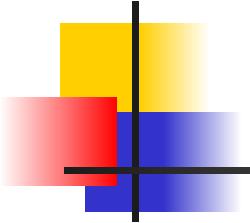


SELECCIÓN DE MATERIALES



EL PROBLEMA DEL DISEÑO Y LA SELECCIÓN DE MATERIALES

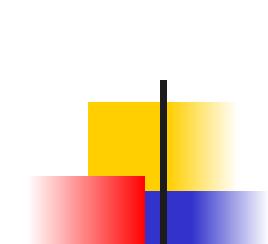
Aplicación:
debe cumplir
unas funciones
específicas



Qué material cumple
dichas funciones y de
todos aquellos que las
cumplen cuál es el
óptimo

Requisitos y restricciones

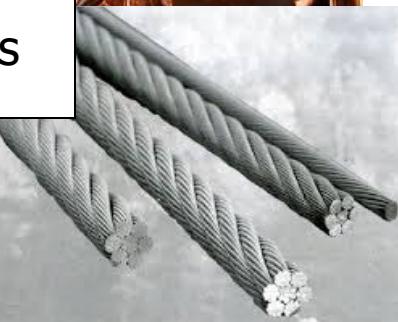
- ✓ Técnicos
- ✓ Comerciales
- ✓ Gubernamentales



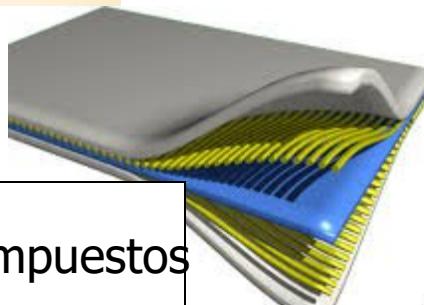
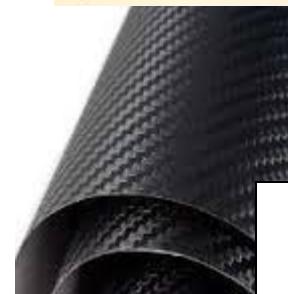
Primera Dificultad: 50.000 – 100.000 materiales



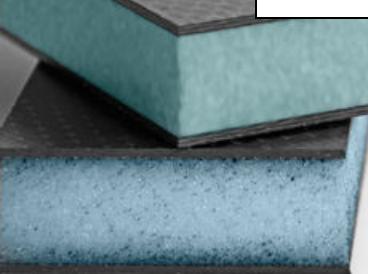
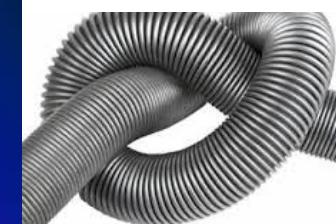
Metálicos



Compuestos

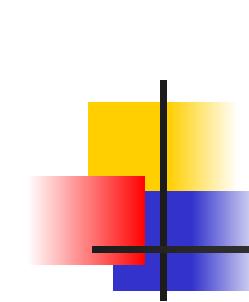


Cerámicos



Polímeros



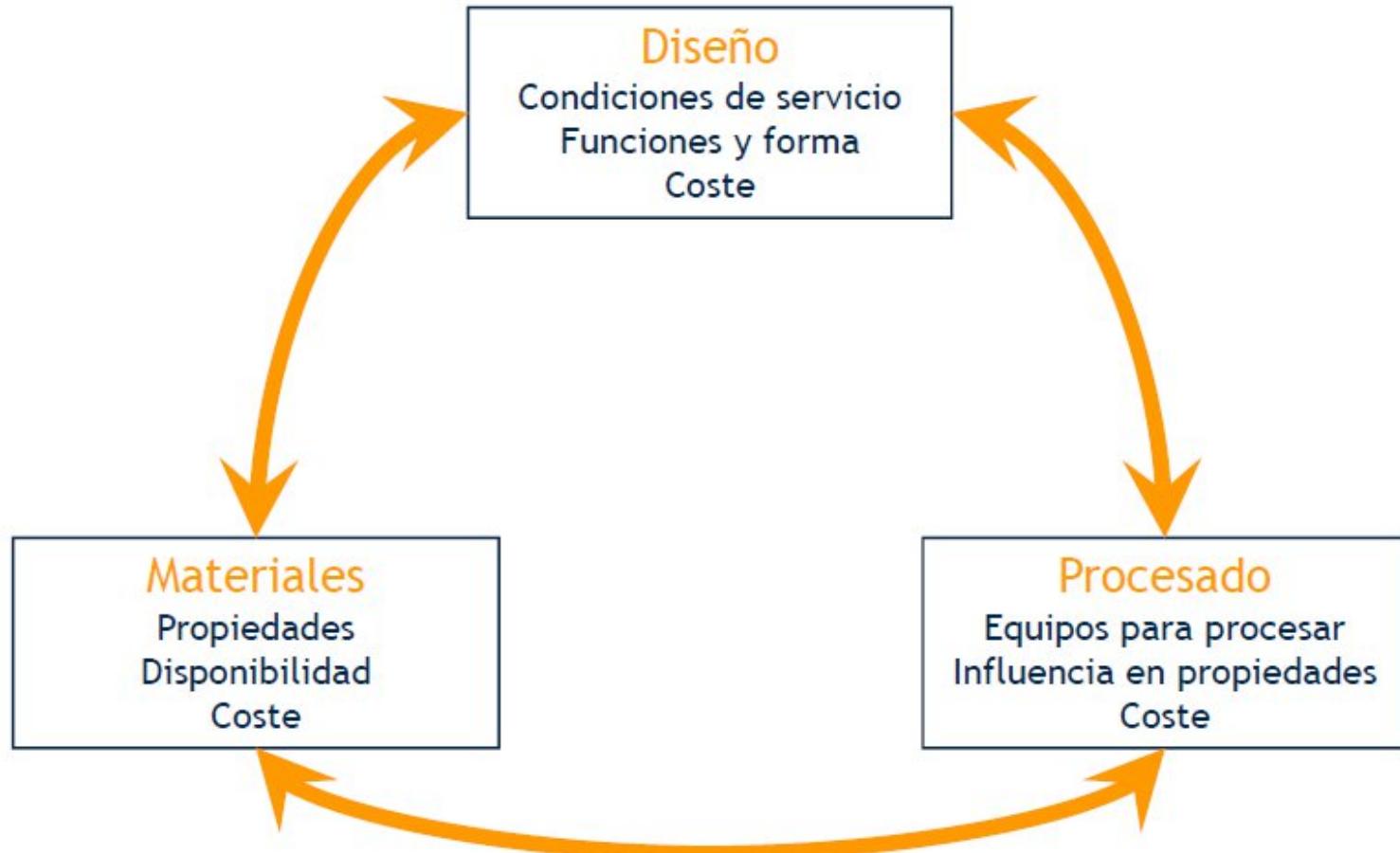


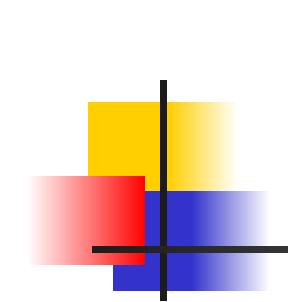
Materiales y sus Propiedades

Tabla 9.1. Propiedades generales de los diferentes tipos de materiales.

Materiales	Puntos fuertes	Debilidades
Metales	<ul style="list-style-type: none">Rigidez ($E \approx 100$ GPa)Ductilidad \Rightarrow MoldeabilidadTenacidad ($K_{IC} > 50$ MPa m$^{1/2}$)Elevado punto de fusión ($T_m \approx 1.000$ °C)Elevada resistencia al choque térmico ($\Delta T \approx 500$ °C)Elevadas conductividades eléctricas y térmicas	<ul style="list-style-type: none">Se deforman plásticamente ($\sigma_f \sim 1$ MPa) \Rightarrow AleacionesBaja dureza ($H \sim 3\sigma_f$) \Rightarrow AleacionesBaja resistencia a la fatiga ($\sigma_c \sim 1/2\sigma_f$)Débil resistencia a la corrosión \Rightarrow recubrimientos
Cerámicas	<ul style="list-style-type: none">Rigidez ($E \approx 200$ GPa)Elevada resistencia a la fluencia y duras ($\sigma_f \approx 3$ GPa)Alto punto de fusión ($T_m \approx 2.000$ °C)Densidad moderadaResistencia a la corrosión	<ul style="list-style-type: none">Muy baja tenacidad ($K_{IC} \approx 2$ MPa m$^{1/2}$)Débil resistencia al choque térmico ($\Delta T \approx 200$ °C)Dificultad de moldeo \Rightarrow métodos de polvo
Polímeros	<ul style="list-style-type: none">Ductilidad y moldeabilidadResistencia a la corrosiónBaja densidadBajas conductividades eléctricas y térmicas	<ul style="list-style-type: none">Baja rigidez ($E \approx 2$ GPa)Elevada fluencia ($\sigma_f \approx 2-100$ MPa)Baja temperatura de transición vítrea ($T_g \approx 100$ °C) \Rightarrow fluyen a baja temperaturaTenacidad media ($K_{IC} \approx 1$ MPa m$^{1/2}$)
Materiales compuestos	<ul style="list-style-type: none">Rigidez ($E > 50$ GPa)Resistencia mecánica ($\sigma_f \approx 200$ MPa)Tenacidad ($K_{IC} > 50$ MPa m$^{1/2}$)Resistencia a la fatigaResistencia a la corrosiónBaja densidad	<ul style="list-style-type: none">Dificultad de moldeoElevado costeAlta fluencia (matrices poliméricas) <p>* No se hace énfasis en esta clase en los Biomateriales</p>

No se puede seleccionar un material sin tener en cuenta la relación





Hoy en día en cada aplicación es necesario elegir los materiales constituyentes de un determinado instrumento de una manera racional, teniendo en cuenta todos los factores que influyen en el producto final.

Exigencias

- Funciones que debe cumplir el material,
- Propiedades del mismo
- Costos de las materias primas
- Costos del proceso de fabricación
- Condiciones de seguridad
- Impacto sobre el medio ambiente
- Reciclado de los residuos
- etc.

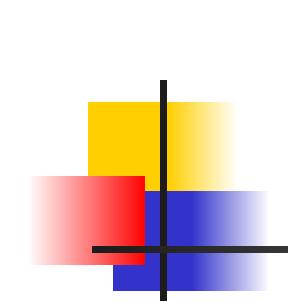


Categorías

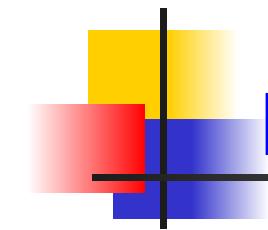
Científico-tecnológicas

Económicas

Socio-ecológicas

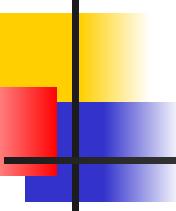


Factores básicos a tener en cuenta en la selección de materiales

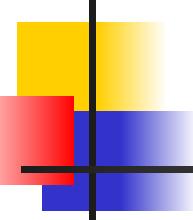


Factores en la selección de materiales

- **Físicos** (tamaño, forma, peso del material que se necesita, así como el espacio disponible para el componente – guardan relación con el tratamiento del material)
- **Mecánicos** (tienen que ver con la capacidad del material para soportar los tipos de esfuerzos que se le imponen) **Criterios de Falla.**
- **Procesamiento y fabricabilidad** (se relacionan con la capacidad de dar forma al material)
- **Duración de los componentes** (se relacionan con el tiempo durante el cual los materiales desempeñan las funciones a las que han sido destinados, en el ambiente al que están expuestos).



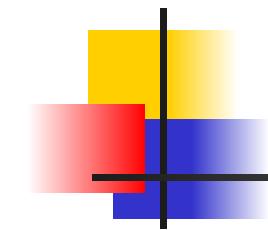
- **Costos y disponibilidad** (en una economía impulsada por el mercado estos dos factores son inseparables)
- **Códigos, factores estatutarios y otros factores**
 - Códigos: son conjuntos de requisitos que se imponen al material o al componentes (ASME, ASTM, SAE)
 - Factores estatutarios: relacionados con los reglamentos locales, estatales y gubernamentales o federales (según el país) referentes a los materiales y a los procedimientos que se utilizan o a la forma de deshacerse de los materiales.



Otros factores: Requisitos sanitarios ambientales y de seguridad

Por ejemplo:

- La OSHA (Occupational Safety and Health Act) de E.E.U.U. prohíbe el uso de latones y aceros con plomo que se utilizan para fabricar pernos y tornillos.
- Los productos químicos o disolventes tóxicos que se utilizan para limpiar y en los procesos no se pueden desechar con las aguas de alcantarillados normales.
- Las leyes sobre la eliminación de residuos sólidos, que exigen que los materiales se reciclen tantas veces como sea posible.



Perfiles para la selección de materiales

- La selección con base al **perfil de propiedades** (encontrar los valores numéricos de las propiedades con las restricciones y los requisitos)
- La selección con base al **perfil del proceso** (identificar el tratamiento que permita dar al material la forma deseada, para después unirlo y terminarlo al costo mínimo)
- La selección con base al **perfil ambiental** (se relaciona con la repercusión del material, su manufactura, uso y reutilización y su eliminación en el ambiente)

EL MATERIAL SE SELECCIONA CONSIDERANDO LOS TRES CRITERIOS DE FORMA SIMULTÁNEA, CONSIDERANDO EL COMPORTAMIENTO Y EL COSTO DEL MATERIAL COMO FACTORES DE IMPORTANCIA PRIMORDIAL.

