2	20-50	1570	460	40	12
Low-alloy steels	180-250 (230-330)	7.8	203	290-1600	420-2000	0.1-0.2	50-170	1750	460	40	12
High-alloy steels	1100-1400 (1400-1800)	7.8	215	170-1600	460-1700	0.1-0.5	50-170	1680	500	12-30	10-18
Cast irons	120 (160)	7.4	152	50-400	10-800	0-0.18	6-20	1403			
Copper	1020 (1330)	8.9	130	75	220	0.5-0.9	>100	1356	385	397	17
Brasses	750-1060 (980-1380)	8.4	105	200	350	0.5	30-100	1190		121	20
Bronzes	1500 (2000)	8.4	120	200	350	0.5	30-100	1120		85	19
Nickel	3200 (4200)	8.9	214	60	300	0.4	>100	1728	450	89	13
Monels	3000 (3900)	8.9	185	340	680	0.5	>100	1600	420	22	14
Superalloys	5000 (6500)	7.9	214	800	1300	0.2	>100	1550	450	11	12
Aluminium	910 (1180)	2.7	71	25-125	75-135	0.1-0.5	45	933	917	240	24
1000 Series	910 (1180)	2.7	71	28-165	75-180	0.1-0.45	45	915			24
2000 Series	1100 (1430)	2.8	71	200-500	300-600	0.1-0.25	10-50	860		180	24
5000 Series	1000 (1300)	2.7	71	40-300	120-430	0.1-0.35	30-40	890		130	22
7000 Series	1100 (1430)	2.8	71	350-600	500-670	0.1-0.17	20-70	890		150	24
Casting alloys	1100 (1430)	2.7	71	65-350	130-400	0.01-0.15	5-30	860		140	20
Titanium	4630 (6020)	4.5	120	170	240	0.25		1940	530	22	9
Ti-6 Al4 V	5780 (7510)	4.4	115	800-900	900-1000	0.1-0.2	50-80	1920	610	6	8
Zinc	330 (430)	7.1	105		120	0.4		693	390	120	31
Lead-tin solder	2000 (2600)	9.4	40					456			
Diecasting alloy	800 (1040)	6.7	105		280-330	0.07-0.15		650	420	110	27

CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES

De acuerdo a su composición y estructura atómica



- ✓ **Cerámicas (tradicionales)** → materiales que tienen estructura cristalina, se obtienen a partir del moldeo de pastas (arcilla) que luego se llevan a altas temperaturas para su sinterización. Incluye silicatos (base SiO_2) y óxidos no-silíceos
- ✓ **Vidrios** → materiales amorfos (no-cristalino) cuyo principal componente es el SiO_2 , con adiciones de otros óxidos para disminuir el punto de fusión o mejorar algunas propiedades
- ✓ **Cerámicas de alto desempeño** → tiene aplicaciones en herramientas de corte, partes de motores y piezas resistentes al desgaste
- ✓ **Rocas y minerales** (incluye el hielo)
- ✓ **Cemento y concreto** → materiales con varias fases que son la base de los materiales utilizados en la construcción

MT-1113

CERÁMICAS Y VIDRIOS

Silicatos (base SiO_2)

- Cerámicas blancas
- Arcilla
- Refractarios

Cerámicas Cristalinas

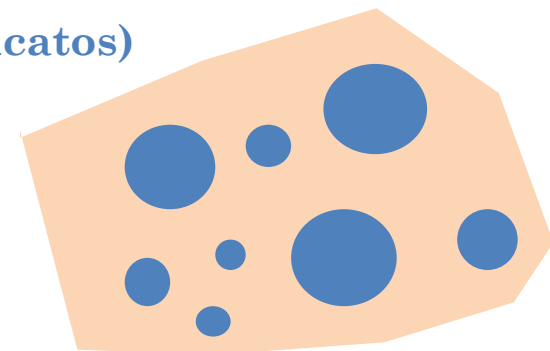


Ceramic	Typical composition	Typical uses
Porcelain China	Made from clays: hydrous alumino-silicate such as	Electrical insulators. Artware and tableware tiles.
Pottery Brick	$\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$ mixed with other inert minerals.	Construction; refractory uses.

Fase vítrea (SiO_2) + **Fase cristalina (silicatos)**



Secado y calcinación



CERÁMICAS Y VIDRIOS

Cerámicas Cristalinas

Cerámicas de óxidos distintos a la sílice (no-silicatos)

- Óxidos puros
 - Cerámicos nucleares (UO_2)
- Circonia parcialmente estabilizada (Y, Ca, Mg)
 - Cerámicas electrónicas (BaTiO_3)
 - Cerámicas magnéticas (NiFe_2O_4)
 - Cerámicas no óxidas (SiC)



Primary composition ^a	Common product names
Al_2O_3	Alumina, alumina refractory
MgO	Magnesia, magnesia refractory, magnesite refractory, periclase refractory
MgAl_2O_4 (= $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$)	Spinel
BeO	Beryllia
ThO_2	Thoria
UO_2	Uranium dioxide
ZrO_2 (stabilized ^b with CaO)	Stabilized (or partially stabilized) zirconia
BaTiO_3	Barium titanate
NiFe_2O_4	Nickel ferrite

CERÁMICAS Y VIDRIOS

Vidrios (vítreos)

Vítreo = amorfo o no-cristalino

<i>Glass</i>	<i>Typical composition (wt%)</i>	<i>Typical uses</i>
Soda-lime glass	70 SiO ₂ , 10 CaO, 15 Na ₂ O	Windows, bottles, etc.; easily formed and shaped.
Borosilicate glass	80 SiO ₂ , 15 B ₂ O ₃ , 5 Na ₂ O	Pyrex; cooking and chemical glassware; high-temperature strength, low coefficient of expansion, good thermal shock resistance.



MT-1113

CERÁMICAS Y VIDRIOS

Cerámicas de Alto Desempeño

Resistencia de las cerámicas

Tenacidad (K_{IC}) + distribución de microgrietas



Cerámicas de alto desempeño

- ✓ Alta densidad
- ✓ Alta resistencia y tenacidad



Ceramic	Typical composition	Typical uses
Dense alumina	Al ₂ O ₃	Cutting tools, dies; wear-resistant surfaces, bearings; medical implants; engine and turbine parts; armour.
Silicon carbide, nitride	SiC, Si ₃ N ₄	
Sialons	e.g. Si ₂ AlON ₃	
Cubic zirconia	ZrO ₂ + 5wt% MgO	



CERÁMICAS Y VIDRIOS

Cerámicas Naturales



Ceramic	Composition	Typical uses
Limestone (marble)	Largely CaCO_3	Building foundations, construction.
Sandstone	Largely SiO_2	
Granite	Aluminium silicates	
Ice	H_2O	Arctic engineering.



CERÁMICAS Y VIDRIOS

Cemento y Concreto

<i>Cement</i>	<i>Typical composition</i>	<i>Uses</i>
Portland cement	$\text{CaO} + \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$	Cast facings, walkways, etc. and as component of concrete. General construction.



Concreto = arena + piedra + cemento \Rightarrow material compuesto

CERÁMICAS Y VIDRIOS

Propiedades de los Vidrios y Cerámicas

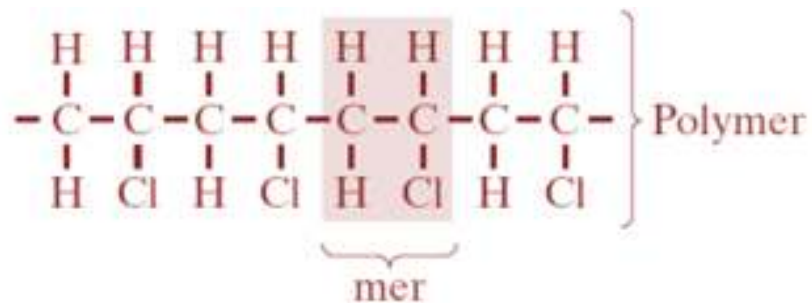
Ceramic	Cost (UK£ (US\$) tonne ⁻¹)	Density (Mg m ⁻³)	Young's modulus (GPa)	Compressive strength (MPa)	Modulus of rupture (MPa)	Weibull exponent m	Time exponent n	Fracture toughness (MPa m ^{1/2})	Melting (softening) temperature (K)	Specific heat (J kg ⁻¹ K ⁻¹)	Thermal conductivity (W m ⁻¹ K ⁻¹)	Thermal expansion coefficient (MK ⁻¹ J)	Thermal shock resistance (K)
Glasses													
Soda glass	700 (1000)	2.48	74	1000	50	Assume 10 in design	10	0.7	(1000)	990	1	8.5	84
Borosilicate glass	1000 (1400)	2.23	65	1200	55		10	0.8	(1100)	800	1	4.0	280
Pottery, etc. Porcelain	260-1000 (360-1400)	2.3-2.5	70	350	45		-	1.0	(1400)	800	1	3	220
High-performance engineering ceramics													
Diamond	4 × 10 ⁸ (6 × 10 ⁸)	3.52	1050	5000	-	-	-	-	-	510	70	1.2	1000
Dense alumina	Expensive at present	3.9	380	3000	300-400	10	10	3-5	2323 (1470)	795	25.6	8.5	150
Silicon carbide		3.2	410	2000	200-500	10	40	-	3110 -	1422	84	4.3	300
Silicon nitride	Potentially	3.2	310	1200	300-850	-	40	4	2173 -	627	17	3.2	500
Zirconia	350-1000	5.6	200	2000	200-500	10-21	10	4-12	2843 -	670	1.5	8	500
Sialons	(490-1400)	3.2	300	2000	500-830	15	10	5	- -	710	20-25	3.2	510
Cement, etc.													
Cement	52 (73)	2.4-2.5	20-30	50	7	12	40	0.2	-	-	1.8	10-14	<50
Concrete	26 (36)	2.4	30-50	50	7	12	40	0.2	-	-	2	10-14	
Rocks and ice													
Limestone	Cost of mining and transport	2.7	63	30-80	20	-	-	0.9	-	-	-	8	≈ 100
Granite		2.6	60-80	65-150	23	-	-	-	-	-	-	8	
Ice		0.92	9.1	6	1.7	-	-	0.12	273 (250)	-	-	-	

CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES

De acuerdo a su composición y estructura atómica



- ✓ **Termoplásticos:** se ablandan cuando son expuestos al calor
- ✓ **Termoestables o resinas:** se endurecen cuando los dos componentes (resina y endurecedor) se calientan juntos
- ✓ **Elastómeros o caucho**
- ✓ **Polímeros naturales:** son la base de la mayoría de las plantas y la vida animal

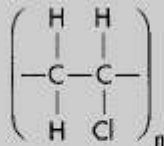


Termoplásticos



Thermoplastic	Composition	Uses
Polyethylene, PE	$\left(\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ -\text{C}- \\ \\ \text{H} \end{array} \right)_n$ Partly crystalline.	Tubing, film, bottles, cups, electrical insulation, packaging.
Polypropylene, PP	$\left(\begin{array}{cc} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C} & -\text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{CH}_3 \end{array} \right)_n$ Partly crystalline.	Same uses as PE, but lighter, stiffer, more resistant to sunlight.
Polytetrafluoroethylene, PTFE	$\left(\begin{array}{c} \text{F} \\ \\ -\text{C}- \\ \\ \text{F} \end{array} \right)_n$ Partly crystalline.	Teflon. Good, high-temperature polymer with very low friction and adhesion characteristics. Non-stick saucepans, bearings, seals.
Polystyrene, PS	$\left(\begin{array}{cc} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C} & -\text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} \right)_n$ Amorphous.	Cheap moulded objects. Toughened with butadiene to make high-impact polystyrene (HIPS). Foamed with CO ₂ to make common packaging.

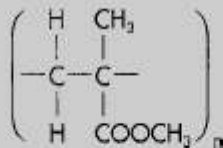
Polyvinylchloride, PVC



Amorphous.

Architectural uses (window frames, etc.). Plasticised to make artificial leather, hoses, clothing.

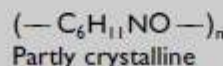
Polymethylmethacrylate, PMMA



Amorphous.

Perspex, lucite. Transparent sheet and mouldings. Aircraft windows, laminated windscreens.