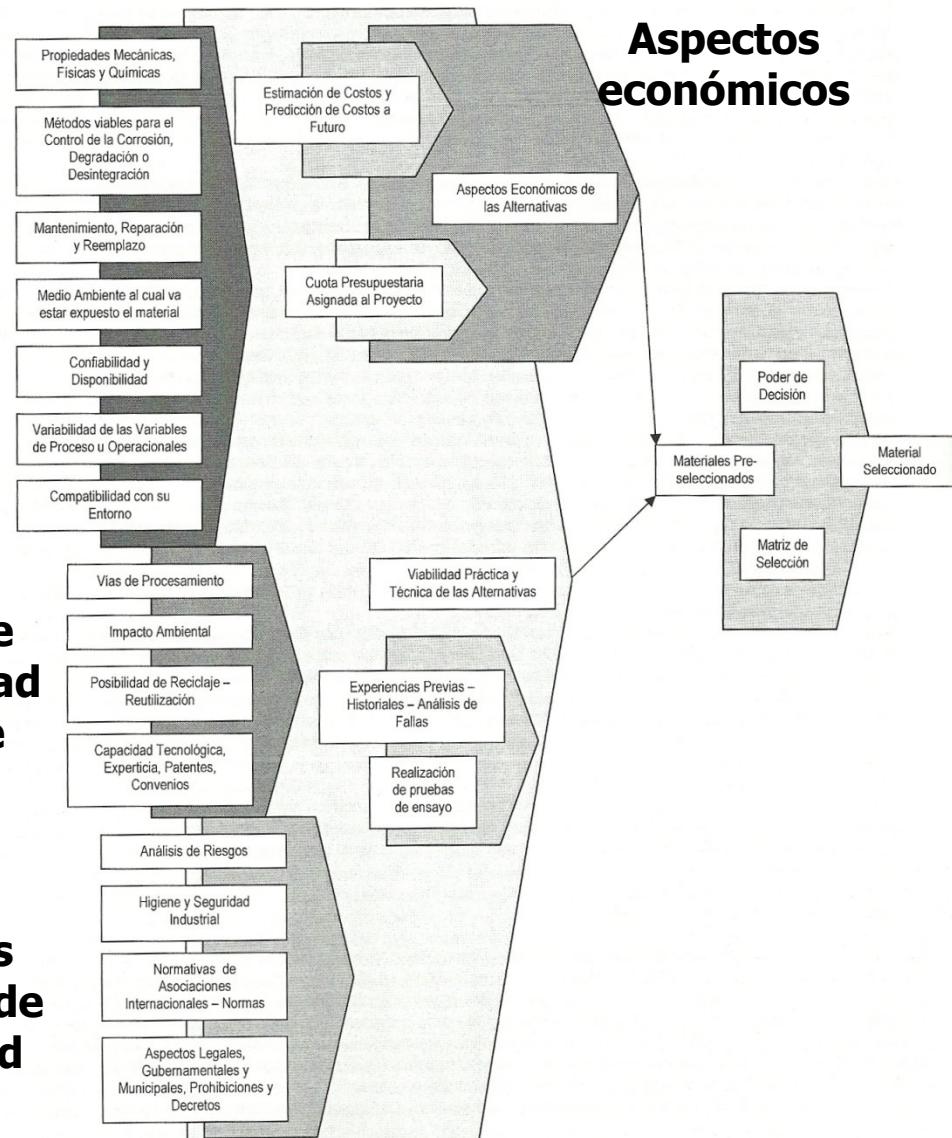
Ideograma para la selección de materiales en procesos químicos

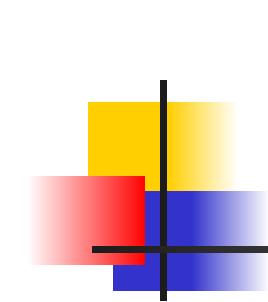
Aspectos de procesabilidad y ambiente

Aspectos legales y de seguridad

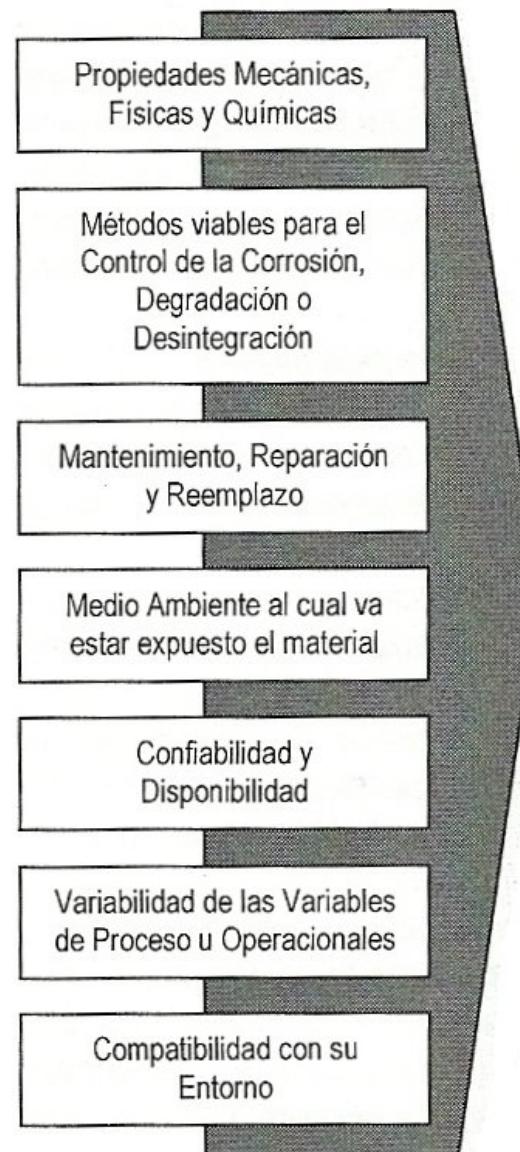
Aspectos técnicos básicos

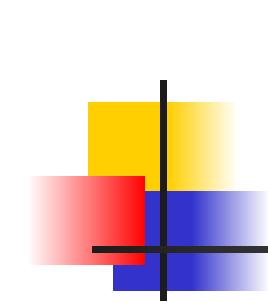
Aspectos económicos



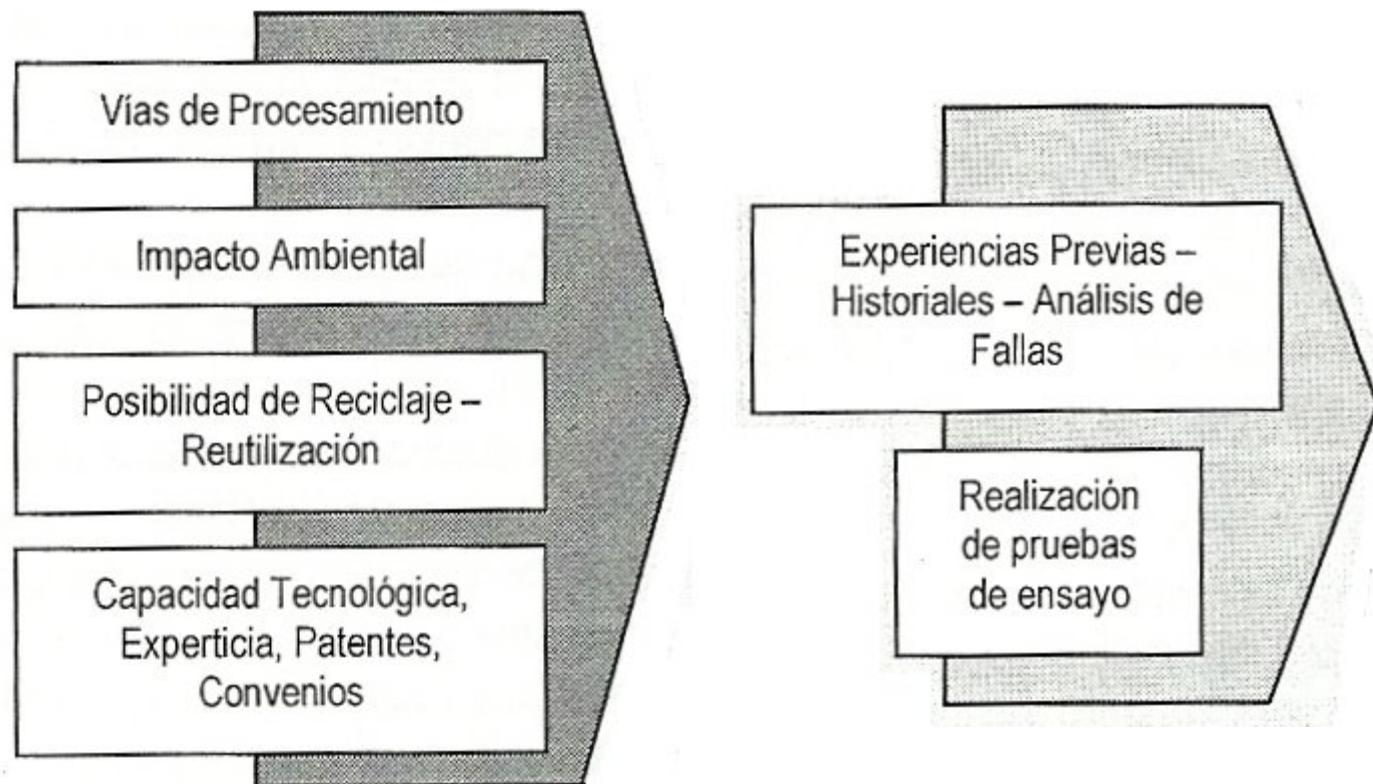


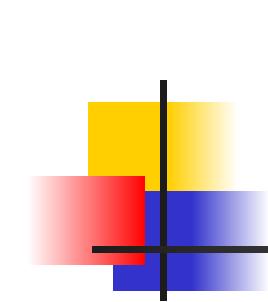
Aspectos técnicos básicos



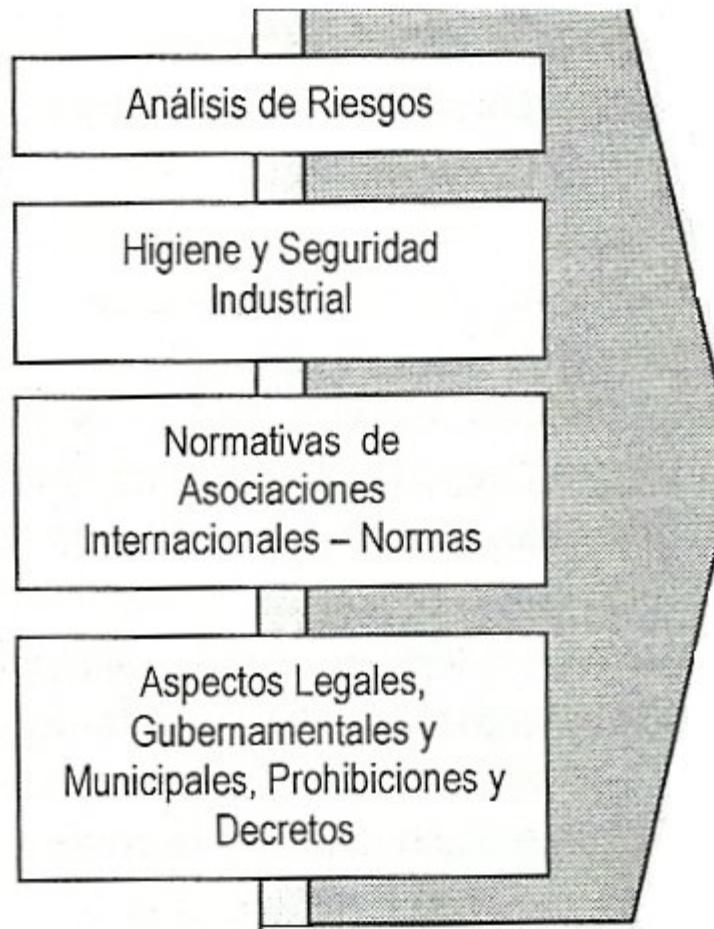


Aspectos de procesabilidad y ambiente

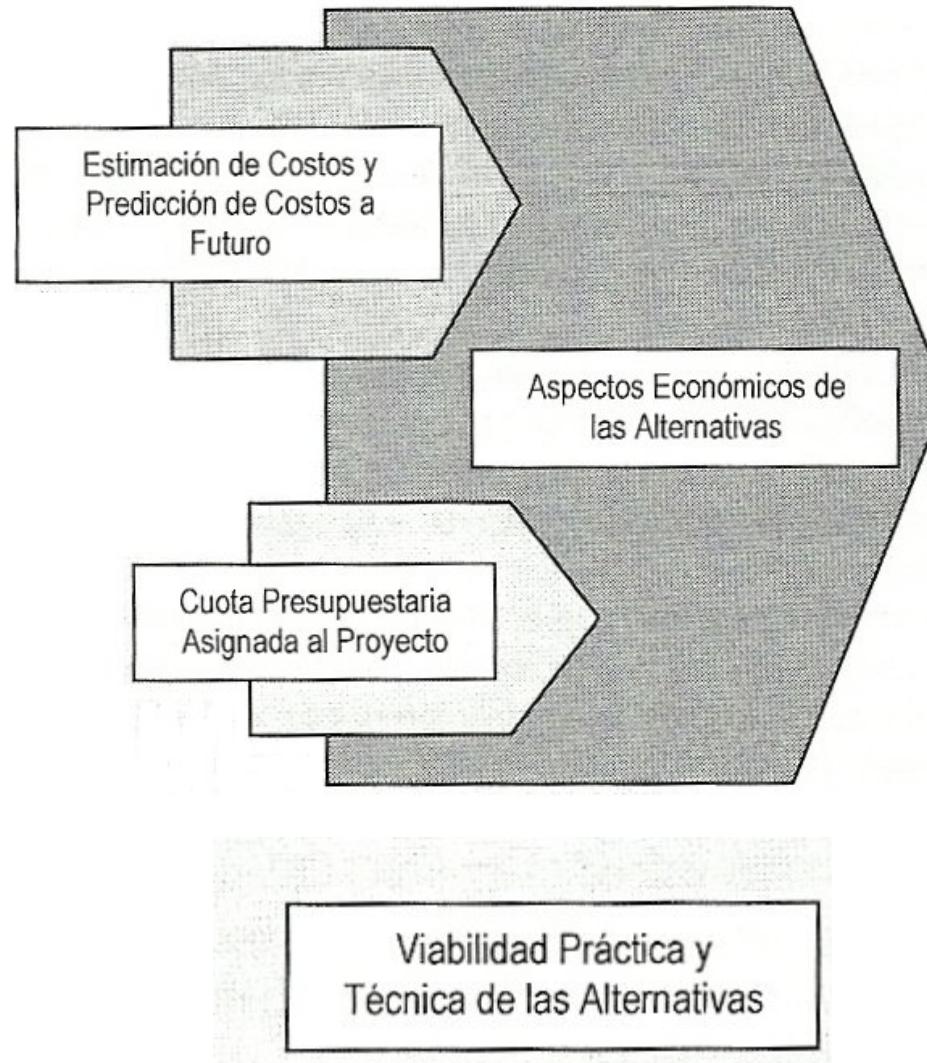


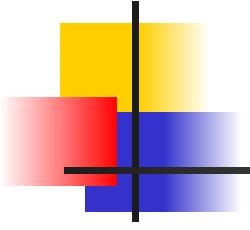


Aspectos legales y de seguridad



Aspectos económicos





Fallas de materiales

Información referente a como falló un componente después de haber sido puesto en servicio.

Las fuentes de falla de los materiales se pueden clasificar en:

- Deficiencias de diseño

- Deficiencias en la selección del material: este aspecto recomienda que se deben elegir los materiales en función de los posibles mecanismos de fallas , los tipos de cargas y de esfuerzos y las condiciones ambientales (como temperatura y corrosión) a la que es probable que los materiales estén expuestos.

-Imperfecciones del material

- Deficiencia de fabricación y tratamiento

-Errores de montaje

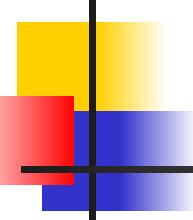
-Condiciones de servicio inadecuadas.

Antecedentes a partir de fallas de materiales

Criterios de propiedades que se emplean como guía para la selección de materiales según el mecanismo de falla de acuerdo con los tipos de carga y esfuerzo, y temperaturas de servicio previstas [22].

Mecanismo de falla	Tipo de carga		Tipo de esfuerzo		Temperatura (b)		Criterios de utilidad general para la selección del material		
	Estática	Repetida	Impacto	Tensión	Compresión	Cortante	Baja	Ambiental	Alta
Fractura frágil	X	X	X	X			X	X	Temperatura de transición con muesca en V Charpy. Tenacidad de muesca. Medidas de tenacidad K_{Ic}
Fractura dúctil (a)	X			X		X		X	Esfuerzo máximo de fluencia. Resistencia a la cedencia cortante
Fatiga por ciclos altos		X		X		X	X	X	Resistencia a la fatiga para la duración esperada, con elevadores de esfuerzo típicos presentes
Fatiga por ciclos bajos		X		X		X	X	X	Ductilidad estática disponible y la deformación plástica cíclica máxima esperada a los elevadores de esfuerzos durante la duración prevista
Fatiga por corrosión		X		X		X		X	Resistencia a la corrosión del material en el ambiente
Pandeo	X		X		X		X	X	Módulo de elasticidad y esfuerzo de fluencia en compresión
Cedencia notoria (a)	X			X	X	X	X	X	Esfuerzo de fluencia
Termofluencia	X			X	X	X		X	Rapidez de termofluencia o resistencia a la ruptura por esfuerzo sostenido para la temperatura y la duración esperada (c)
Fragilización por cáusticos o H_2	X			X			X	X	Manténgase la HRC del material menos de 41
Agrietamiento por corrosión bajo esfuerzo	X			X		X	X	X	Esfuerzo de tensión residual o impuesto y resistencia al ambiente específico. Medidas de K_{Iscc}

(a) Aplicable sólo a metales dúctiles. (b) Temperaturas de operación. (c) Conceptos fuertemente dependientes del tiempo transcurrido. (d) Millones de ciclos.



- **Imperfecciones del material:** segregaciones de solutos o de impurezas, inclusiones, porosidad y huecos resultantes de las condiciones originales de las fuentes de fusión, colado y solidificación, por ejemplo.
- **Inadecuado tratamiento y fabricación:** la susceptibilidad a la falla también pueden ser consecuencia de condiciones inadecuadas de tratamiento, de cambios realizados en las especificaciones sin una evaluación completa, de no seguir los procedimientos especificados y de errores del operador o daños accidentales.
- **Errores de manejo y montaje:** las fallas en servicio pueden ser consecuencia de los errores de montaje no identificados durante la inspección por parte del fabricante o del comprador y que no impidieron la operación normal cuando los componentes ensamblados o el equipo se pusieron en servicio inicialmente.
- **Inadecuadas condiciones de servicio:** operación incorrecta del componente o pieza.

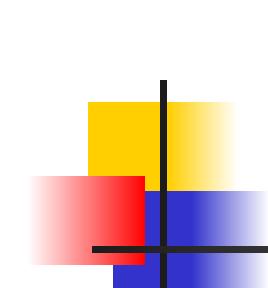


Fuentes de información y especificaciones

Algunos grupos que redactan especificaciones

Nombre del grupo	Nombre del grupo	Nombre del grupo
Association of American Railroads, AAR	American Society of Mechanical Engineers, ASME	American Association of State Highway Officials, AASHTO
American Bureau of Shipping, ABS	American Society for Testing and Materials, ASTM	Departamento de Defensa de EE.UU., MIL y JAN
Canadian Standards Association, CSA	American Water Works Association, Inc., AWWA	Dirección de Servicios Generales de EE.UU., FED
American Petroleum Institute, API	Manufacturers Standardization Society of the Valve and Fittings Industry, MSS	American Gear Manufacturers Association, AGMA
Society for Automotive Engineers, SAE	Normas COVENIN de Venezuela, COVENIN	American National Standards Institute, Inc., ANSI
Aerospace Materials Specifications, AMS		American Railway Engineering Association, AREA

Normas IRAM de Argentina



Métodos de selección de materiales

■ Método Tradicional

Con este método, el ingeniero o diseñador escoge el material que cree más adecuado, con base en la experiencia de partes que tienen un funcionamiento similar y que han mostrado buenos resultados.

El método mantiene buena aceptación debido a lo siguiente:

- El ingeniero se siente seguro con un material usado en el mismo campo y ensayado.
- Las características del material empleado, ya han sido estudiadas previamente y por lo tanto no es necesario realizar estudios previos a la selección.
- **Ahorro considerable de tiempo.**
- Sin embargo, el uso de este método, en ocasiones conduce a serios problemas, ya que no se hace un estudio real del AMBIENTE DE TRABAJO DEL COMPONENTE O EQUIPO, el cual puede ser decisivo a la hora de escoger el material.

Métodos de selección de materiales

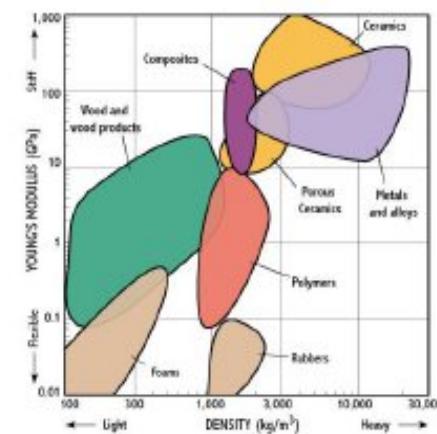
■ Método Gráfico

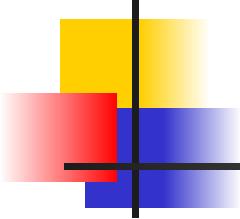
Este método se apoya en graficas conocidas como MAPAS DE MATERIALES, también denominados diagramas de Ashby, en las que se relacionan por pares ciertas propiedades de los materiales. En estos mapas se puede hacer una aproximación del material más adecuado (perteneciente a una determinada familia de materiales), con base en **la relación de las propiedades más importantes que debe poseer el componente.**

Como es de esperar, rara vez el comportamiento de un componente depende sólo de una propiedad.

El proceso consta de tres etapas:

- 1. Definición de requerimientos para la aplicación considerada.**
- 2. Cálculo del índice o índices de material para la aplicación.**
- 3. Selección del material usando el índice de material y los mapas de selección de materiales**





Índice del Material

Combinación de propiedades que caracteriza el comportamiento de un material en una aplicación dada.

Se determina a partir de los requerimientos que debe cumplir el material, utilizando un sencillo modelo matemático.

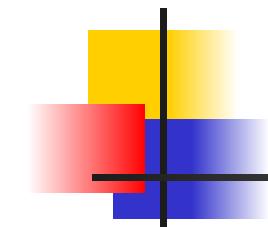
Cualquier componente de un determinado producto tiene al menos una función:

- Soportar una carga,
- Transmitir un flujo de calor,
- Transmitir una corriente eléctrica,
- Absorber la energía de un impacto, etc.

Además, se deben cumplir requerimientos previos:

- Que alguna dimensión esté fijada,
- Que el componente deba trabajar en cierto rango de temperaturas,
- En el seno de un líquido determinado,
- En un ambiente perjudicial, etc.

Tanto los requerimientos científico-tecnológicos y las exigencias definen las condiciones de contorno para seleccionar un material.



A partir de los requerimientos se puede determinar el índice del material asociado a determinadas condiciones (Ashby).

Ejemplo: Índice de material para una barra rígida y ligera

Flexión (en viguetas, vigas, remos, palos de golf, etc.)

Cómo se calcula el índice del material frente a este tipo de deformaciones?

Datos: Barra de sección cuadrada, **A**, y longitud, **l**, cargada en **flexión** y que debe soportar una fuerza, **F**, deformándose una cantidad inferior a ω .

Índice de material para una barra, rígida y ligera.

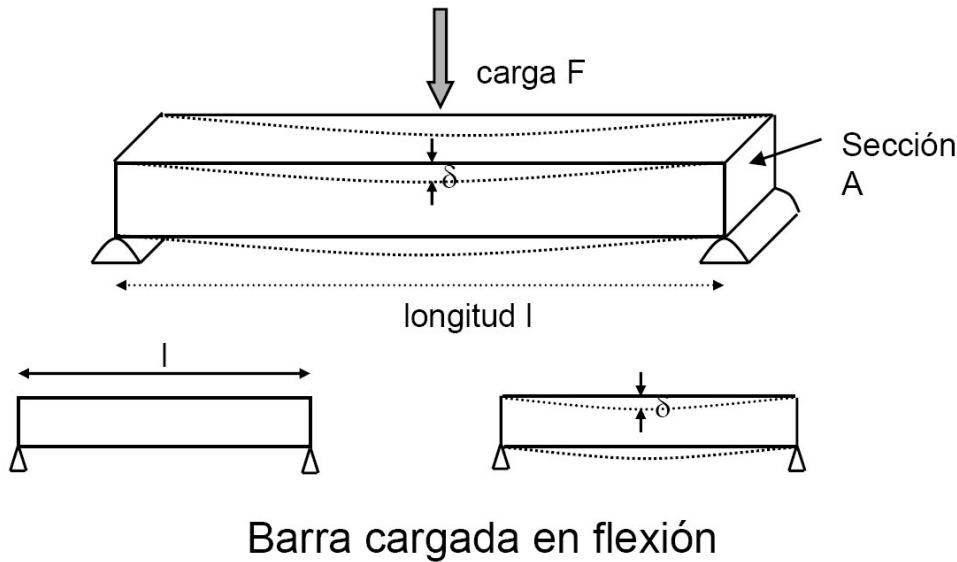
Flexión:
en viguetas,
vigas,
remos,
palos de golf,
etc.

Requerimientos científico-tecnológicos de diseño para una barra ligera.