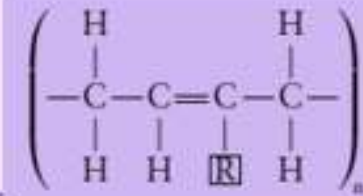
Nylon 66



Textiles, rope, mouldings.



Elastómeros



Elastomer	Composition	Uses
Polyisoprene	$\left(\begin{array}{cccc} \text{H} & & & \text{H} \\ & & & \\ -\text{C} & - & \text{C} = & \text{C} - & \text{C}- \\ & & & \\ \text{H} & \text{H} & \text{CH}_2 & \text{H} \end{array} \right)_n$ <p>Amorphous except at high strains.</p>	Natural rubber.
Polybutadiene	$\left(\begin{array}{cccc} \text{H} & & & \text{H} \\ & & & \\ -\text{C} & - & \text{C} = & \text{C} - & \text{C}- \\ & & & \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array} \right)_n$ <p>Amorphous except at high strains.</p>	Synthetic rubber, car tyres.
Polychloroprene	$\left(\begin{array}{cccc} \text{H} & & & \text{H} \\ & & & \\ -\text{C} & - & \text{C} = & \text{C} - & \text{C}- \\ & & & \\ \text{H} & \text{H} & \text{Cl} & \text{H} \end{array} \right)_n$ <p>Amorphous except at high strains.</p>	Neoprene. An oil-resistant rubber used for seals.



Termoestables

Resina + endurecedor

Reacción química

$$T \geq T_{amb}$$

Polímero termoestable

Thermoset	Composition	Uses
Epoxy	$\left(\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ -\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_2- \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} \begin{array}{c} \text{OH} \\ \\ \text{CH} \\ \\ \text{CH}_2 \end{array} \right)_n$ <p>Amorphous.</p>	Fibreglass, adhesives. Expensive.
Polyester	$\left(\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ -\text{C}- \\ \\ (\text{CH}_2)_n \end{array} \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ -\text{C}- \\ \\ \text{O}-\text{C}- \\ \\ \text{CH}_2\text{OH} \\ \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array} \right)_n$ <p>Amorphous.</p>	Fibreglass, laminates. Cheaper than epoxy.
Phenol-formaldehyde	$\left(\begin{array}{c} \text{OH} \\ \\ -\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}_2- \\ \\ \text{CH}_2 \end{array} \right)_n$ <p>Amorphous.</p>	Bakelite, Tufnol, Formica. Rather brittle.

POLÍMEROS

Polímeros Naturales

Natural polymer	Composition	Uses
Cellulose	$(-C_6H_9O_5-)_n$ Crystalline.	Framework of all plant life, as the main structural component in cell walls.
Lignin	Amorphous.	The other main component in cell walls of all plant life.
Protein	$\left(\begin{array}{c} \boxed{R} \\ \\ -NH-C-C- \\ \quad \\ H \quad O \end{array} \right)_n$ <p>\boxed{R} is a radical. Partly crystalline.</p>	Gelatin, wool, silk.



Nomenclatura

Family	Classes	Short Name	
Polymers (the thermoplastics and thermosets of engineering)	Acrylonitrile butadiene styrene	ABS	
	Cellulose polymers	CA	
	Ionomers	Ionomers	
	Epoxies	Epoxy	
	Phenolics	Phenolics	
	Polyamides (nylons)	PA	
	Polycarbonate	PC	
	Polyesters	Polyester	
	Polyetheretherketone	PEEK	
	Polyethylene	PE	
	Polyethylene terephthalate	PET or PETE	
	Polymethylmethacrylate	PMMA	
	Polyoxymethylene (Acetal)	POM	
	Polypropylene	PP	
	Polystyrene	PS	
	Polytetrafluorethylene	PTFE	
	Polyvinylchloride	PVC	
	Elastomers (engineering rubbers, natural and synthetic)	Butyl rubber	Butyl rubber
		EVA	EVA
		Isoprene	Isoprene
Natural rubber		Natural rubber	
Polychloroprene (Neoprene)		Neoprene	
Polyurethane		PU	
Silicone elastomers		Silicones	

Polymer	Cost (UK£) (\$US tonne^{-1})	Density (Mg m^{-3})	Young's modulus (20°C 100 s) (GPa)	Tensile strength (MPa)	Fracture toughness (20°C) ($\text{MPa m}^{1/2}$)	Glass temperature T_G (K)	Softening expansion temperature T_s (K)	Specific heat ($\text{J Kg}^{-1} \text{K}^{-1}$)	Thermal conductivity ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)	Thermal coefficient (MK^{-1})
Thermoplastics										
Polyethylene, PE (low density)	560 (780)	0.91–0.94	0.15–0.24	7–17	1–2	270	355	2250	0.35	160–190
Polyethylene, PE (high density)	510 (700)	0.95–0.98	0.55–1.0	20–37	2–5	300	390	2100	0.52	150–300
Polypropylene, PP	675 (950)	0.91	1.2–1.7	50–70	3.5	253	310	1900	0.2	100–300
Polytetrafluoroethylene, PTFE	—	2.2	0.35	17–28	—	—	395	1050	0.25	70–100
Polystyrene, PS	650 (910)	1.1	3.0–3.3	35–68	2	370	370	1350–1500	0.1–0.15	70–100
Polyvinyl chloride, PVC (unplasticised)	425 (595)	1.4	2.4–3.0	40–60	2.4	350	370	—	0.15	50–70
Polymethylmethacrylate, PMMA	1070 (1550)	1.2	3.3	80–90	1	378	400	1500	0.2	54–72
Nylons	2350 (3300)	1.15	2–3.5	60–110	3–5	340	350–420	1900	0.2–0.25	80–95
Resins or thermosets										
Epoxies	1150 (1600)	1.2–1.4	2.1–5.5	40–85	0.6–1.0	380	400–440	1700–2000	0.2–0.5	55–90
Polyesters	930 (1300)	1.1–1.4	1.3–4.5	45–85	0.5	340	420–440	1200–2400	0.2–0.24	50–100
Phenolformaldehyde	750 (1050)	1.27	8	35–55	—	—	370–550	1500–1700	0.12–0.24	26–60
Elastomers (rubbers)										
Polyisoprene	610 (850)	0.91	0.002–0.1	≈ 10	—	220	≈ 350	≈ 2500	≈ 0.15	≈ 600
Polybutadiene	610 (850)	1.5	0.004–0.1	—	—	171	≈ 350	≈ 2500	≈ 0.15	≈ 600
Polychloroprene	1460 (2050)	0.94	≈ 0.01	—	—	200	≈ 350	≈ 2500	≈ 0.15	≈ 600
Natural polymers										
Cellulose fibres	—	1.5	25–40	≈ 1000	—	—	—	—	—	—
Lignin	—	1.4	2.0	—	—	—	—	—	—	—
Protein	—	1.2–1.4	—	—	—	—	—	—	—	—

Comparación entre propiedades

Metal	Cost (UK£ (US\$) tonne ⁻¹)	Density (Mg m ⁻³)	Young's modulus (GPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Ductility	Fracture toughness (MPa m ^{1/2})	Melting Temperature (K)	Specific heat (J kg ⁻¹ K ⁻¹)	Thermal conductivity (W m ⁻¹ K ⁻¹)	Thermal expansion coefficient (MK ⁻¹)
Iron	100 (140)	7.9	211	50	200	0.3	80	1809	456	78	12
Mild steel	200-230	7.9	210	220	430	0.21	140	1765	482	60	12

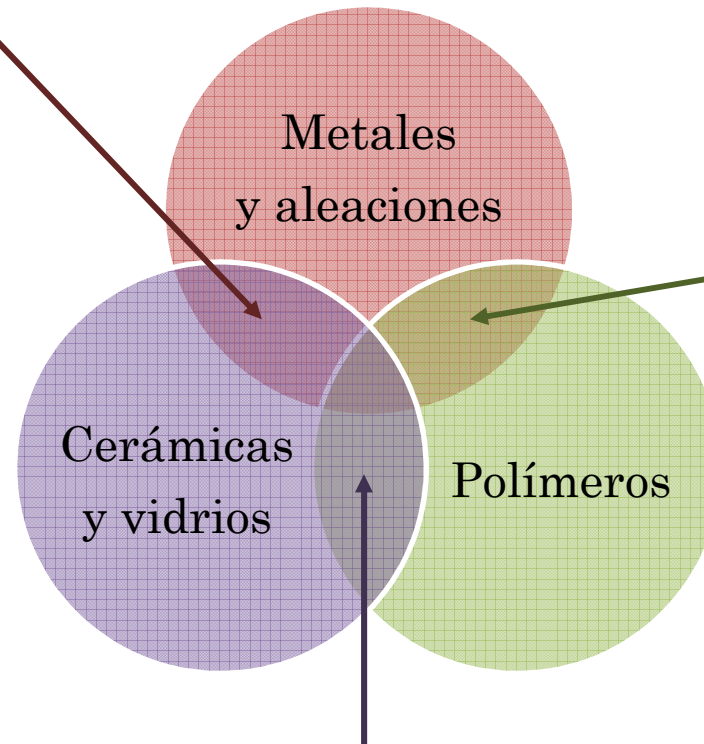
Ceramic	Cost (UK£ (US\$) tonne ⁻¹)	Density (Mg m ⁻³)	Young's modulus (GPa)	Compressive strength (MPa)	Modulus of rupture (MPa)	Weibull exponent m	Tine exponent n	Fracture toughness (MPa m ^{1/2})	Melting (softening) temperature (K)	Specific heat (J kg ⁻¹ K ⁻¹)	Thermal conductivity (W m ⁻¹ K ⁻¹)	Thermal expansion coefficient (MK ⁻¹)	Thermal shock resistance (K)
Glasses													
Soda glass	700 (1000)	2.48	74	1000	50	Assume 10 in design	10	0.7	(1000)	990	1	8.5	84
Borosilicate glass	1000 (1400)	2.23	65	1200	55		10	0.8	(1100)	800	1	4.0	280
Pottery, etc.													
Porcelain	260-1000 (360-1400)	2.3-2.5	70	350	45	-	-	1.0	(1400)	800	1	3	220

Polymer	Cost (UK£) (\$US tonne ⁻¹)	Density (Mg m ⁻³)	Young's modulus (20°C 100 s) (GPa)	Tensile strength (MPa)	Fracture toughness (20°C) (MPa m ^{1/2})	Glass temperature T _G (K)	Softening expansion temperature T _s (K)	Specific heat (J Kg ⁻¹ K ⁻¹)	Thermal conductivity (W m ⁻¹ K ⁻¹)	Thermal coefficient (MK ⁻¹)
Thermoplastics										
Polyethylene, PE (low density)	560 (780)	0.91-0.94	0.15-0.24	7-17	1-2	270	355	2250	0.35	160-190
Polyethylene, PE (high density)	510 (700)	0.95-0.98	0.55-1.0	20-37	2-5	300	390	2100	0.52	150-300
Polypropylene, PP	675 (950)	0.91	1.2-1.7	50-70	3.5	253	310	1900	0.2	100-300
Polytetrafluoroethylene, PTFE	-	2.2	0.35	17-28	-	-	395	1050	0.25	70-100

CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES

De acuerdo a su composición y estructura atómica

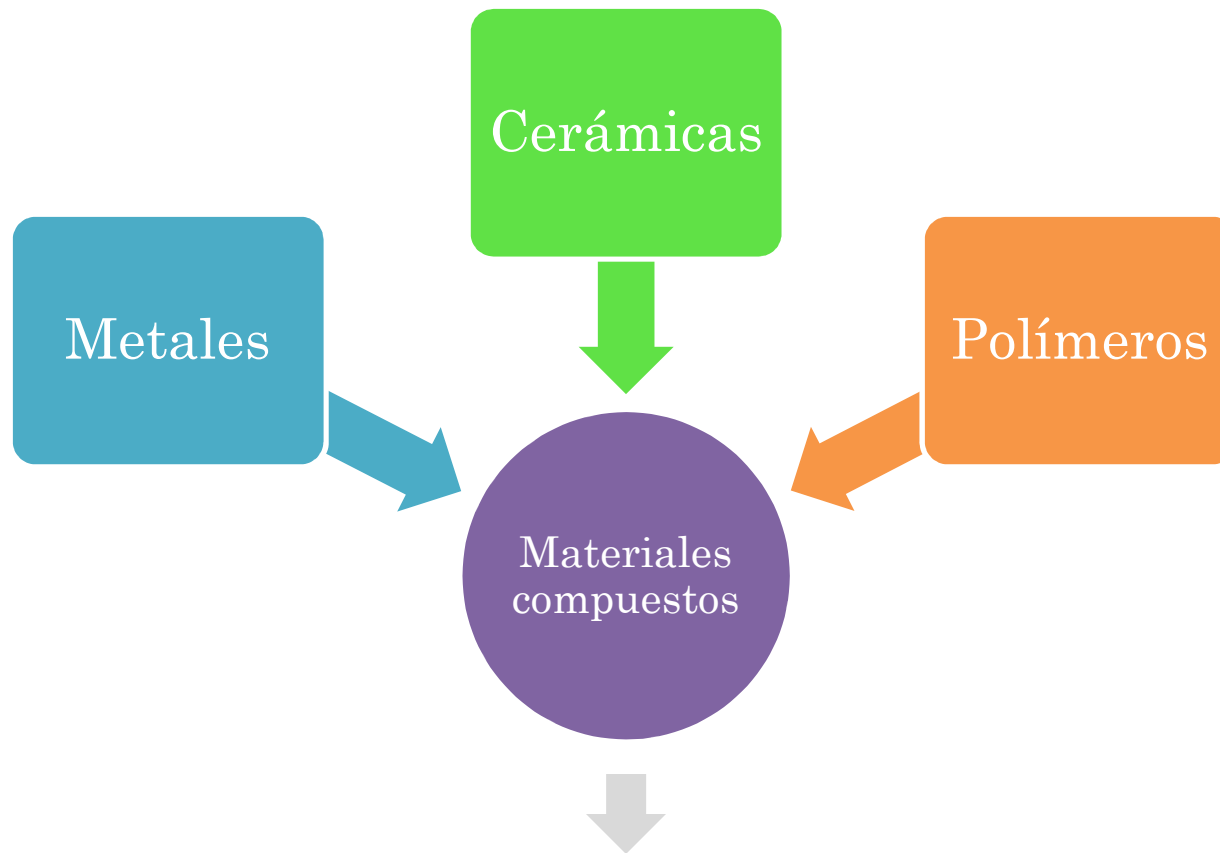
Cemento reforzado
o concreto armado



Cauchos reforzados
con alambres

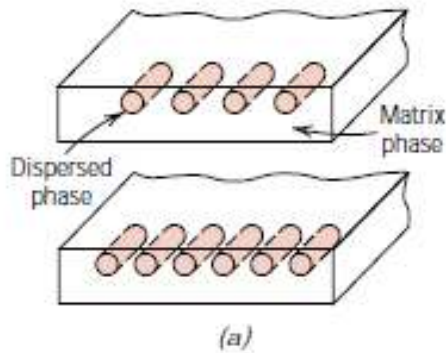
Polímero reforzado con fibras de carbono

MATERIALES COMPUESTOS

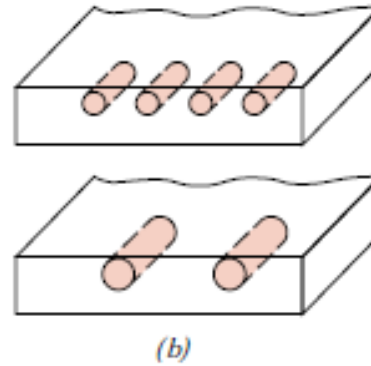


Aprovecha las propiedades del material base o matriz y las mejora o modifica mediante la incorporación de otro material o refuerzo

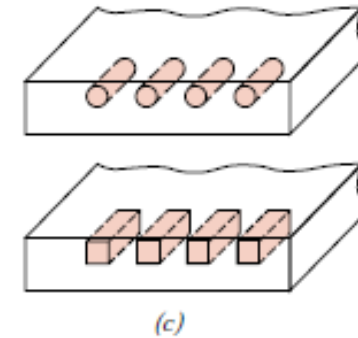
MATERIALES COMPUESTOS



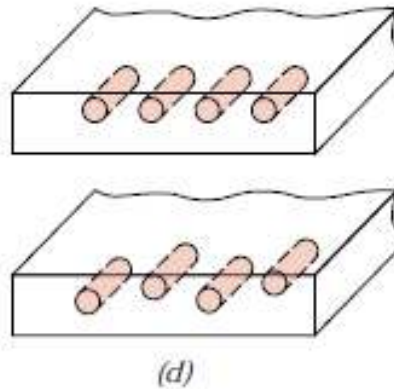
(a) Concentración del refuerzo



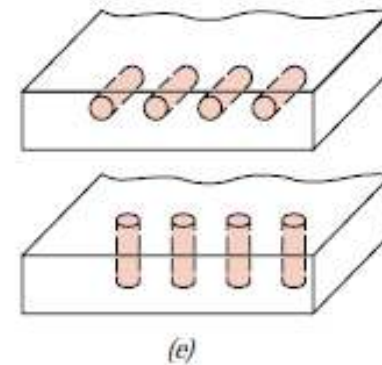
(b) Tamaño del refuerzo



(c) Forma del refuerzo



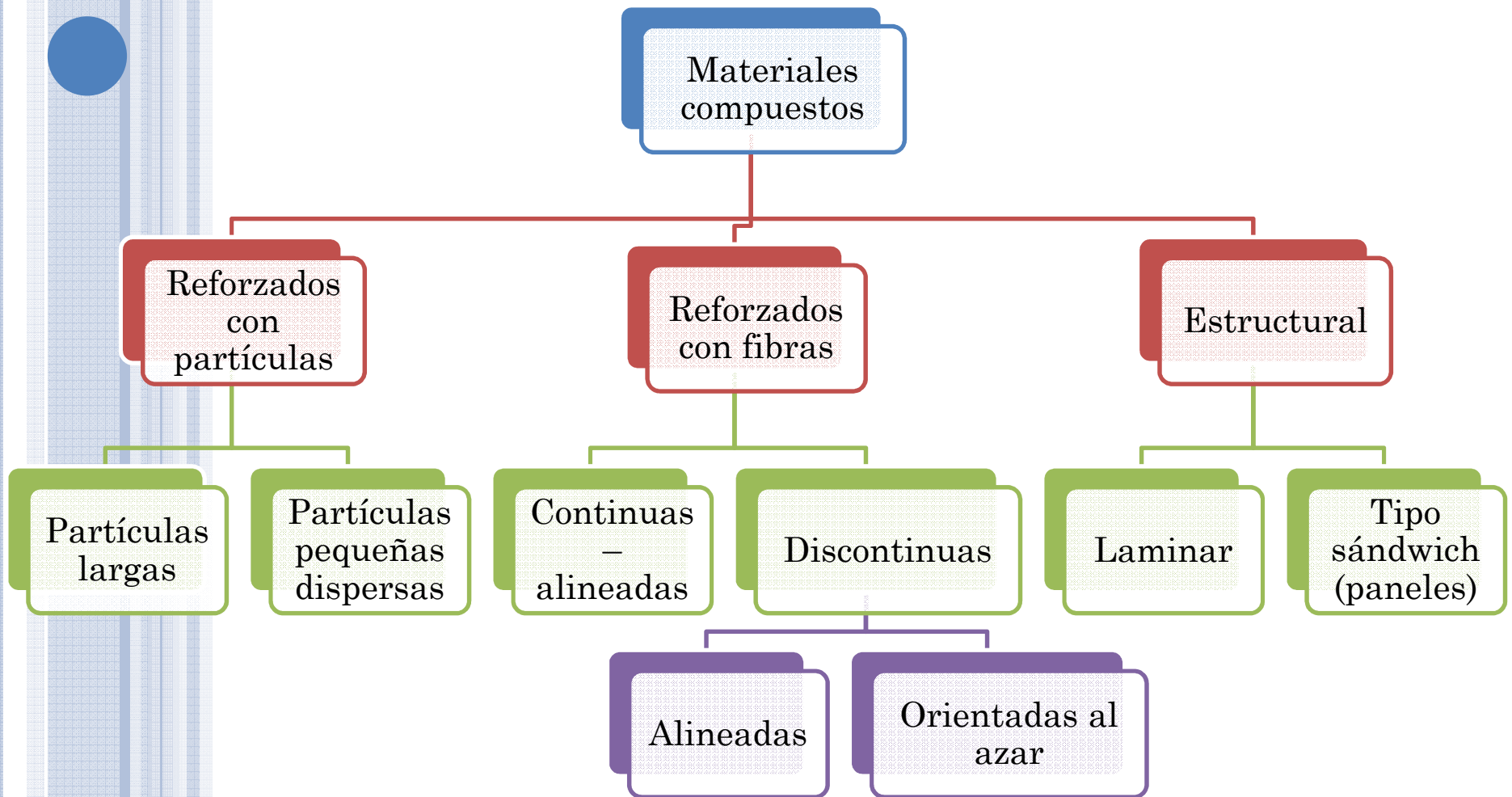
(d) Distribución del refuerzo



(e) Orientación del refuerzo

Las propiedades de los materiales compuestos están influenciados por las propiedades del material de refuerzo

MATERIALES COMPUESTOS



**Materiales
reforzados por
partículas**

Partículas largas. Hay poca interacción entre la matriz y el refuerzo. Generalmente, las partículas son más duras que la matriz; restringiendo los movimientos propios del material de la matriz en la zona cercana al refuerzo

Partículas dispersas. Las partículas del refuerzo son pequeñas, entre 10 y 100nm, de modo que puede haber interacción a nivel atómico o molecular. Las partículas sirven como obstáculos al movimiento de dislocaciones

Materiales reforzados por partículas \Rightarrow partículas largas

El material de refuerzo es de gran tamaño

- 1.- El material de refuerzo modifica/mejora las propiedades de la matriz
- 2.- El material de refuerzo (de bajo costo) reemplaza o substituye parte del material de la matriz

Regla de las mezclas \Rightarrow predice que el módulo de Young del material compuesto debe estar entre dos límites determinados por:

$$E_{\text{superior}} = (E_{\text{matriz}}V_{\text{matriz}}) + (E_{\text{partícula}}V_{\text{partícula}})$$

\updownarrow
E_{compuesto}

$$E_{\text{inferior}} = \frac{E_{\text{matriz}}E_{\text{partícula}}}{(V_{\text{matriz}}E_{\text{partícula}}) + (V_{\text{partícula}}E_{\text{matriz}})}$$

Materiales reforzados por partículas \Rightarrow partículas largas

Ejemplos de materiales
compuestos reforzados
por partículas

Cerámicas-metales (cermets) \Rightarrow carburos cementados.

Partículas muy duras (WC o TiC) embebidos en una matriz de cobalto o níquel

Cerámica-cerámica \Rightarrow concreto. Agregados de partículas (arena) que se mantienen unidas por medio de un enlazante sólido (cemento)

Cerámica-cerámica-metal \Rightarrow concreto armado. El concreto (material compuesto) es reforzado por barras de acero

Material compuesto
reforzado por fibras

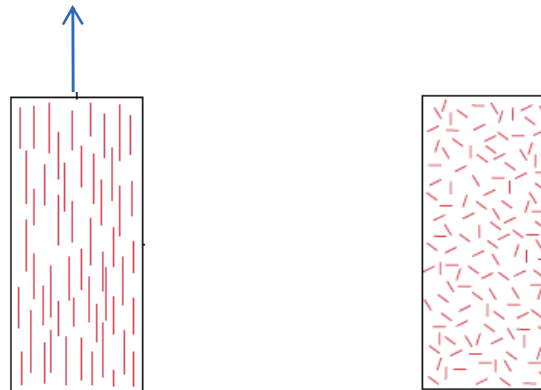
Influencia del tamaño de la fibra. Es necesario que la fibra tenga un tamaño crítico para que el refuerzo sea efectivo (aumento de la dureza o de la rigidez)

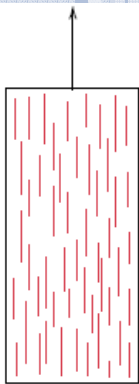
$$l_c = \frac{\sigma_f d}{2\tau_c}$$

τ_c resistencia del enlace
entre la matriz y la fibra

Influencia de la orientación y concentración de la fibra.