Barra sometida a esfuerzos en flexión.
Debe soportar una carga F en flexión deformándose menos de un cierto valor δ

Se debe minimizar la masa

La longitud (l) de la barra está especificada



La **rigidez** es la capacidad de un objeto sólido o elemento estructural para soportar esfuerzos sin adquirir grandes deformaciones o desplazamientos.

La rigidez (RI) de una barra de sección cuadrada cargada en flexión es:

$$RI = \frac{C_l EA^2}{12l^3}$$

(RI) y I son fijadas
A = parámetro libre

E= módulo de Young

C_l = constante, depende de la distribución de la carga a lo largo de la barra

Una de las restricciones impone que F/Δ sea mayor que la rigidez de la barra, entonces

$$\frac{F}{\delta} \geq \frac{C_l EA^2}{12l^3}$$

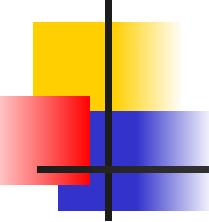
También, $m = \rho Al$, donde ρ es la densidad.

Despejando el parámetro libre A y sustituyéndolo en la ecuación previa.

$$m \leq \left(\frac{12F}{\delta C_l l} \right)^{1/2} l^3 \left(\frac{\rho}{E^{1/2}} \right)$$

Términos que dependen de los requerimientos de la aplicación

Términos propios del material



Los **mejores materiales** para una barra rígida y ligera son aquellos con un **valor máximo del cociente ($E^{1/2}/\square$)**, que será el **índice de material (M)** para esta aplicación:

$$M = \frac{E^{1/2}}{\rho}$$

De esta forma se **minimiza la masa del sistema, asegurando a su vez una rigidez mayor que la que especifica el diseño.**

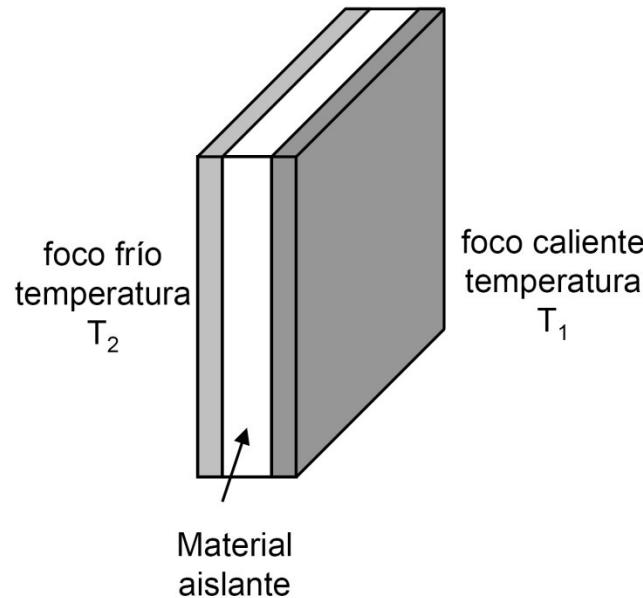
Índice de material para un aislante térmico de bajo coste

Requerimientos científico-tecnológicos y económicos de diseño para un aislante térmico barato

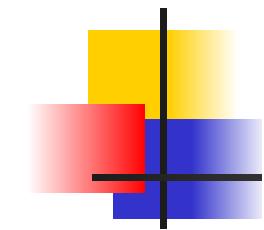
Material aislante con forma de paralelepípedo de sección A y espesor h.
Se debe lograr que el flujo de calor Q a través del material sea inferior a un valor determinado Q_{cri} .

Se supone que la sección del material A está especificada

Régimen estacionario.
Se debe minimizar el costo



Material para aislamiento térmico



El costo del aislante térmico vendrá dado por la ecuación:

$$C = AhC_m\rho \quad (9.6)$$

donde C_m es el costo por unidad de masa del material procesado en forma de paralelepípedo, A es la sección, h el espesor y ρ la densidad

El flujo de calor a través del material Q se puede obtener a partir de la ley de Fourier.

$$Q = -\lambda \frac{T_2 - T_1}{h} \quad (9.7)$$

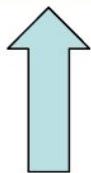
que ha de establecerse para condiciones que no superen el valor crítico $Q \leq Q_{cri}$

Despejando de la ecuación 9.7 el parámetro libre h y sustituyendo en 9.6 se obtiene:

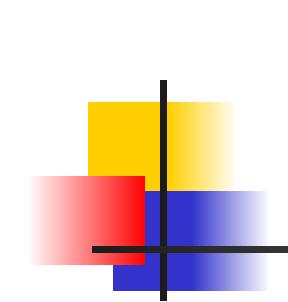
$$C \geq \left(\frac{T_1 - T_2}{Q_{cri}} \right) A (\lambda \rho C_m) \quad (9.8)$$

por lo que para minimizar el costo del material se deberá maximizar el índice M de material

$$M = \frac{1}{\lambda \rho C_m} \quad (9.9)$$



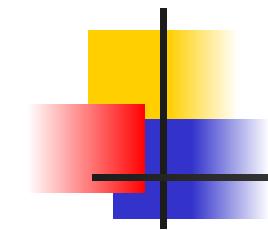
Se debe maximizar este índice (que es de nuevo una combinación de varias características del material)



Ejemplo de índices de materiales (determinados usando procedimientos análogos a los de los ejemplos previos).

Requerimientos	Índice
Barra, Mínimo peso, rigidez especificada	$\frac{E^{1/2}}{\rho}$
Barra, peso mínimo, resistencia especificada	$\frac{\sigma_f^{2/3}}{\rho}$
Barra, costo mínimo, rigidez especificada	$\frac{E^{1/2}}{C_m \rho}$
Barra, costo mínimo, resistencia especificada	$\frac{\sigma_f^{2/3}}{C_m \rho}$
Columna, costo mínimo, resistencia al pandeo especificada.	$\frac{E^{1/2}}{C_m \rho}$
Aislamiento térmico, costo mínimo, flujo de calor especificado.	$\frac{1}{\lambda C_m \rho}$

ρ densidad, E módulo de Young, σ_f esfuerzo de fluencia, C_m costo por kilogramo, λ conductividad térmica



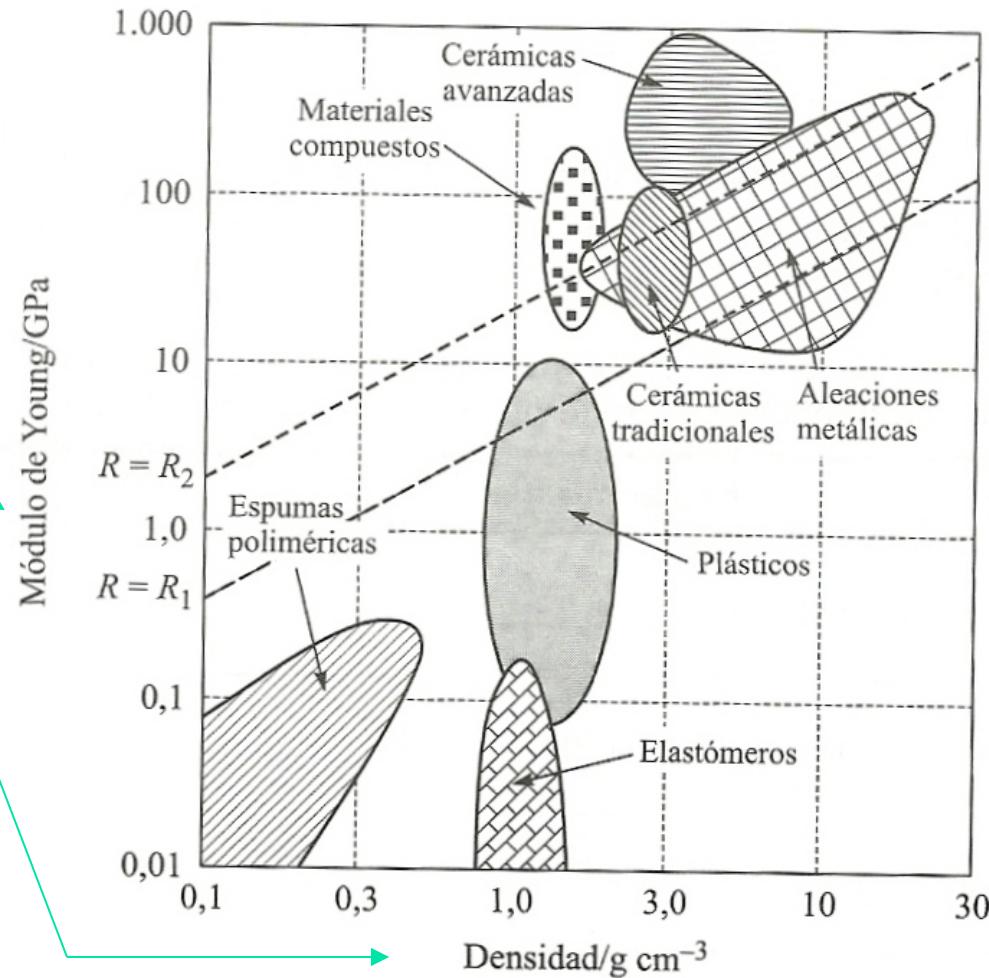
Mapas de selección de materiales

- Un procedimiento sencillo que permita acceder a las propiedades de los distintos tipos de materiales
- Facilite la comparación de dichas especificaciones con los requerimientos del material en servicio.
- Las prestaciones de un componente dependen no de una sola propiedad sino de una combinación de ellas.

Ejemplo:

Es habitual buscar materiales de elevada rigidez pero que además sean ligeros, aislantes térmicos, con propiedades mecánicas elevadas, materiales resistentes mecánicamente y a la corrosión y muy baratos, etc.

Mapas de selección de materiales



*Se representa una propiedad del material frente a otra

Figura 9.4. Mapa simplificado E versus densidad.

1. Se trata de un esquema gráfico que permite condensar una gran cantidad de información de forma accesible y sencilla, que además **permite establecer correlaciones entre propiedades**.
2. Los datos que aparecen representados para **los distintos tipos de materiales elegidos** ocupan espacios separados en el diagrama.
3. Muestran que las propiedades de las diferentes clases de materiales puede variar en amplios intervalos, formando grupos que se ubican en áreas cerradas, zonas o campos en el diagrama.

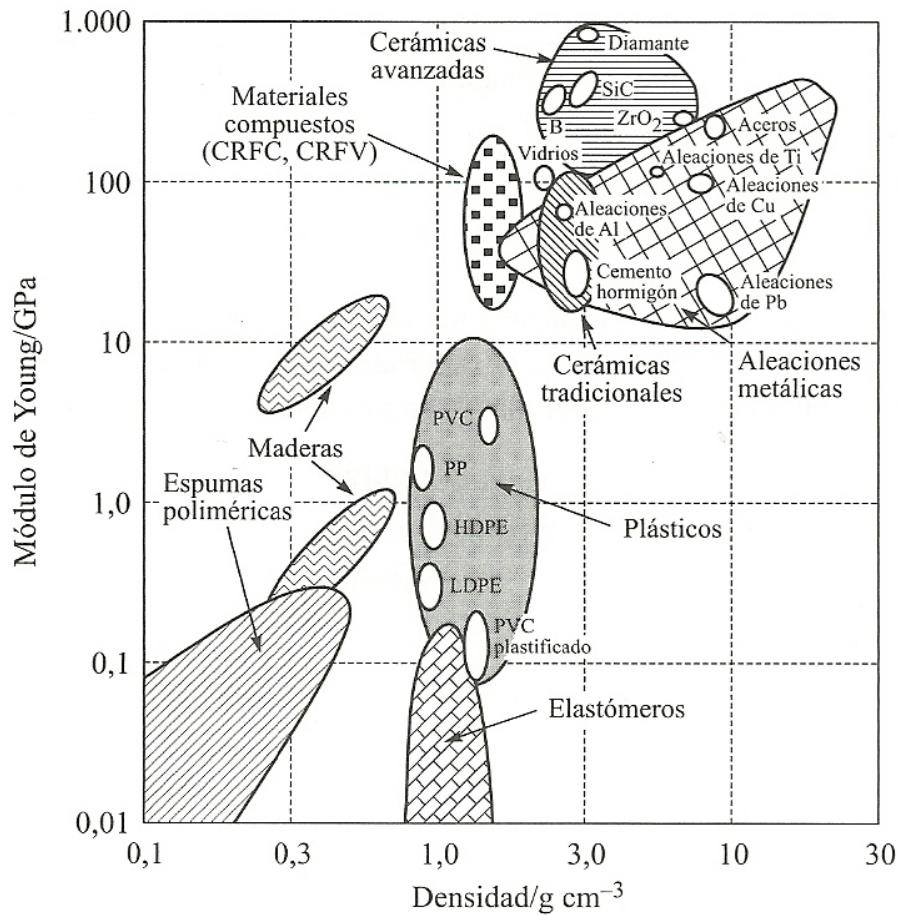


Figura 9.5. Mapa módulo de Young versus densidad.

Cada clase de materiales (LPDE, aceros, aleaciones de aluminio) ocupa una región en el diagrama.

Esto se debe a que estos materiales se clasifican como "familias" de materiales.