- 1.- Las fibras pueden estar alineadas en la dirección longitudinal del material compuesto
- 2.- Las fibras no están orientadas en ninguna dirección



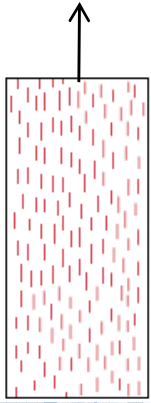


Materiales compuestos reforzados con fibras continuas y alineadas



Las propiedades mecánicas del material dependen de la dirección en que es aplicada la carga o el esfuerzo

	Módulo de Young	Esfuerzo de fluencia
Longitudinal	$E_{continuo/longitudinal} = E_m V_m + E_f V_f$	$\sigma_{continuo/longitudinal} = \sigma_m^* V_m + \sigma_f V_f$ σ^* es el esfuerzo de la matriz cuando falla la fibra
Transversal	$E_{continuo/transversal} = \frac{E_m E_f}{(V_m E_f) + (V_f E_m)}$	El material falla a esfuerzos menores a los de la matriz y la fibra \Rightarrow efecto negativo del refuerzo



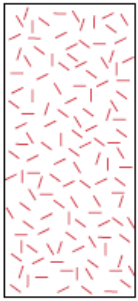
Materiales compuestos reforzados con fibras discontinuas y alineadas

- ✓ Para fibras discontinuas y alineadas, cuya distribución es uniforme en la matriz, y con fibras con tamaño mayor al tamaño crítico

$$\sigma_{discontinuo/longitudinal} = \sigma_f V_f \left(1 - \frac{l_c}{2l}\right) + \sigma_m (1 - V_f)$$

- ✓ Para fibras discontinuas y alineadas con fibras con tamaño menor al tamaño crítico

$$\sigma_{discontinuo/longitudinal} = \frac{l\tau_c}{d} V_f + \sigma_m (1 - V_f)$$



Materiales compuestos reforzados con fibras no orientadas

Las fibras son consideradas como partículas sus propiedades mecánicas pueden ser estimadas por medio de la regla de las mezclas

$$E = KE_fV_f + E_mV_m$$

K es un parámetro de eficiencia que depende de la fracción volumétrica de la fibra y de la relación entre el módulo de Young de la fibra y de la matriz. K tiene un valor menor a 1, generalmente entre 0.1-0.6

Materiales compuestos con matriz polimérica

Polímero reforzado con fibra de vidrio. El diámetro de la fibra generalmente está entre 3-20 μm y es usado debido a:

1. Las fibras de vidrio son fácilmente obtenibles a partir del estado fundido
2. Como fibra, el vidrio es relativamente resistente. Cuando es embebido en la matriz polimérica, permite obtener un material compuesto con alta resistencia
3. El material compuesto es inerte químicamente en muchos medios, lo que le hace resistente a la degradación por corrosión
4. El límite de operación del material está alrededor de 200°C, limitado por la resistencia de la matriz cuando es expuesta a altas temperaturas.

Polímero reforzado con fibra de carbono.

1. El carbono tiene el mayor módulo de Young y mayor resistencia que cualquier otro material utilizado como refuerzo
2. El carbono mantiene sus propiedades mecánicas cuando es expuesto a altas temperaturas
3. A temperatura ambiente, las fibras de carbono no son afectadas por humedad y muchos ácidos, solventes y bases

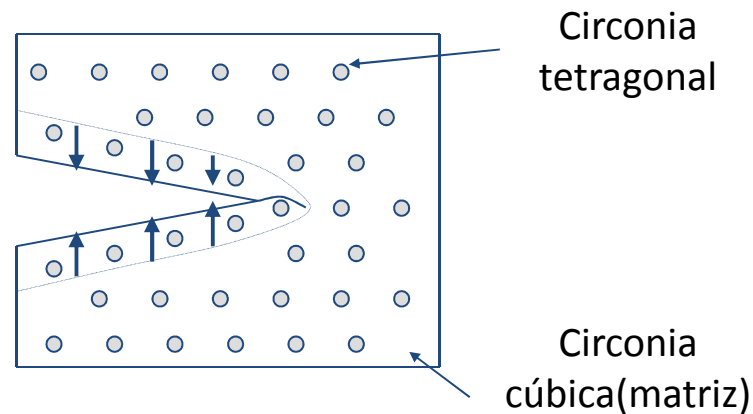
Materiales compuestos con matriz metálica

- ✓ El metal utilizado como matriz es dúctil
- ✓ Estos materiales pueden ser utilizados a altas temperaturas. Es posible obtener materiales compuestos cuya temperatura máxima de servicio sea mayor que la de la matriz
- ✓ El refuerzo se utiliza para aumentar la rigidez, resistencia a la abrasión, conductividad térmica o estabilidad dimensional, entre otras propiedades
- ✓ El material de refuerzo puede estar tanto en forma de partículas como de fibras, con concentraciones entre 10-60% en volumen
- ✓ Su uso es común en la industria automotriz, en donde algunos componentes de los motores son fabricados de aleaciones de aluminio reforzados con fibras de alúmina o carbono. Esto favorece la obtención de un material ligero y resistente al desgaste y altas temperaturas. También tiene utilidad en la industria aeroespacial, en donde se utilizan aleaciones de aluminio reforzadas con fibras de boro o fibras de grafito.

MATERIALES COMPUESTOS

Materiales compuestos con matriz cerámica

- ✓ A pesar de la baja tenacidad a la fractura de los materiales cerámicos, su resistencia a altas temperaturas lo hace un buen candidato para material a reforzar (matriz)



Mecanismo de “arresto” de grietas en la circonia parcialmente estabilizada con Y_2O_3 , CeO_2 , MgO , CaO

Materiales compuestos estructurales

- ✓ Los laminares están formados por paneles unidos entre sí por algún tipo de adhesivo u otra unión. Lo más usual es que cada lámina esté reforzada con fibras y tenga una dirección preferente, más resistente a los esfuerzos. Ejemplo: madera contraenchapada
- ✓ Otros consisten en dos láminas exteriores de elevada dureza y resistencia (normalmente plásticos reforzados, aluminio o incluso titanio), separadas por un material menos denso y menos resistente, polímeros cauchos sintéticos
- ✓ Se utilizan con frecuencia en construcción, en la industria aeronáutica y en la fabricación de condensadores eléctricos multicapas

Nomenclatura

Hybrids: composites	Carbon-fiber-reinforced polymers	CFRP
	Glass-fiber-reinforced polymers	GFRP
	SiC-reinforced aluminum	Al-SiC
Hybrids: foams	Flexible polymer foams	Flexible foams
	Rigid polymer foams	Rigid foams
Hybrids: natural materials	Cork	Cork
	Bamboo	Bamboo
	Wood	Wood

EJERCICIOS

1. Estimar las conductividades máxima y mínima para un cermet que contiene 85% volumen de partículas de TiC en una matriz de cobalto. La conductividad térmica del TiC es 27 W/m-K y el de el Co 69 W/m-K
2. Un material cuya matriz epóxica es reforzada con fibra de vidrio, tiene una relación entre la longitud crítica de la fibra y su diámetro de 50. Utilizando los datos de la tabla, de terminar el esfuerzo de enlace entre la fibra y la matriz.

<i>Material</i>	<i>Specific Gravity</i>	<i>Tensile Strength</i> [GPa (10^6 psi)]	<i>Specific Strength</i> (GPa)	<i>Modulus of Elasticity</i> [GPa (10^6 psi)]	<i>Specific Modulus</i> (GPa)
Aluminum oxide	3.95	1.38 (0.2)	0.35	379 (55)	96
Aramid (Kevlar 49)	1.44	3.6–4.1 (0.525–0.600)	2.5–2.85	131 (19)	91
Carbon ^a	1.78–2.15	1.5–4.8 (0.22–0.70)	0.70–2.70	228–724 (32–100)	106–407
E-Glass	2.58	3.45 (0.5)	1.34	72.5 (10.5)	28.1

EJERCICIOS

3.- Un material compuesto reforzado por fibras contiene 30%vol de fibras y 70%vol de una matriz de policarbonato. Las características mecánicas de estos dos materiales están en la siguiente tabla. Además, el esfuerzo de la matriz de policarbonato es 45MPa cuando las fibras fallan. Calcular el esfuerzo de fluencia longitudinal y el módulo de Young para este material compuesto.

	<i>Modulus of Elasticity</i> [GPa (psi)]	<i>Tensile Strength</i> [MPa (psi)]
Aramid fiber	131 (19×10^6)	3600 (520,000)
Polycarbonate	2.4 (3.5×10^5)	65 (9425)

4.- Para un material compuesto con fibras continuas y orientadas, el módulo de elasticidad en las direcciones longitudinales y transversales son 19.7 y 3.66 GPa respectivamente. Si la fracción volumétrica de fibras es 0.25, determinar el módulo de elasticidad de la fibra y de la matriz

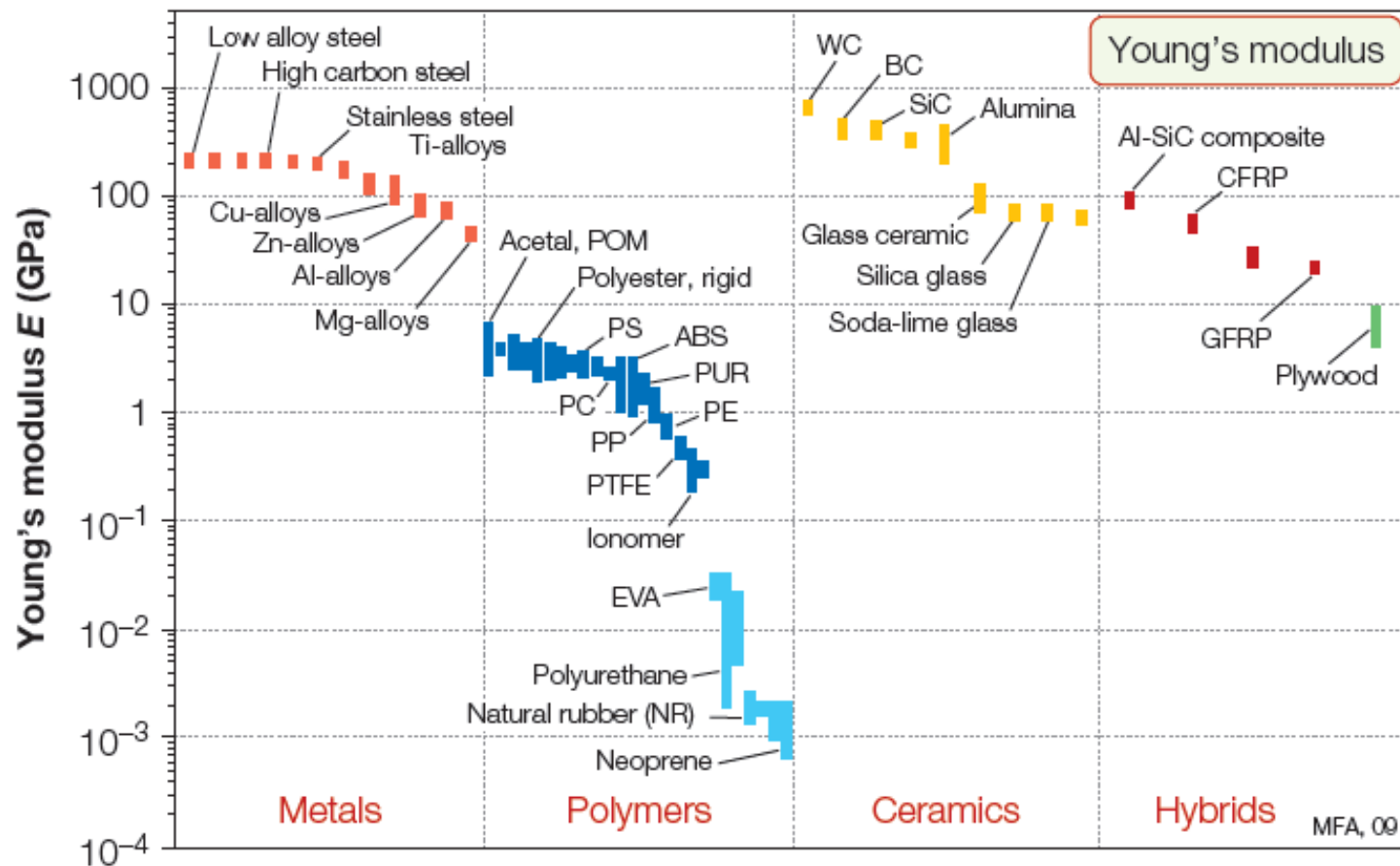
MT-1113

Las propiedades limitan el desempeño de los materiales

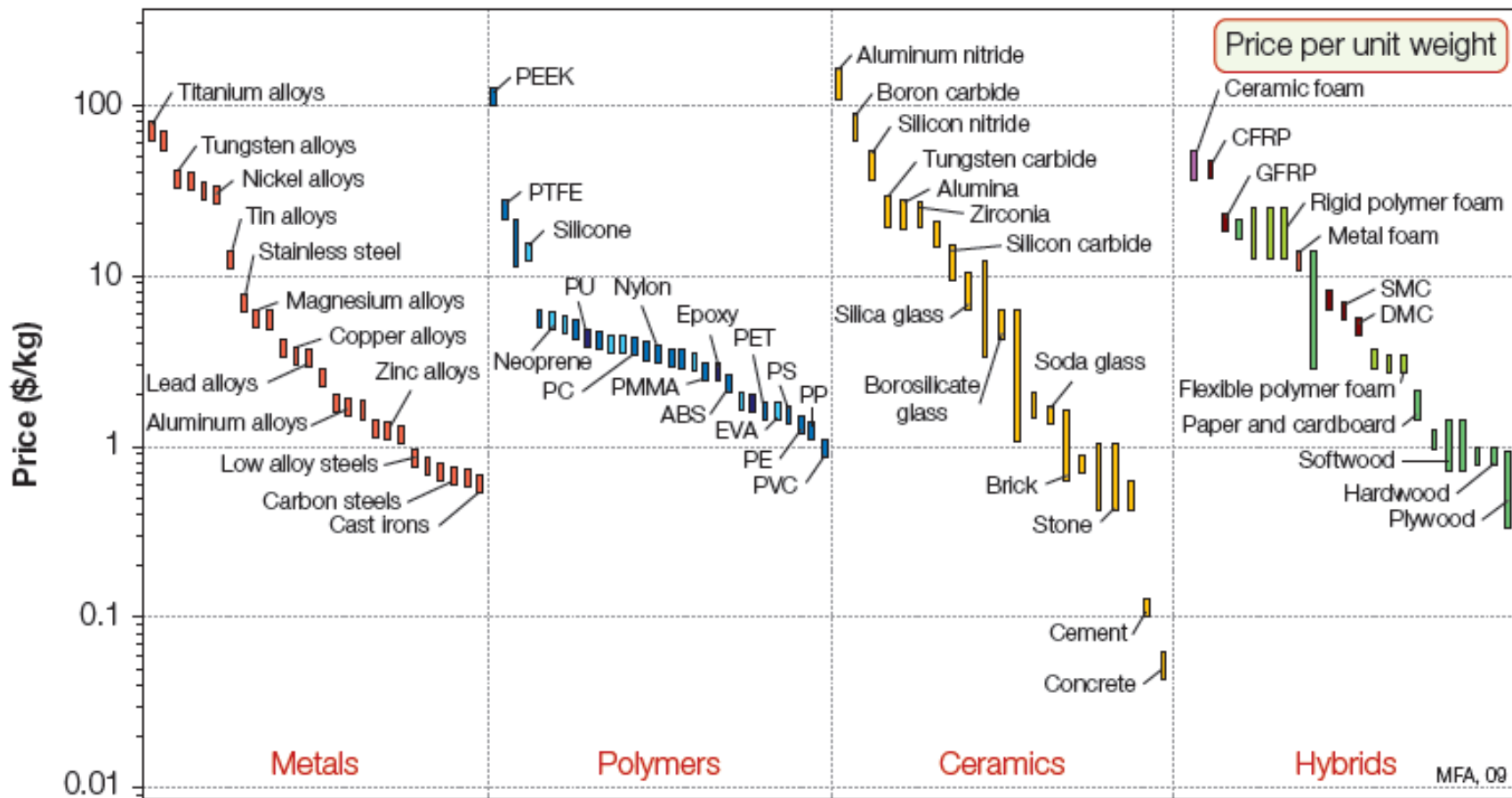
- ✓ Es necesario encontrar la forma de “navegar” a través de las propiedades de los materiales para poder comparar valores y hacer la mejor selección durante un diseño
- ✓ Las propiedades las podemos encontrar en forma de listas, tablas, gráficos de barras...sin embargo, el desempeño del material pocas veces depende de una única propiedad...por lo general depende de un conjunto de ellas: “se requiere de un material rígido pero bajo peso”, “un conductor térmico que sea resistente a la corrosión” o “un material de alta resistencia y alta tenacidad”.
- ✓ Surge la necesidad de realizar gráficos donde se relacionen dos propiedades, mapas donde podemos encontrar información acerca de las propiedades de una familia de materiales o de un material específico

Explorando las propiedades de los materiales

Cada propiedad de un material ingenieril tiene un rango característico de valores. Estos valores pueden tener un amplio rango, como se muestra en el diagrama de barras (escala logarítmica)



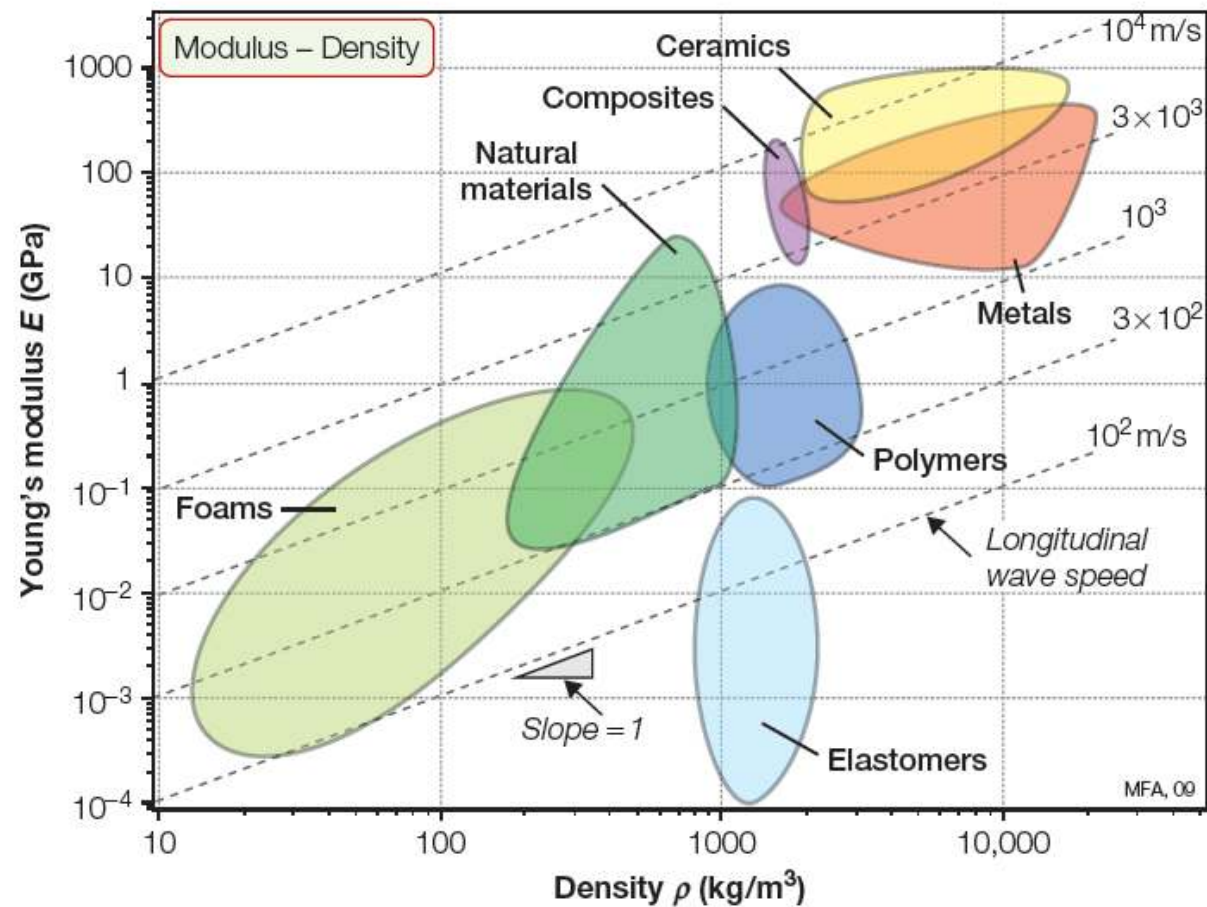
Explorando las propiedades de los materiales