Por ejemplo:

- Existen LPDE (Low Density Polyethylene) con diferentes propiedades,
- Las propiedades de los aceros al carbono son función de su contenido de carbono, de los elementos aleantes y de los tratamientos térmicos

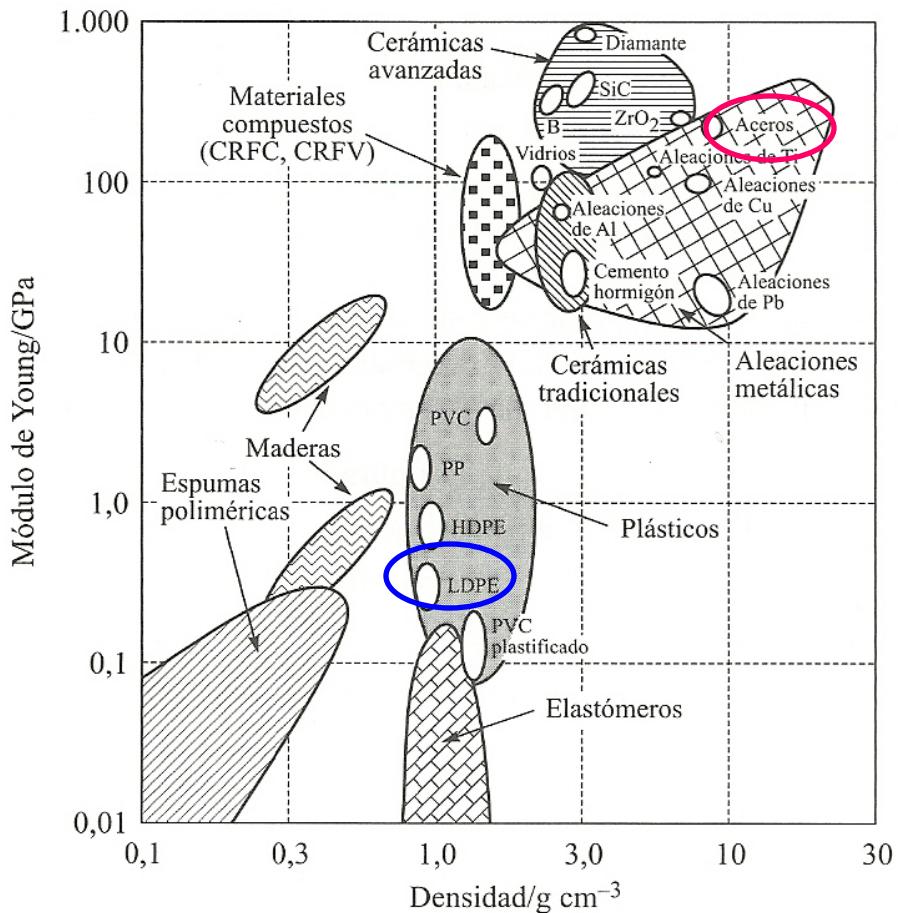


Figura 9.5. Mapa módulo de Young versus densidad.

En cuanto a los valores numéricos, los materiales compuestos reforzados con fibras de vidrio (CRFV) y con fibras de carbono (CRFC) tienen módulos de Young del mismo orden que muchas aleaciones metálicas.

Las cerámicas son los materiales más rígidos.

Las espumas poliméricas son los materiales de menor rigidez.

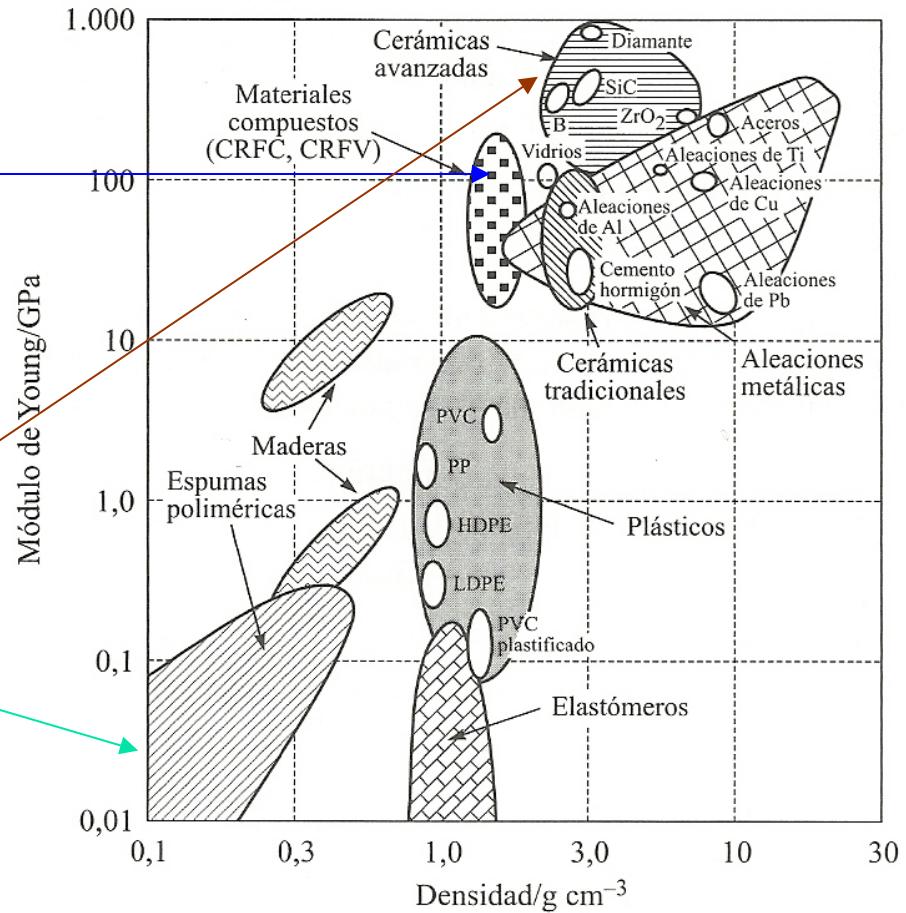


Figura 9.5. Mapa módulo de Young versus densidad.

Las maderas presentan dos elipses, cada una de ellas asociada a la dirección en la cual se realiza el ensayo mecánico en relación con la dirección de su fibra.

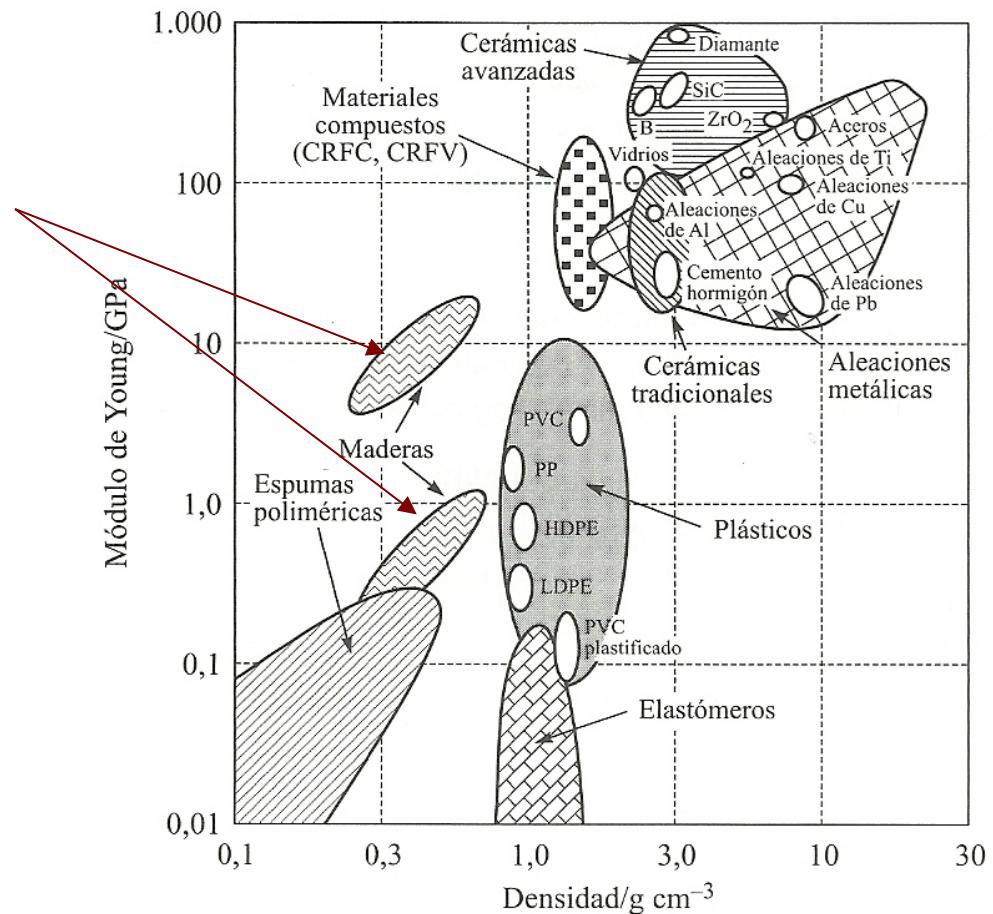


Figura 9.5. Mapa módulo de Young versus densidad.

En general las regiones que ocupa cada tipo de material son elipses con su eje mayor en la dirección del módulo de Young, lo que indica que **dentro de una familia de materiales, esta propiedad puede ser variada en mayor grado que la densidad (eje menor de la elipse), la cual es menos modificable.**

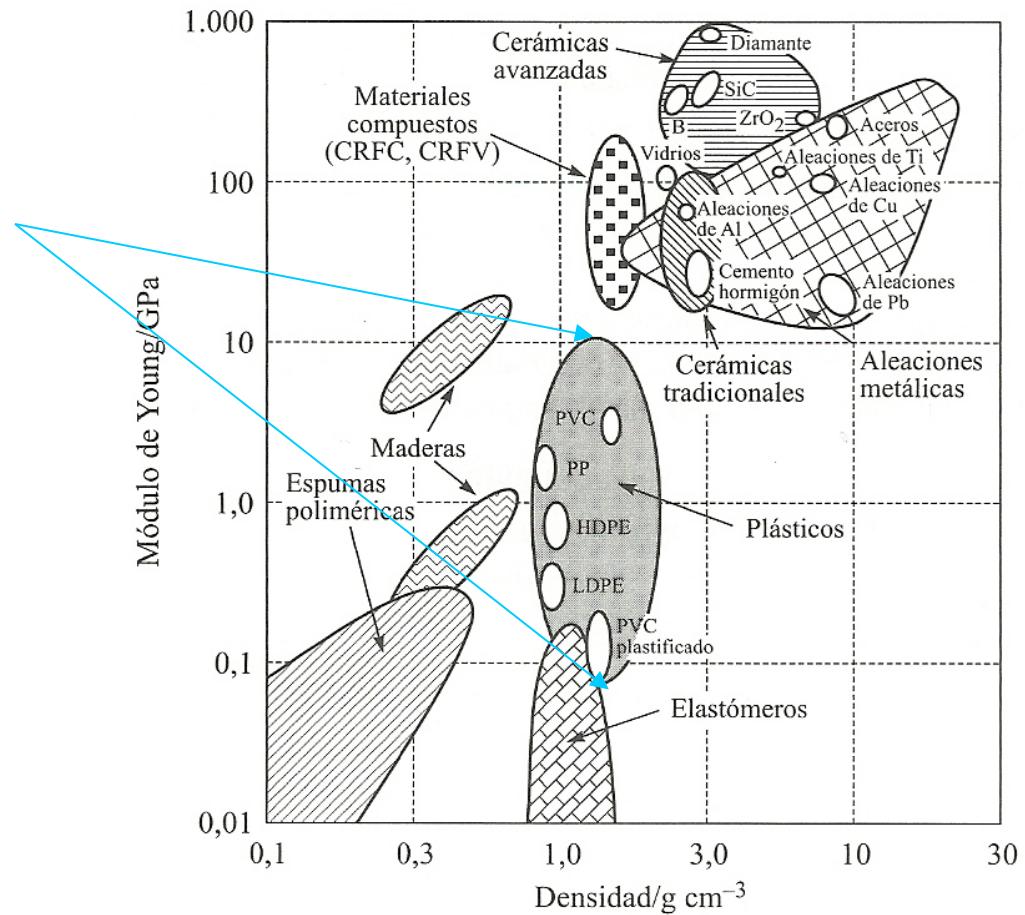
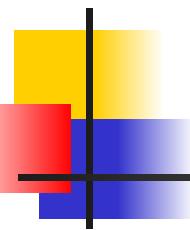


Figura 9.5. Mapa módulo de Young versus densidad.



- Si se escogen los ejes y las escalas de la figura de manera adecuada, se puede utilizar el diagrama para obtener información adicional.

Ejemplo:

La rigidez específica (R) de un material se define como el cociente entre el módulo de Young (E) y su densidad (ρ):

$$R = \frac{E}{\rho} \quad \Rightarrow E = \rho R$$

Tomando logaritmos:

$$\log E = \log \rho + \log R$$

fijado un valor para la rigidez específica $R = R_1$ ó $R = R_2$, esta ecuación representa en el mapa una línea recta de pendiente 1 y ordenada al origen $\log R_1$ o $\log R_2$.

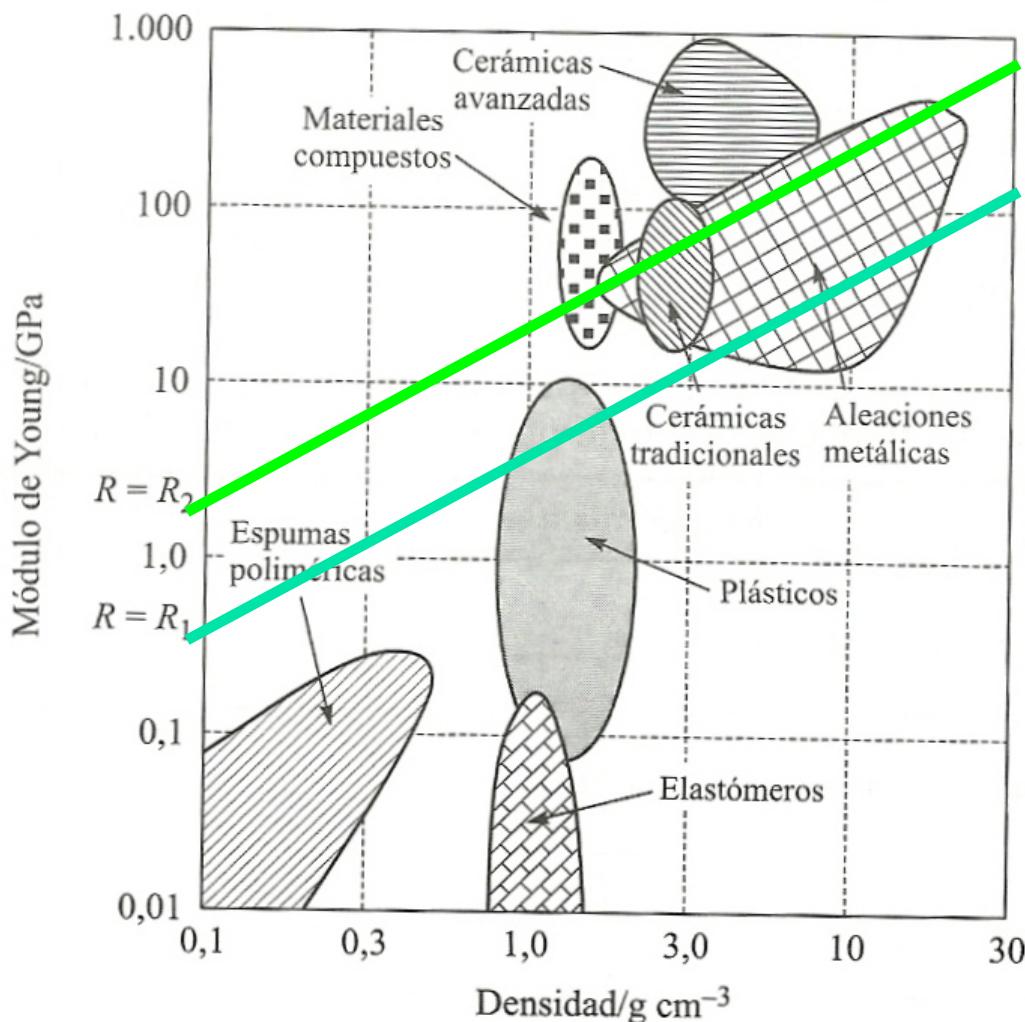


Figura 9.4. Mapa simplificado E versus densidad.

El módulo de Young se expande cinco décadas. Desde 0,01 GPa para espumas de baja densidad hasta 1.000 GPa para el diamante.

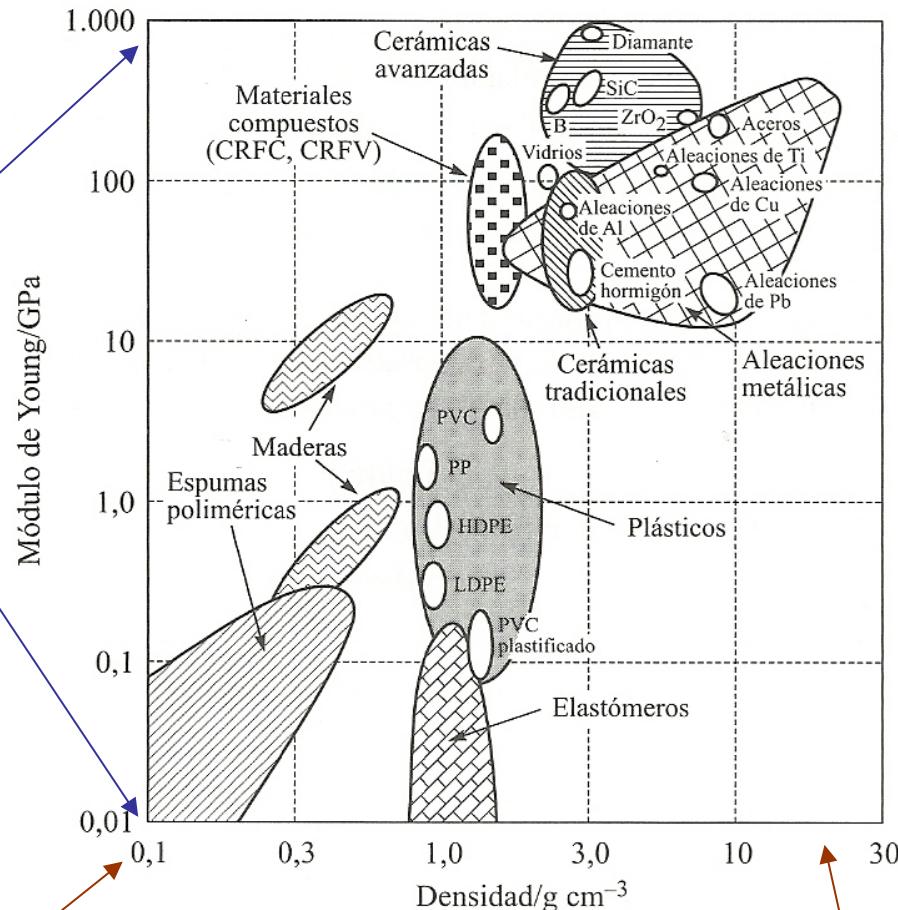
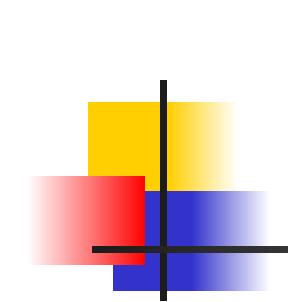


Figura 9.5. Mapa módulo de Young versus densidad.

La densidad se distribuye entre un factor aproxim. 200, desde $0,1 \text{ g.cm}^{-3}$ hasta 20 g.cm^{-3} .



Elección del material a partir del índice de material y de los mapas de selección de materiales

Una vez que los requerimientos de la aplicación son conocidos y se han determinado el índice o los índices de los materiales (M), se ha de recurrir a los mapas de selección de materiales para **elegir el más conveniente para la aplicación bajo estudio.**

Ejemplo:

Situación real en la que el índice de material **M = 3.**

En el mapa se pueden representar los índices:

$$E/\rho, E^{1/2}/\rho, E^{1/3}/\rho$$

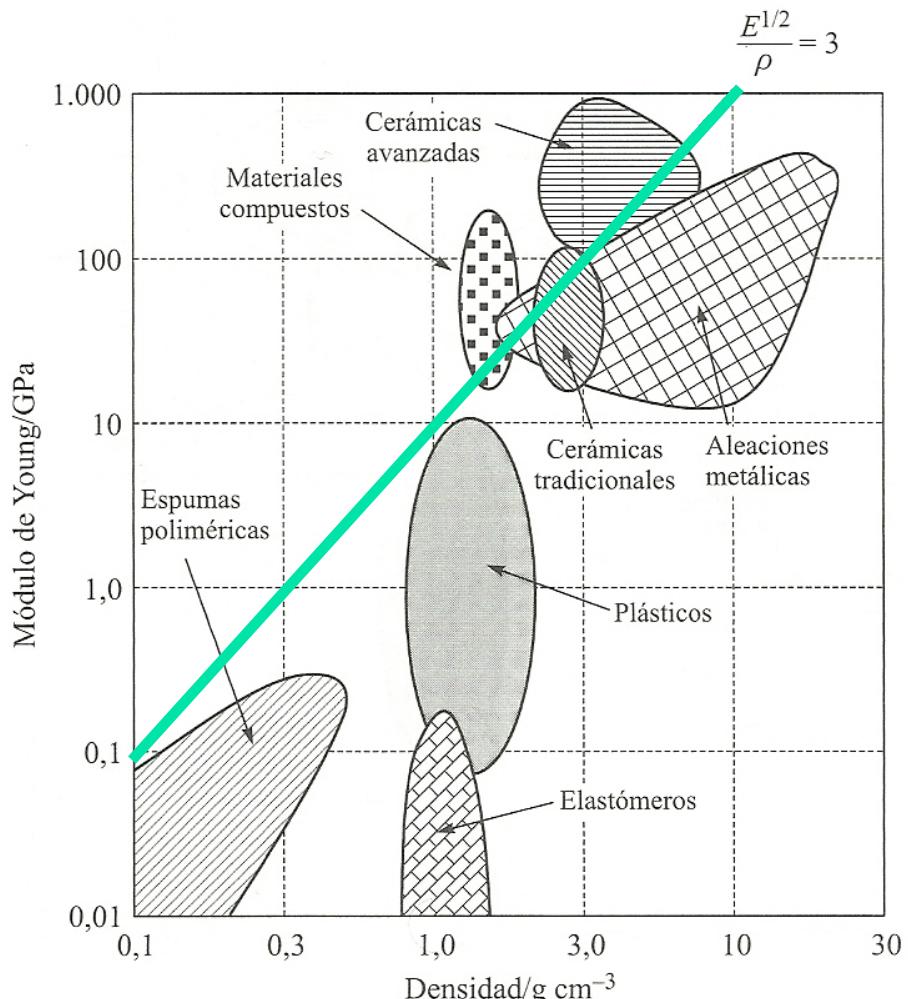
Entonces, la condición $E^{1/2}/\rho = M$ se puede expresar en forma logarítmica:

$$E^{1/2} = M\rho \quad , \quad E = M^2 \rho^2$$

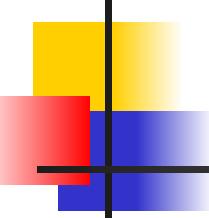
$$\log E = 2 \log \rho + 2 \log M$$

Que en una representación $\log E$ versus $\log \rho$ da lugar a una **línea recta de pendiente 2**.

Los puntos de intersección de la línea con los distintos tipos de materiales agrupan a los que se comportan de la misma forma (**mismo valor de M**) para la aplicación considerada.

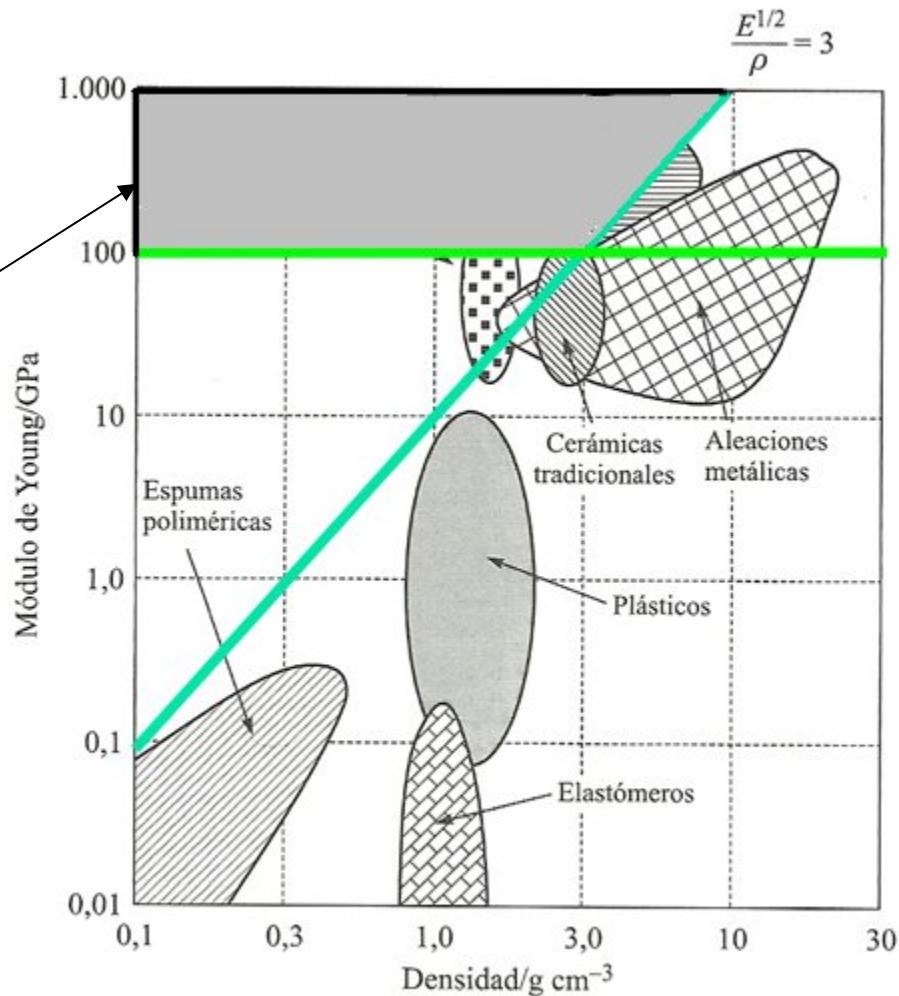


Mapa de selección E versus ρ en el que se ha representado la línea que corresponde al índice de material $E^{1/2}/\rho = 3$.