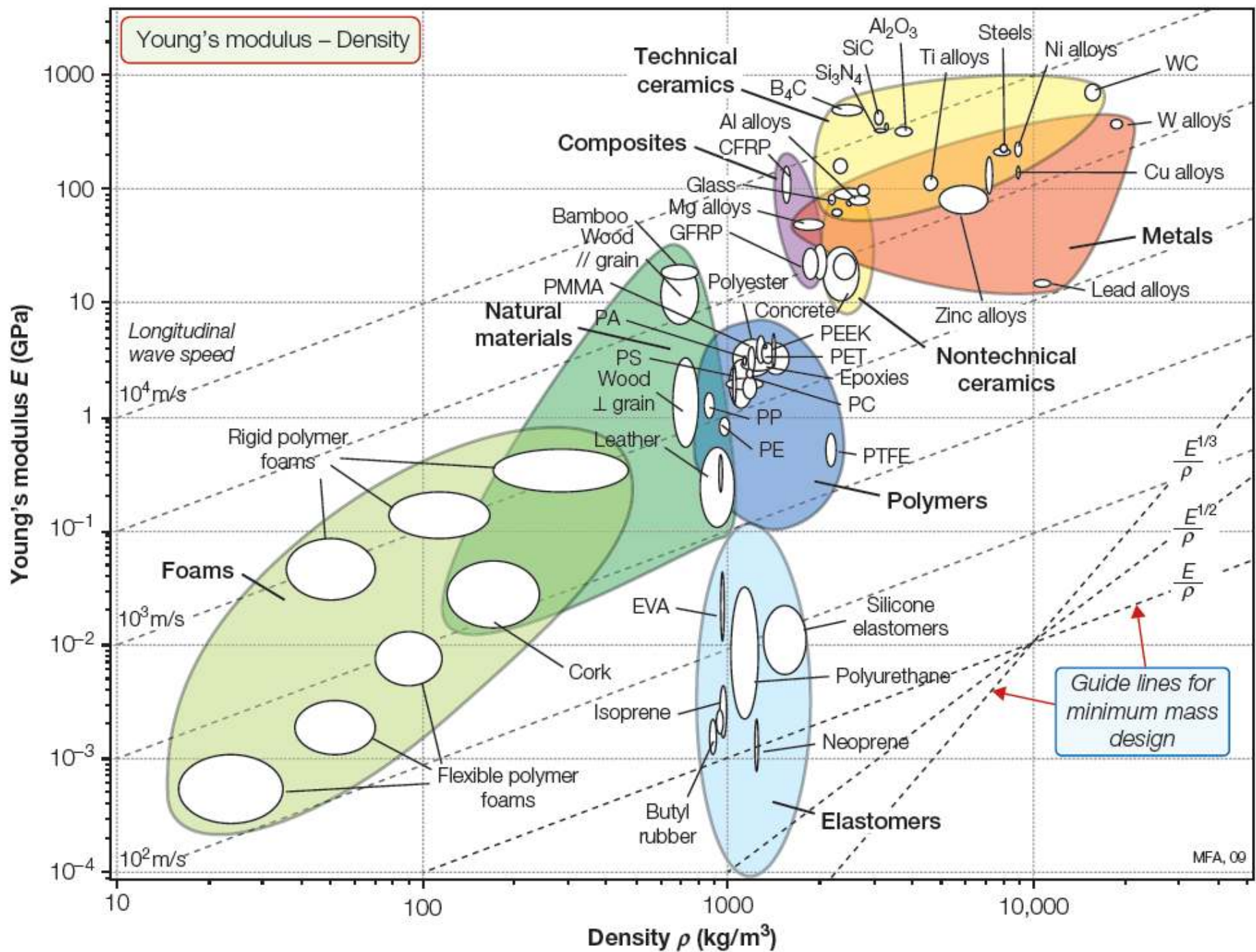


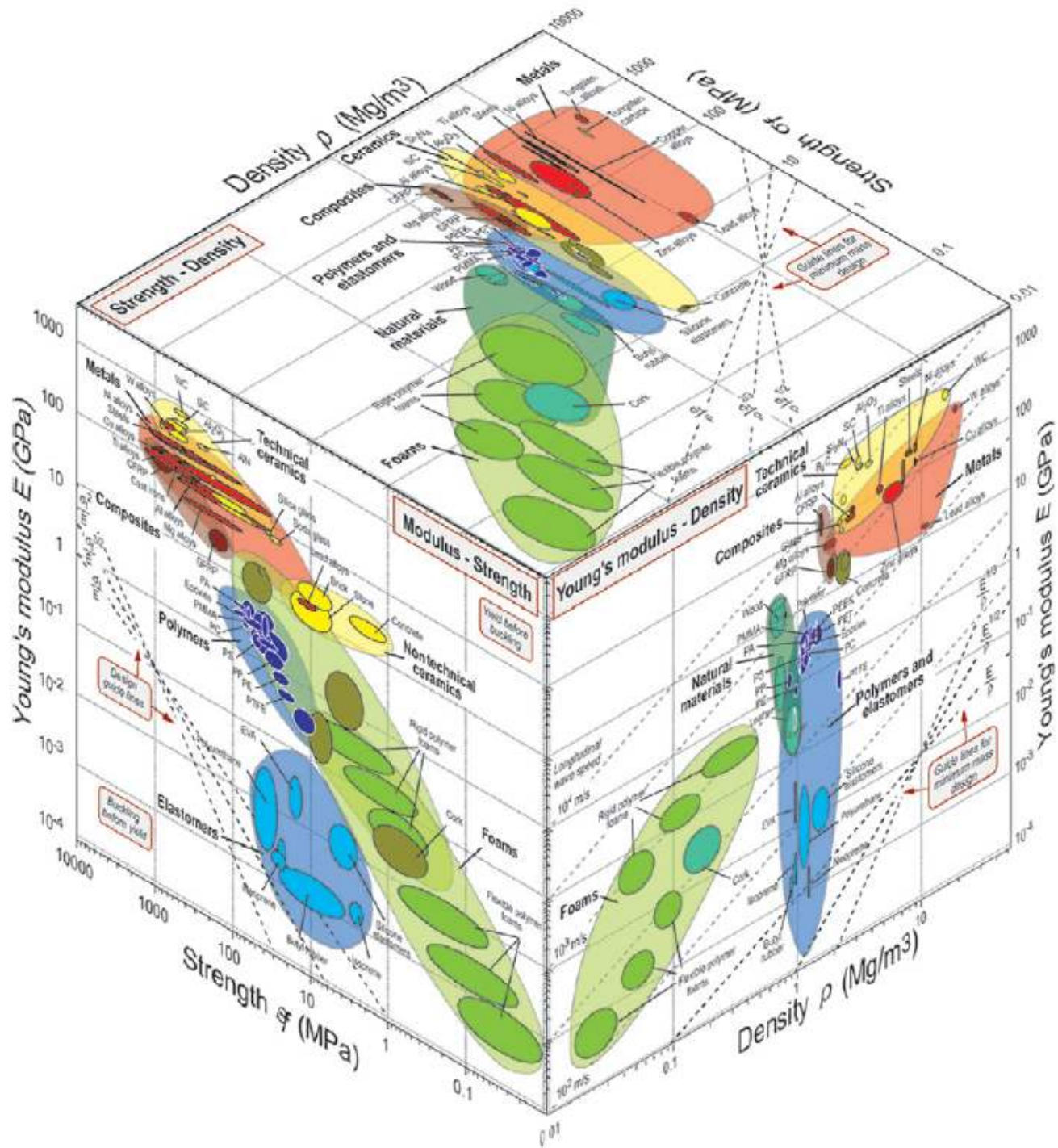
(a)

Explorando las propiedades de los materiales

Los diagramas de barras permiten la comparación de una propiedad (mecánica) para las distintas familias de materiales. Pero estos diagramas también permiten la comparación entre dos propiedades distintas







SELECCIÓN DE MATERIALES

Principios Básicos

Para la selección de materiales es necesario establecer relaciones entre los materiales y sus funciones.

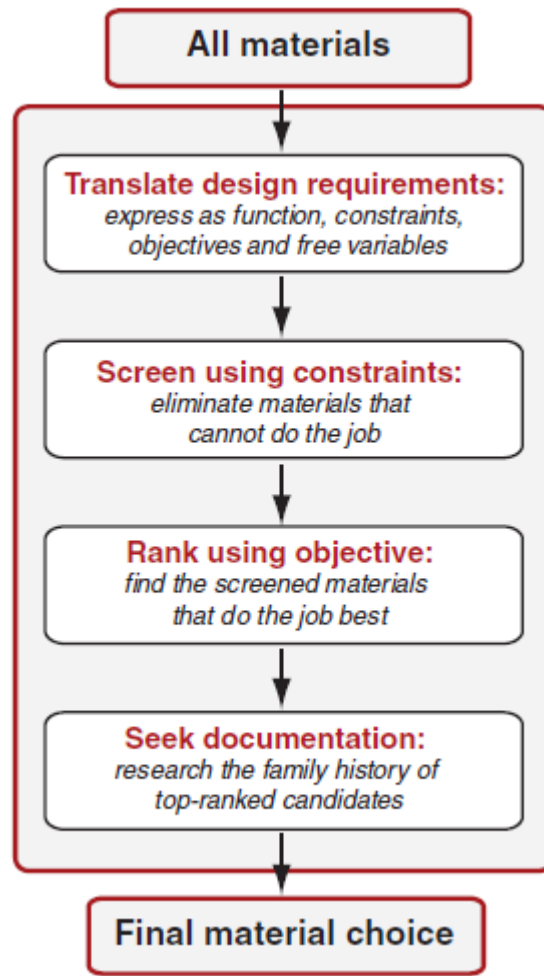
- ✓ Un material tiene atributos: densidad, resistencia mecánica, costo, resistencia a la corrosión, entre otros.
- ✓ Un diseño demanda un perfil de propiedades: baja densidad, alta resistencia, costo modesto, resistencia al agua de mar, etc.

Es importante comenzar por considerar todos los materiales “ver el menú completo” antes de tomar una decisión

Los objetivos de la selección de materiales se pueden resumir en:

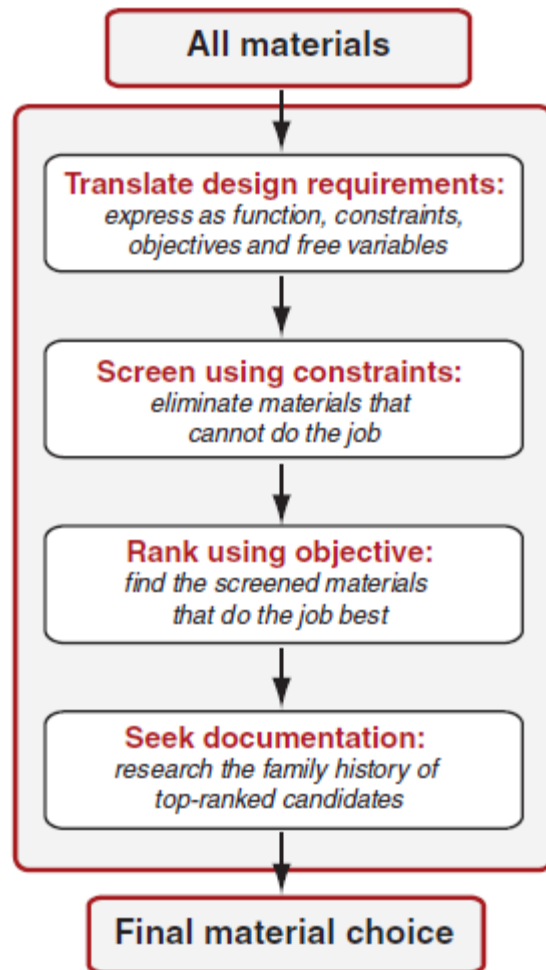
1. Identificar el perfil de atributos deseados
2. Comparar este perfil con los materiales ingenieriles reales para encontrar el que mejor se ajuste a lo deseado

Principios Básicos



1. El primer paso en la selección de materiales consiste en **“traducir”** o examinar los requerimientos del diseño para identificar las restricciones impuestas por el diseñador.
2. A partir del menú completo de los materiales, debemos reducir las opciones aplicando las restricciones. Las restricciones actúan como un **“filtro”**: los materiales que NO cumplen las restricciones, son descartados de nuestras opciones
3. Luego de aplicar las restricciones nos quedará una lista de materiales que cumplen con las especificaciones de diseño, pero debemos jerarquizar nuestras opciones: **ordenar** los materiales en función de su habilidad para maximizar un desempeño (índice del material)
4. Luego de ordenar nuestras opciones, debemos **documentarnos** acerca de los distintos materiales de nuestra lista. Es necesario conocer acerca del proceso de fabricación, de su historial de fallas, ha sido utilizado en las mismas condiciones?

SELECCIÓN DE MATERIALES



Traducir los requerimientos del diseño para crear una "receta" del material

Funciones: soportar una carga, contener presión, transmitir calor

Restricciones: ciertas dimensiones son fijas, el componente debe soportar cierta carga sin fallar, debe funcionar en un determinado rango de temperaturas

Objetivos: hacerlo lo mas económico posible, que tenga el menor peso posible (ligero)

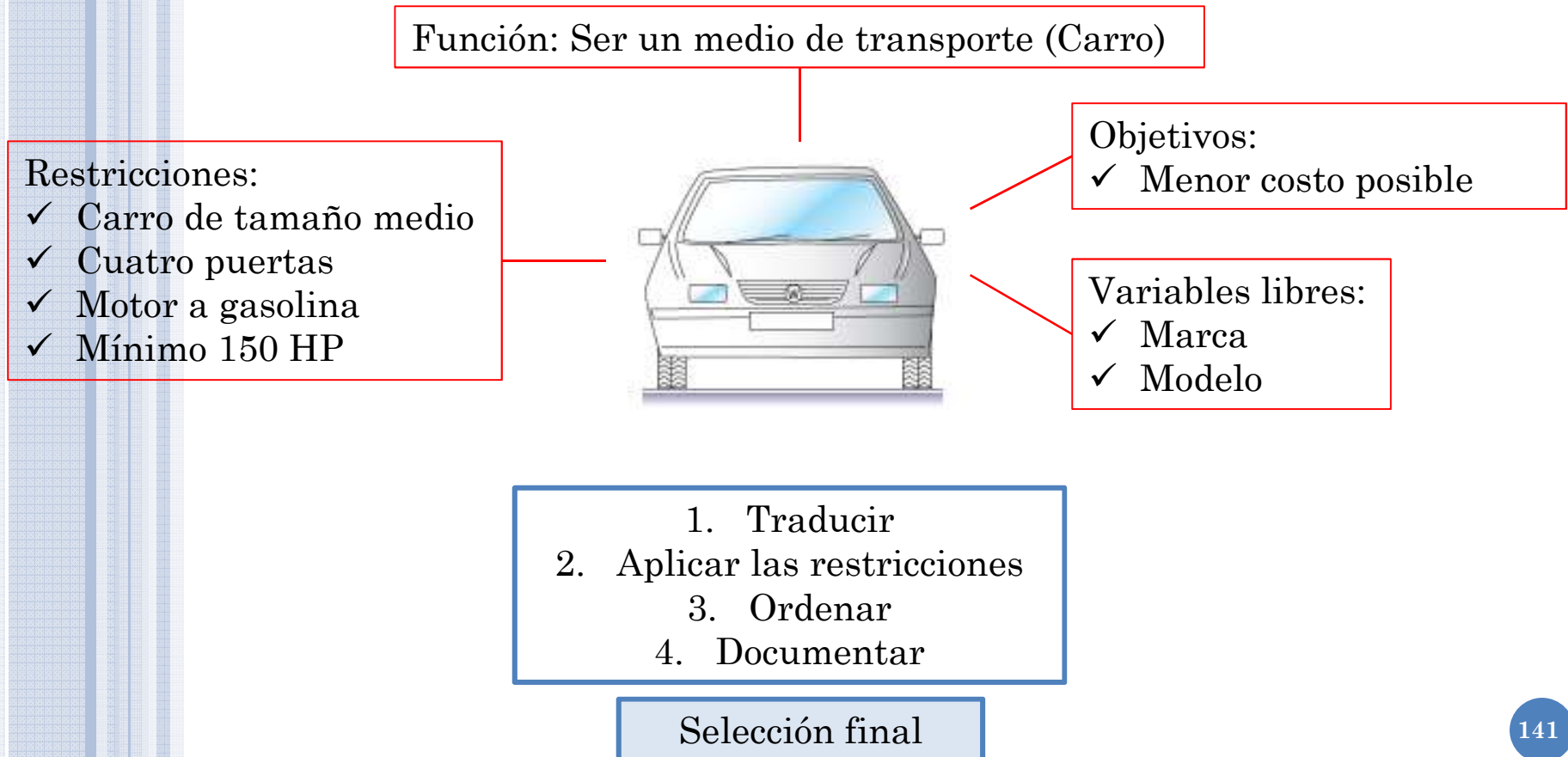
Variables libres: dimensiones, materiales, procesos