En la figura se han dibujados dos líneas, una corresponde a $E^{1/2}/\rho$, para el que se tomó $M = 3$ y una segunda línea en la que $E = 100 \text{ GPa}$.

Los materiales que se encuentran en la zona del diagrama y que cumplen con las condiciones especificadas (por ejemplo si se especifica $E^{1/2}/\rho > 3$ y $E > 100 \text{ GPa}$ sería la zona superior izquierda marcada en gris).



Mapa de expansión térmica vs. conductividad térmica

Los polímeros presentan expansiones térmicas aproximadamente 10 veces mayores que las de los metales y 100 veces superiores a las de las cerámicas.

Los materiales compuestos, aunque en muchos casos se fabriquen a partir de matrices poliméricas, pueden tener valores bajos de la expansión térmica debido al pequeño coeficiente de dilatación del refuerzo.

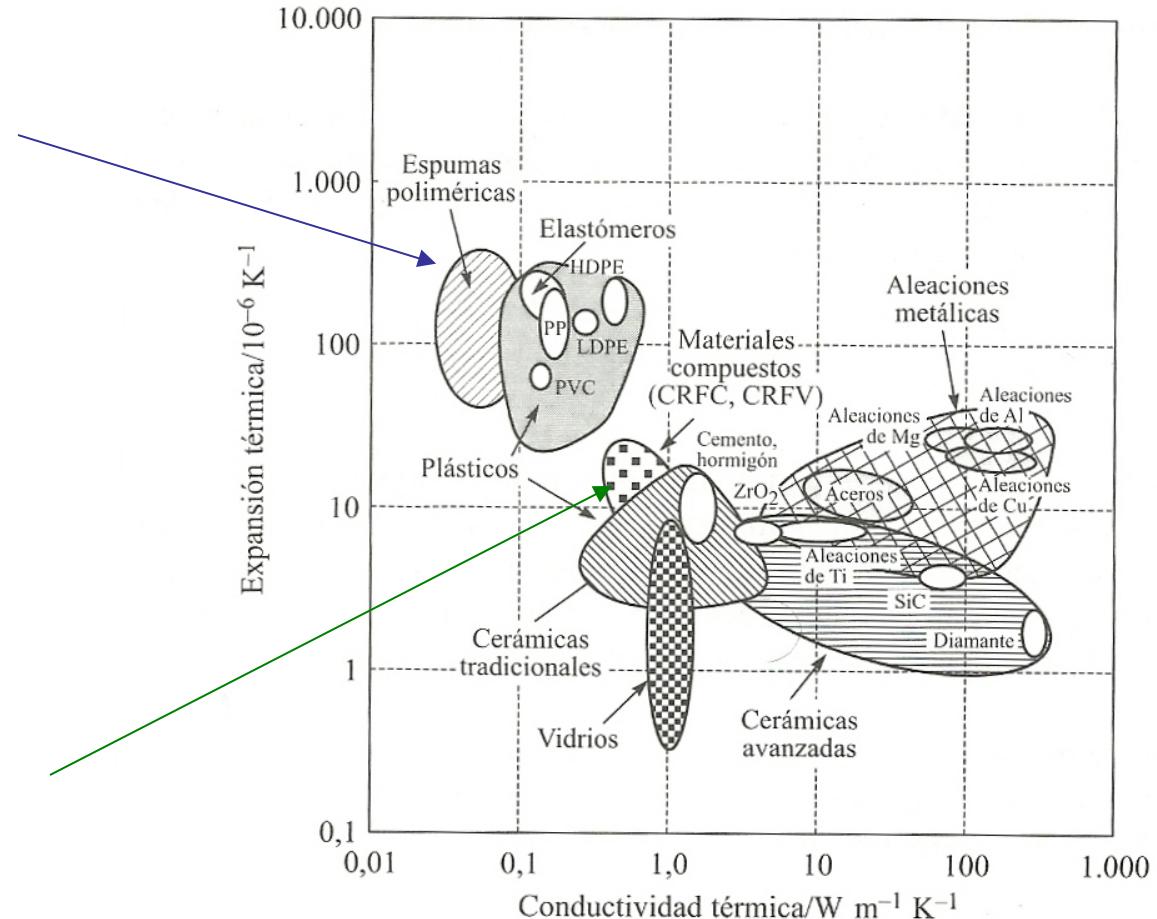


Figura 9.6. Mapa del módulo conductividad térmica versus la expansión térmica.

Mapa de Resistencia vs. densidad

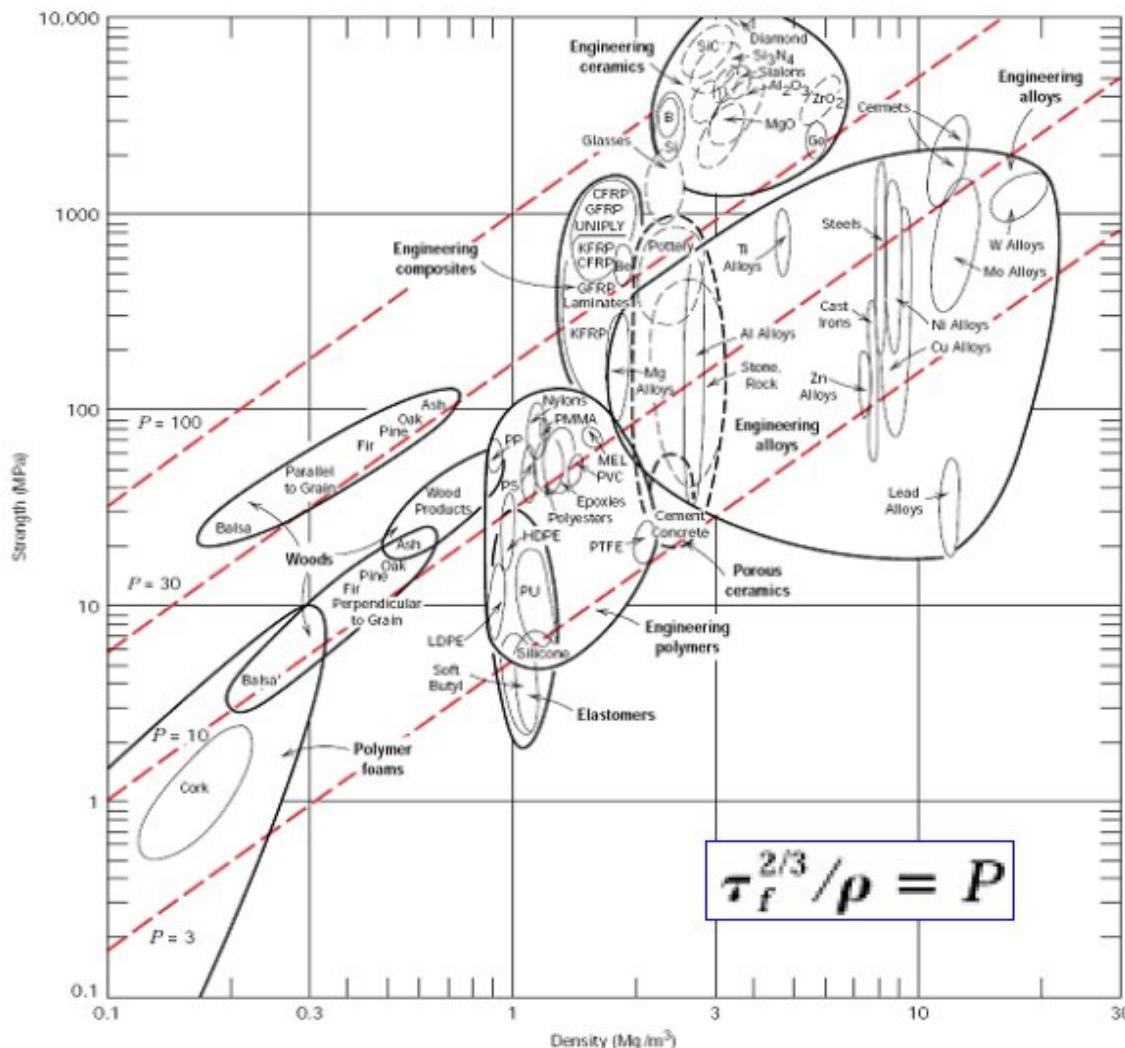
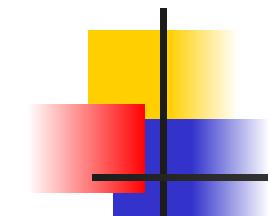


Figura 168 Gráfico de selección de materiales Resistencia vs. Densidad. Las líneas de diseño para índices de 3, 10, 30 y 100 $(\text{MPa})^{2/3}\text{m}^3/\text{Mg}$ han sido construidas



Ej- Materiales estructurales para edificaciones

Deben ser rígidos, resistentes y baratos.

Es necesario asegurar una rigidez mínima para evitar que el edificio se deforme por la acción del viento o de cargas internas y una resistencia óptima necesaria para minimizar los riesgos de colapso.

El precio de los materiales debe ser el menor posible.

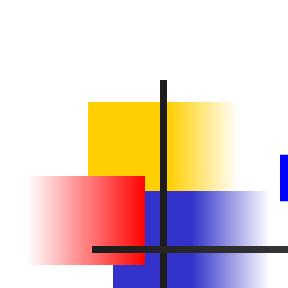
Como estos materiales no suelen ser sometidos a condiciones externas agresivas, los criterios referentes a su resistencia a la corrosión o los aspectos decorativos no son relevantes.

Tabla Requerimientos científico-tecnológicos y económicos para materiales estructurales para edificaciones.

Material estructural que debe soportar cargas de flexión.

Se debe minimizar el coste.

La rigidez y resistencia deben ser adecuadas a cada caso particular.



Ej. - Materiales ligeros y rígidos

El sector del transporte (automoción, aeronáutica, gran transporte, sector náutico, etc.) tiene entre sus objetivos tender a utilizar materiales ligeros que permitan reducir el peso de los vehículos.

Normalmente estos materiales están sometidos a cargas estáticas de flexión y es fundamental que el material bajo estudio tenga una rigidez mayor que un cierto valor crítico.

También, en ciertos casos se debe tener en cuenta otras características del material, como son su tenacidad y su precio (requerimiento económico).

Tabla 9.5. Requerimientos científico-tecnológicos y económicos para aplicaciones del sector del transporte. Materiales rígidos y ligeros.

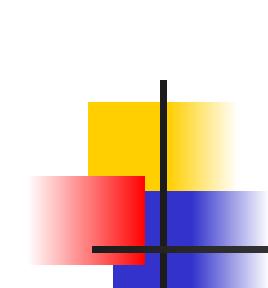
Material rígido cargado en flexión de longitud l especificada.

El material debe tener una rigidez superior a un valor definido.

Se debe minimizar la masa.

El coste debe ser lo menor posible ($C < 10 \text{ € kg}^{-1}$).

La tenacidad debe superar un valor límite ($G > 30 \text{ kJ m}^{-2}$).



Métodos de selección de materiales

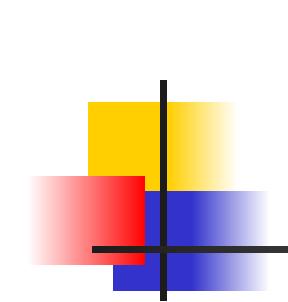
■ **Método con la ayuda de bases de datos**

En la Internet existe una amplia gama de bases de datos sobre materiales, que han sido construidas para comercialización libre o son distribuidas por vendedores de materiales. Estas bases de datos son el resultado de investigaciones en ensayos de materiales.

La selección de materiales con ayuda de estas bases de datos, parte del conocimiento de las principales propiedades se que deben tener en cuenta para un fin específico.

El programa pide el valor aproximado de las propiedades que debe tener el componente y lista uno o varios materiales que pueden servir.

Son varias las fuentes donde se compilan bases de datos. Dentro de las más importantes bases de datos están el banco de datos de la ASTM, la SAE, la ASM, la AISI, la NASA, etc. Una base de datos pública que ha adquirido gran importancia por la cantidad de datos y variedad de materiales que maneja, puede ser consultada en la página web: www.matweb.com.

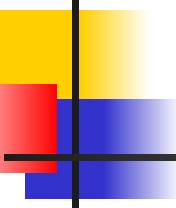


Materiales óptimos

- Son los que proveen la más baja relación costo a vida útil sobre una base de tasas de impuestos y procedimientos contables y cuando incorporan ciertos aspectos de seguridad, consideraciones ambientales y confiabilidad.
- El resultado final deseado incluye una operación rentable con un mínimo de paradas imprevistas y mantenimiento o reemplazos ordenadamente programados.

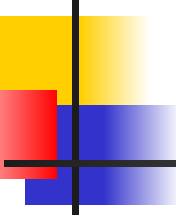


**Selección de un material
adecuado para el medio
particular de corrosión que
se esté considerando**



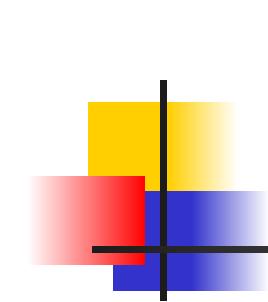
Al seleccionar un material para unas condiciones de servicio determinadas, se deben tener en cuenta los siguientes factores:

- Propiedades (corrosión, mecánicas, físicas y apariencia)**
- Fabricación (facilidad de conformación, soldadura, maquinación, etc.)**
- Compatibilidad con equipos existentes**
- Facilidad de mantenimiento**
- Disponibilidad de datos de diseño**
- Vida esperada total de la planta o del proceso**
- Vida estimada de servicio del material**
- Confiabilidad (consecuencias de seguridad y económicas de falla)**
- Necesidad de ensayos futuros**
- Costos del material, de fabricación, de mantenimiento, de inspección**
- Análisis de inversión y tasa de retorno**



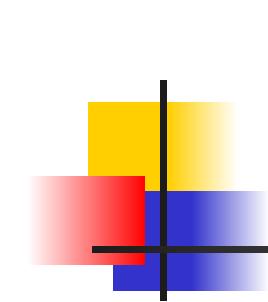
Una selección efectiva sobre la base del costo cae generalmente entre dos extremos, sobre una base económica sin considerar otros factores. Estos son:

- ✓ **Mínimo costo:** selección del material menos costoso, seguido por un programa de reemplazos periódicos o solución de los problemas a medida que se presentan.
- ✓ **Mínima corrosión:** selección del material más resistente a la corrosión sin considerar el costo instalado o la vida del equipo.



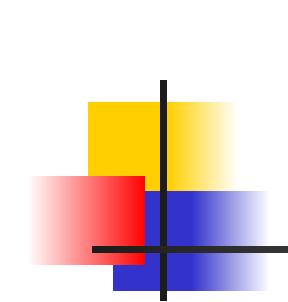
Para estimar el comportamiento a la corrosión se requiere disponer de las siguientes informaciones respecto al medio corrosivo:

- 1) Constituyentes principales (identidad y cantidad)
- 2) Impurezas (identidad y cantidad)
- 3) Temperatura
- 4) pH
- 5) Grado de aireación
- 6) Velocidad de agitación
- 7) Presión
- 8) Intervalo estimado de cada variable, entre otros.



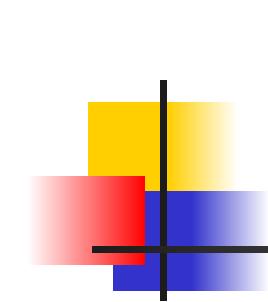
En la selección de aleaciones hay varias "combinaciones naturales", metal - ambiente corrosivo, las cuales representan por lo general la máxima resistencia a la corrosión al menor costo. Algunas de ellas son:

- Acero inoxidable-Ácido Nítrico
- Níquel y aleaciones de níquel-sodas caústicas
- Monel (Ni-Cu 2/1)-Ácido fluorhídrico
- Plomo-ácido sulfúrico diluido
- Aluminio-exposición atmosférica
- Estaño-agua destilada
- Titanio-soluciones oxidantes fuertes
- Tantalo-resistencia última
- Acero-ácido sulfúrico concentrado



Como reglas generales:

- Para ambientes reductores o no oxidantes, tales como ácidos libres de aire y soluciones acuosas, se utilizan níquel, cobre y sus aleaciones.
- Para condiciones oxidantes, se utilizan aleaciones que contienen cromo.
- Para condiciones oxidantes muy potentes, se usan titanio y sus aleaciones.



Por otra parte se deben establecer criterios de tolerancia a la corrosión:

- Un mínimo de 3 mm de tolerancia a la corrosión debería ser admitido para el acero al carbono y aceros de baja aleación para recipientes, intercambiadores de calor y tanques de almacenaje (a menos que el servicio sea considerado no corrosivo).
- Para el acero de alta aleación se podría usar una tolerancia a la corrosión cercana a los 1,5 mm.

Tolerancias por corrosión para tuberías de acero [3]

Clasificación	Tolerancia por corrosión	Ejemplos
No corrosivo	0" (0 mm)	Aire, nitrógeno, hidrocarburos anhidros
Medianamente corrosivo	1/16" (1.5 mm)	Tratamiento de agua de enfriamiento, vapor, hidrocarburos húmedos
Moderado	1/8" (3 mm)	Gases agresivos húmedos, agua de servicio, lean aminas, álcalis
Severo	1/4" (6.4 mm)	Agua aerada, ricas en aminas, CO ₂ húmedo a temperatura ambiente, sulfuros o sulfitos calientes (>500 °F), sales húmedas, corrosivo deadlegs, vapor caliente (> 1000 °F)



Control periódico: los recipientes deberán contar con aberturas de inspección.

Los diámetros de recipientes mayores de 36" siempre deberán contar con boca de hombre con diámetro mayor ó igual a 16" (lo aconsejable es utilizar 18 ó 20").

Cuando exista seguridad de que el fluido no es corrosivo, la boca de hombre podrá ser obviada.

Algunas consideraciones de diseño para controlar la corrosión

Preguntas claves

Construcción de la planta

- ¿Es adecuada la dirección del viento predominante?
- ¿Está definido el método a usar para enfriar el agua (recirculación abierta, uso de agua salada, uso intercambiadores doble tubo, empleo de lagunas, uso de aerorefrigerantes)?
- ¿Está la torre de enfriamiento acorde a la dirección del viento?
- ¿Será de infraestructura cerrada (tubos o pilares, etc.)?
- ¿Cómo será el diseño exterior?
- ¿Está protegido el fondo de los tanques (catódicamente, está cerrado, dependen del tipo de tanque)?
- ¿Los contactos metal con metal están protegidos?
- ¿El diseño de los equipos es apropiado para aplicarle revestimiento?
- ¿Frente a la prueba de corrosión cuanto se corroerá el acero o cual será el nivel de cloruros permitidos para el acero inoxidable?
- ¿Es necesario una verificación del sistema de material?
- ¿Estará todo el acero limpio y preparado antes de la erección de la infraestructura?
- ¿Se requiere de preservativos temporales para algún caso en particular?
- ¿Podría ser instalada la protección catódica ahora?
- ¿El equipo eléctrico está apropiadamente aislado para prevenir fugas de corrientes?

Preguntas claves

Diseño de equipos

- ¿Se necesita recocido para homogenizar?
 - ¿Se requiere un alivio de tensiones? (¿se anticipa el SCC?)
 - ¿Es compatible el material de la soldadura depositada con el metal unido en severidad mecánica y química?
 - ¿Cuál es la tolerancia a la corrosión añadida al espesor del metal?
 - ¿Posibilidad de fragilización por metal líquido (por ejemplo cinc sobre acero inoxidable)?
 - ¿Necesidad de utilizar desecadores?
- ### Temperatura
- ¿El área de evaporación, vaporización o ebullición causa problema?
 - ¿Como están los sitios calientes en el punto de inyección de vapor?
 - ¿Cómo están los sitios caliente en la zona de ignición de la flama?
 - ¿Cómo están los sitios fríos en el exterior del metal?
 - ¿Los sitios fríos de la zona de condensación es un problema? (si es así, mantener + 10 °C por encima del punto de rocío).
 - ¿Hay puntos de críticos de ruptura (por ejemplo, ácido orgánico sobre acero inoxidable)?
 - ¿Las zonas de deshielo del congelador están adecuadamente protegidas?

Preguntas claves

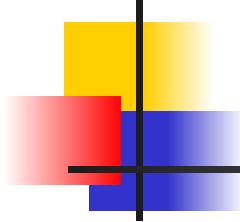
- ¿Se han analizado los problemas con las bombas?
- ¿Se podría sobredimensionar las entradas de la corriente a los dispositivos que generan problema?

Problemas bimetálicos

- ¿Los acoplos galvánicos están en un electrolito areado?
- ¿Existe una tubería hecha de Fe o Cu, y aguas abajo de aluminio o acero?
- ¿Existen problemas de expansión diferencial?

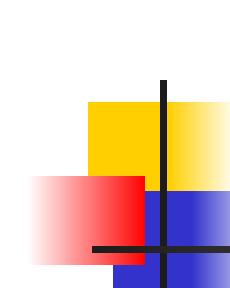
Control ambiental

- ¿Son considerados las neutralizaciones, deshidrataciones o desaeración de las corrientes?
- ¿Se han registrado con los operarios parámetros de operación para reducir la corrosión?
- ¿Son evaluados adecuadamente los sistemas con dos fases líquidas?
- ¿Han sido evaluadas las interfaces vapor-líquido?
- ¿Existen sólidos en cualquier corriente de gas o líquido?
- ¿Hay suficientes alarmas con respecto al progreso del agente corrosivo (los ppm pueden ser desastrosos)?
- ¿Estará presente el hidrógeno atómico? Cuál efecto?
- ¿Podría crearse una situación corrosiva por la presencia de bacterias?



Preguntas claves	Preguntas claves	Preguntas claves
<p><u>Diseño de equipos</u></p> <p>¿No existen espacios "muertos" en líneas, tanques y recipientes?</p> <p>¿Es posible pueden limpiar y cerrar todas las rendijas?</p> <p>¿Las entradas y salidas están apropiadamente contorneadas). Si no, están apropiadamente protegidas?</p> <p>¿Los soportes amortiguadores de los equipos mecánicos están adecuadamente conformados?</p> <p>¿Existen otros sitios potenciales de fatiga?</p> <p>Si es necesario, ¿el equipo puede ser limpiado adecuadamente?</p> <p>¿La corrosión intergranular podrá ser un problema?</p>	<p><u>Velocidad</u></p> <p>¿Está excedido el caudal por la linea?</p> <p>¿Existe flujo turbulento (por exceso de velocidad, por diseño, tales como boquillas de descarga final)?</p> <p>¿Es el flujo insuficiente (metales pasivos necesitan oxígeno; ¿se crean vacíos de vapor?)?</p> <p>¿Son adecuados los radios de curvatura del ducto?</p> <p>¿Existe corriente mixta tangencial o en un tanque?</p> <p><u>Choque y cavitación</u></p> <p>¿Existen restricciones en las condiciones de la linea?</p> <p>¿Son adecuados los radios de curvatura de las tuberías?</p> <p>¿Varían los diámetros en una linea?</p>	<p><u>Pruebas</u></p> <p>¿Está definido las pruebas iniciales de los materiales requeridos?</p> <p>¿Existen boquillas adicionales en los equipos para la inserción de instrumentos de prueba y toma muestra?</p> <p>¿Existe resistencia eléctrica de prueba?</p> <p>Existen manuales para los instrumentos de polarización lineal?</p> <p>¿Se pueden colocar corrientes laterales para pruebas en áreas críticas?</p> <p>¿Está planeado definitivamente un programa de prueba de la corrosión?</p> <p>Existen análisis de referencia de ultrasonido hechos en equipos críticos?</p>

* Disponible en *Materiales. Estructura, Propiedades y Aplicaciones*, J.A. de Saja Sáez. M. A. Rodríguez Pérez, M.L. Rodríguez Méndez, Thomson, 2005. [3]



Bibliografía

- 1) Programa de la Asignatura Ciencia de los Materiales de la Ingeniería Química. 2010.
- 2) Introducción a la Ciencia de Materiales para Ingenieros, J. F. Shackelford, Pearson 6º Edición, 2005.
- 3) Materiales. Estructura, Propiedades y Aplicaciones, J.A. de Saja Sáez. M. A. Rodríguez Pérez, M.L. Rodríguez Méndez, Thomson, 2005.
- 4) Ciencia de los Materiales, W. González Viñas, H. L. Mancini, Ed. Ariel, 2003.
- 5) Materiales para Ingeniería, Van Vlack, CECSA, 1984.
- 6) Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Callister, Reverté, 1995.
- 7) Degradación de Materiales – Corrosión, J. R. Galvele, G. S. Duffó, Ed. J. Baudino, 2007.
- 8) Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Askeland – Phulé, 4º edic., Thomsom, 2004.
- 9) Aceros Especiales, Apraiz Barreiro, Dossat. 1999.
- 10) Ciencia de los Polímeros, Fred W. Billmeyer, Ed. Reverté, 1975.
- 11) Materiales y Procesos de Fabricación, E. P. DeGarmo, J. Temple Black, R. A. Kohser, Ed. Reverté, 1988.
- 12) Manufactura. Ingeniería y Tecnología, S. Kalpakjian, S. R. Schmid, Ed. Pearson Educación, 2002.
- 13) Manual de Recipientes a Presión, Diseño y Cálculo, e.S. Megyesy, Ed. Limasa, 1997.
- 14) Ciencia de los Materiales, J.M. Laceras, J.F. Carrasquilla, Ed. Donostiarra, 1997.
- 15) Tecnología de los Materiales, C.F. Jiménez, V. Amigó Borrás, Ed. Alfaomega, Universidad Politécnica de Valencia, 2005.