Function	• What does the component do?
Constraints	• What non-negotiable conditions must be met?
Objective	• What is to be maximized or minimized?
Free variables	• What parameters of the problem is the designer free to change?

SELECCIÓN DE MATERIALES

Traducir los requerimientos

Usted necesita un carro nuevo. Para cumplir con las necesidades, el carro debe ser de tamaño medio, con 4 puertas, con un motor a gasolina y de al menos 150 HP; pero, además Usted quiere que el carro sea lo más económico posible.



SELECCIÓN DE MATERIALES

Traducir los requerimientos

Se necesita un visor para cascos de seguridad que sea fácil de moldear y transparente.

Función: servir de protección a los ojos y parte de la cara

Restricciones:

1. Habilidad para ser moldeado
2. Transparente

Variables libres:
Material



Visor for helmet

Objetivo:

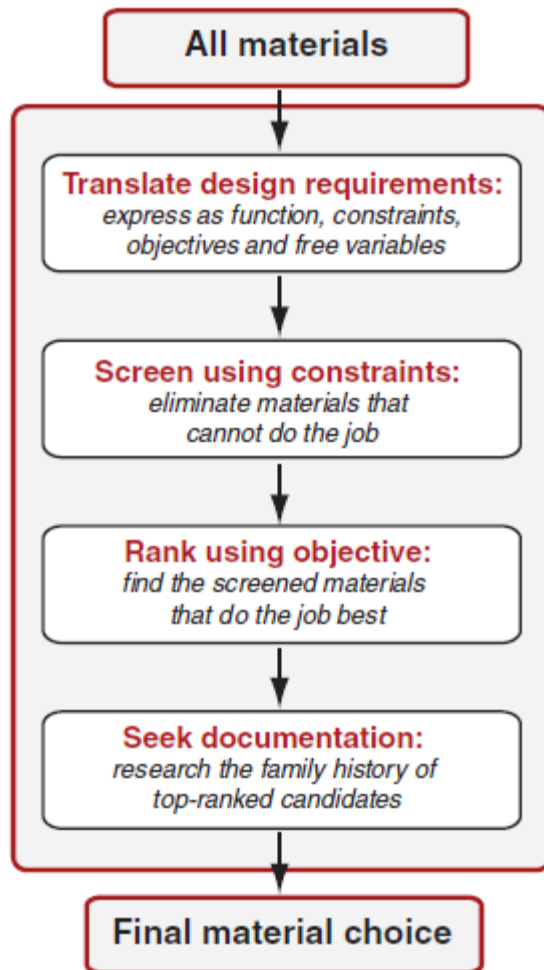
(como es para proteger los ojos y parte de la cara, no debe astillarse o romperse por impacto)
Mayor tenacidad a la fractura posible

1. Traducir
2. Aplicar las restricciones
3. Ordenar
4. Documentar

Selección final

SELECCIÓN DE MATERIALES

Aplicar restricciones (filtro)



Hacer una búsqueda aplicando las restricciones

Aplicar un "filtro"

- Materiales que cumplan con las restricciones impuestas por el diseño ⇒ pasan al siguiente paso
- Materiales que NO cumplen con restricciones ⇒ no pasan, son eliminados como posible candidato



Lista de materiales "sobrevivientes"

SELECCIÓN DE MATERIALES

Aplicar restricciones (filtro)



Visor for helmet

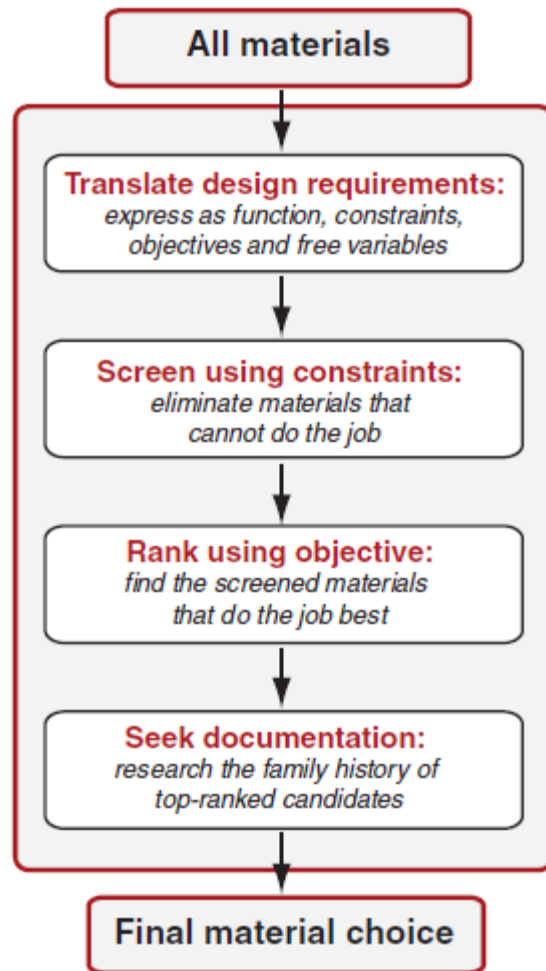
Restricciones:

1. Habilidad para ser moldeado
2. Transparente



Eliminamos los metales, aleaciones y las cerámicas. Sólo algunos polímeros y vidrios son transparentes

SELECCIÓN DE MATERIALES



Ordenar los materiales

Criterio de excelencia: Índice del Material

- Una propiedad → propiedad maximiza desempeño
- Combinación de propiedades → índice de material maximiza desempeño

En esta etapa se identifican aquellos materiales que pueden hacer mejor el trabajo

SELECCIÓN DE MATERIALES

Ordenar los materiales



Visor for helmet

Objetivo:

(como es para proteger los ojos y parte de la cara, no debe astillarse o romperse por impacto) Mayor tenacidad a la fractura posible

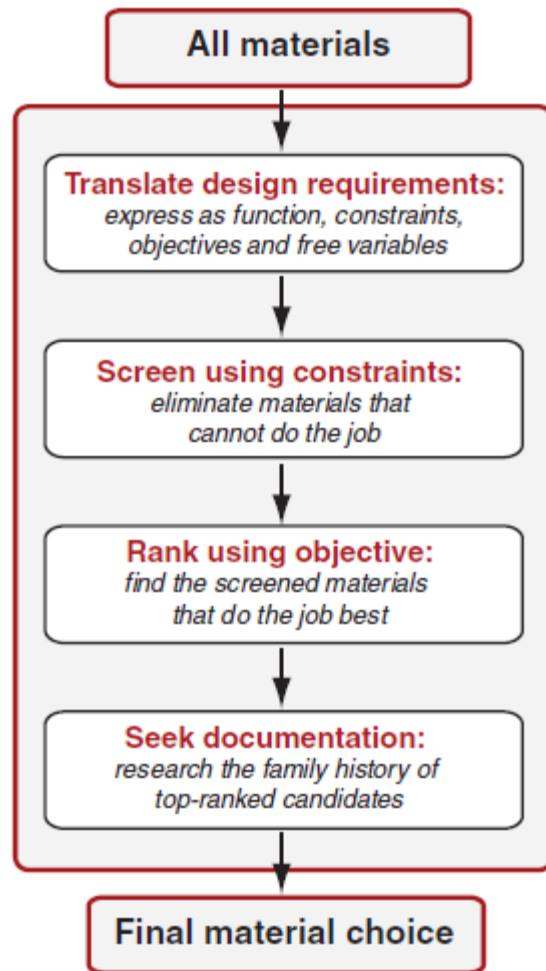
Material

Polycarbonate (PC)	3.4
Cellulose acetate (CA)	1.7
Polymethyl methacrylate (acrylic, PMMA)	1.2
Polystyrene (PS)	0.9
Soda-lime glass	0.6
Borosilicate glass	0.6

Average Fracture Toughness K_{1c} MPa.m^{1/2}

3.4
1.7
1.2
0.9
0.6
0.6

SELECCIÓN DE MATERIALES



Buscar documentación / información acerca del material

- ✓ Se buscan descripciones, graficas, figuras con casos previos donde se haya utilizado el material, detalles de su resistencia a la corrosión en un ambiente particular, precio y disponibilidad en el mercado, toxicidad, impacto ambiental
- ✓ Handbook, hojas de los proveedores, sitios web, entre otros

Documentación

1. POLICARBONATO: lentes y guantes de seguridad, lentes, cascos de seguridad utilizado en láminas a prueba de balas
2. CELULOSA: lentes, artículos, herramientas de mano, cubiertas para pantallas de televisión.
3. PMMA (PLEXIGLAS): lentes de todo tipo, ventanas de avión, herramientas de mano.

El mayor K_{1c} lo tiene el policarbonato, el cual ha sido utilizado en artículos de seguridad, lo que garantiza que funcionará bajo la condición de diseño

SELECCIÓN DE MATERIALES

Caso práctico

Las granjas de viento costa afuera están creciendo cada vez más en popularidad, constituyen una fuente de energía renovable y presentan ciertas ventajas frente a las granjas en tierra firme. La velocidad del viento es mayor y más consistente costa afuera, lo que permite una generación mayor de electricidad, aunque hay objeciones ambientales al respecto



Seleccionar el material a utilizar en la construcción de las torres donde van colocadas las turbinas

SELECCIÓN DE MATERIALES

Caso práctico



Las torres para turbinas costa afuera tienen una sola función: soportar los álabes de la turbina y el generador. Pero, debido a que son difíciles de acceder, deben ser de bajo mantenimiento. Los materiales deben ser resistentes al ambiente marino al que están expuestos y a las condiciones de viento / exposición solar presentes en ambientes abiertos. Aunque por lo general se utilizan torres cilíndricas huecas, por simplicidad vamos a considerarlas como un cilindro macizo y de longitud fija

1. Crear la receta del material

Función:

- ✓ Torre para turbina de viento

Restricciones:

- ✓ Resistencia a la corrosión en ambientes marinos
- ✓ Resistencia a UV
- ✓ Tenacidad
- ✓ Debe funcionar entre -40°C y $+40^{\circ}\text{C}$
- ✓ No debe fallar bajo ráfagas de viento de alta velocidad

Variables libres:

- ✓ Radio
- ✓ Material

Objetivo:

- ✓ Minimizar costo

Caso práctico

2. Aplicar las restricciones: resistencia a ambientes marinos, UV

	Young's Modulus (GPa)	Fracture Toughness (MPa m ^{1/2})	Toughness (kJ m ⁻²)	Yield Strength (MPa)	Salt Water	Marine Environment	UV	Min. Working Temperature (°C)	Max. Working Temperature (°C)
Stainless Steels	189-210	62-150	20-107	170-1000	4	4	4	-272 – -271	747 - 817
Brass	90-110	30-60	10-33	95-500	4	4	4	-273	210
Titanium Alloys	110-120	55-70	28-41	750-1200	4	4	4	-273.15	500
Aluminum	68-80	21-35	6-15	95-610	3	4	4	-273.15	200-200
Low Alloy Steels	205-217	14-200	1-184	400-1500	2	2	4	-73 – -43	500-550
Hardwood	20.6-25.2	9-10	4-4	43-52	3	3	3	-100 – -70	120-140
Concrete	15-25	0.35-0.45	0.008	1-3	4	4	4	-163 - 153	480-510
CFRP	69-150	6.12-20	1-3	550-1050	4	4	3	-123 – -73	140-220
Epoxy Resin	2.35-3.08	0.4-2.22	0.06-1.6	110-192	4	4	2	-123 – -73	140-220
Polycarbonate	2-2.44	2.1-4.6	2.2-8.6	59-70	4	3	2	123 - 73.2	101-144
Polypropylene	0.896-1.55	3-4.5	10-13	20.7-37.2	4	4	1	123 - 73.2	100-115

1. No se puede usar; 2. se puede usar pero sólo con protección externa;
3. bueno, aunque presenta poca degradación; excelente

2. Aplicar las restricciones:

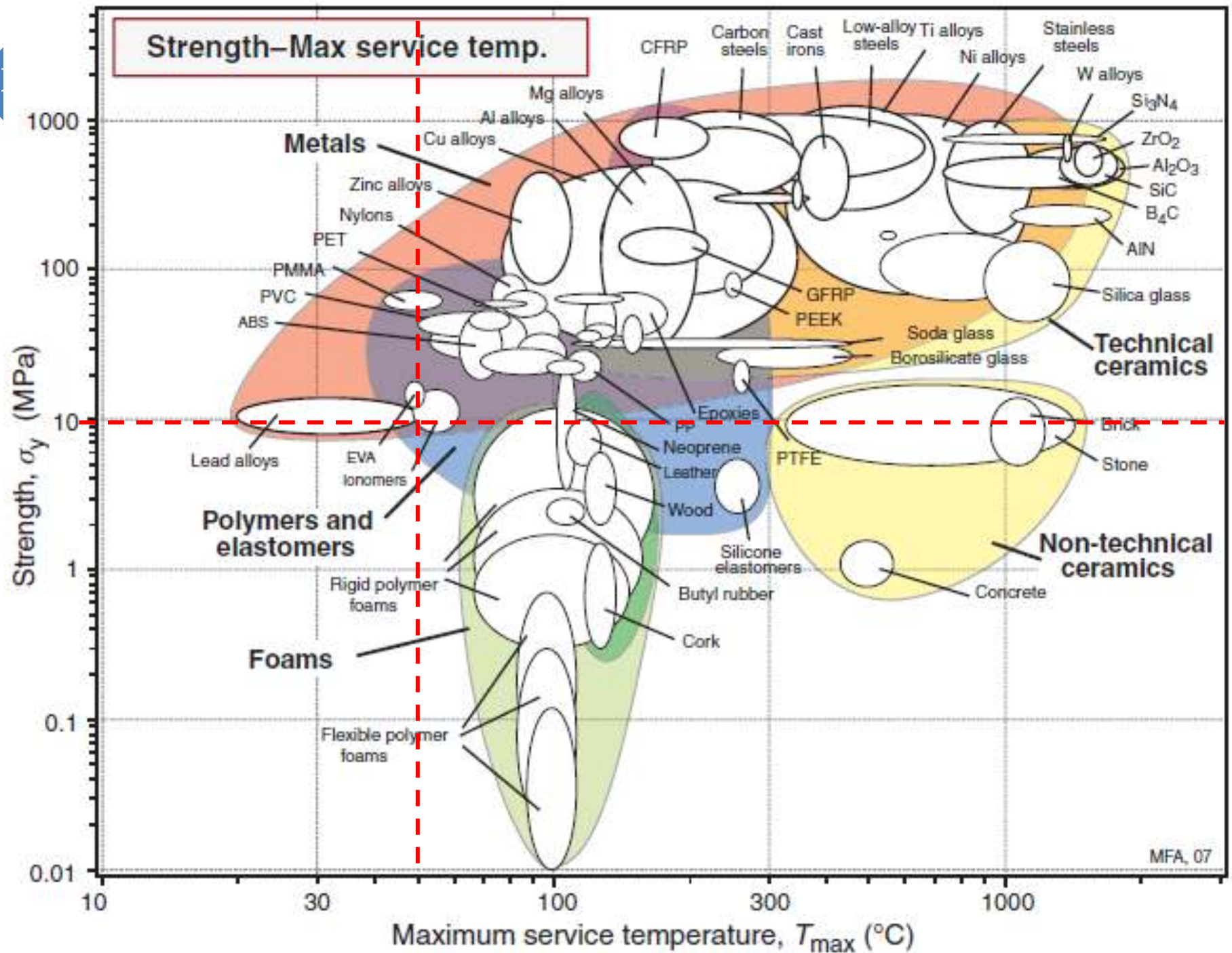
Restricciones:

- ✓ Resistencia a la corrosión en ambientes marinos
- ✓ Resistencia a UV
- ✓ Tenacidad
- ✓ Debe funcionar entre -40°C y $+40^{\circ}\text{C}$
- ✓ No debe fallar bajo ráfagas de viento de alta velocidad

Las restricciones son un filtro

Los materiales que no cumplan con la restricción son eliminados como posible candidato!!!

⇒ **Materiales eliminados:** Materiales poliméricos (polipropileno, policarbonato, resinas epóxicas), concreto, aceros de baja aleación



2. Aplicar las restricciones:

Restricciones:

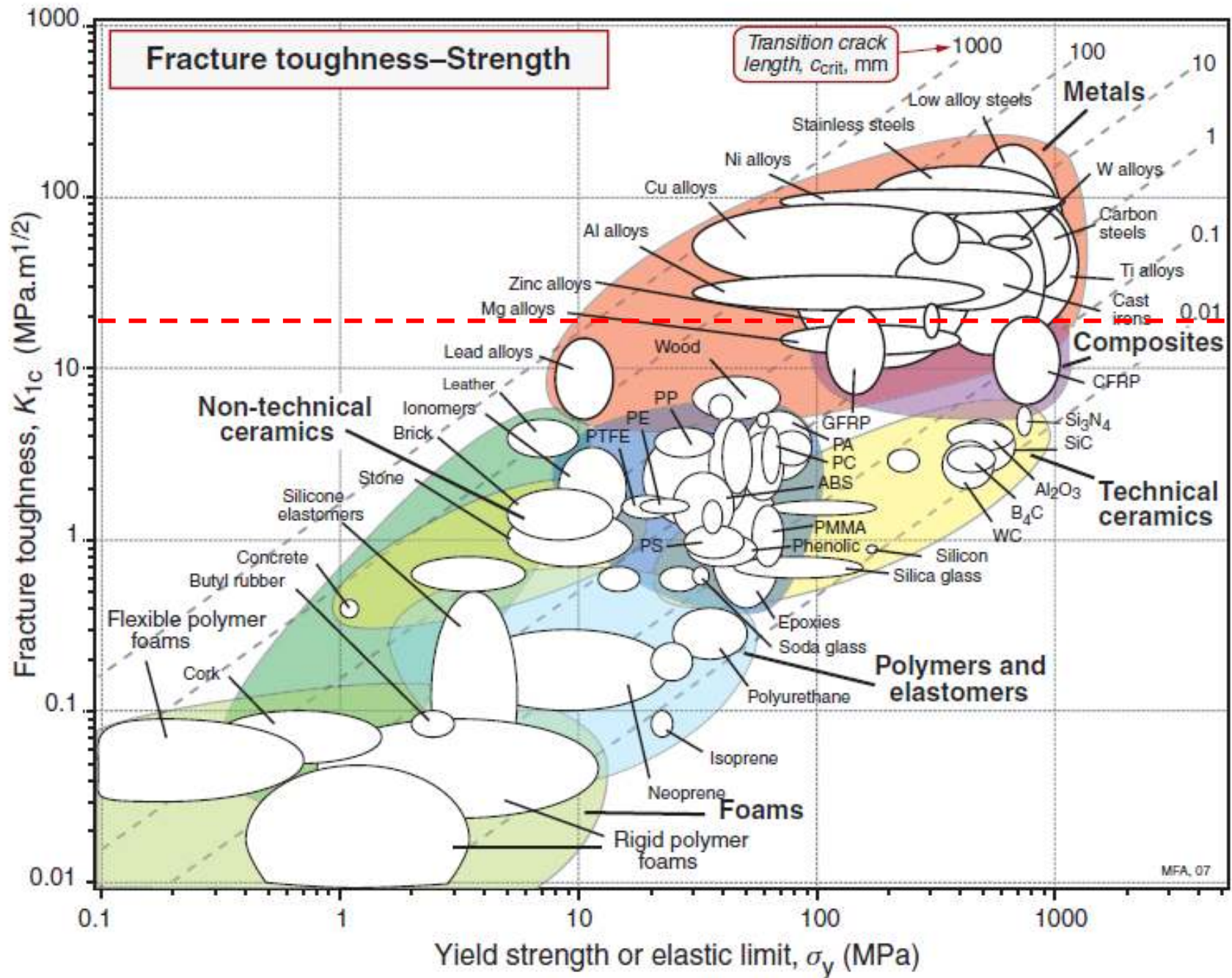
- ✓ Resistencia a la corrosión en ambientes marinos
- ✓ Resistencia a UV
- ✓ Tenacidad
- ✓ Debe funcionar entre -40°C y $+40^{\circ}\text{C}$
- ✓ No debe fallar bajo ráfagas de viento de alta velocidad

⇒ **Materiales eliminados (temperatura max. de servicio $< 50^{\circ}\text{C}$):**
aleaciones de plomo, PMMA, Ionomeros, EVA

⇒ **Materiales eliminados ($\sigma < 10\text{MPa}$):** espumas, cerámicas no-técnicas

⇒ **Materiales eliminados (resistencia a ambientes marinos y UV):**
Materiales poliméricos (polipropileno, policarbonato, resinas epóxicas), concreto, aceros de baja aleación

Posibles candidatos: metales y aleaciones (menos aceros de baja aleación), cerámicas técnicas y materiales compuestos



SELECCIÓN DE MATERIALES

Caso práctico

2. Aplicar las restricciones:

Restricciones:

- ✓ Resistencia a la corrosión en ambientes marinos
- ✓ Resistencia a UV
- ✓ Tenacidad
- ✓ Debe funcionar entre -40°C y $+40^{\circ}\text{C}$
- ✓ No debe fallar bajo ráfagas de viento de alta velocidad

Materiales eliminados: materiales compuestos, cerámicas técnicas

Posibles candidatos: metales y aleaciones (menos aceros de baja aleación, aleaciones de Pb, Mg, Zn)

SELECCIÓN DE MATERIALES

Caso práctico

3. Ordenar los materiales en base al objetivo:

Objetivo:

- ✓ Minimizar costo

Material	Costo aprox. (Costo por unidad de volumen)
Aleaciones de titanio	20-80
Aceros inoxidable	3-20
Aceros al carbono	0.8-1
Fundiciones	0.4-1
Aleaciones de aluminio	0.8-1

4. Documentación:

Que materiales se utilizan en realidad?

- ✓ Generalmente se utilizan aceros al carbono especialmente formulados para tener buena soldabilidad, que sean fáciles de conformar y con buena resistencia a la corrosión.
- ✓ Aunque en la mayoría de los casos la resistencia a la corrosión se aumenta mediante el uso de recubrimientos.
- ✓ Las partes bajas de la torre se fabrican en aceros micro-aleados, los cuales tienen alta resistencia y tenacidad a bajas temperaturas

