



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN**

**“CRITERIOS UTILIZADOS EN LA SELECCION
DE MATERIALES DE LA INDUSTRIA
QUIMICA”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

I N G E N I E R O Q U I M I C O

PRESENTA:

JUAN LUIS MALDONADO OBRAJERO

ASESOR: IQ. ARIEL BAUTISTA SALGADO



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

GRACIAS A MIS PADRES

Gilberto y Beatriz

Que con mucho cariño y amor

Me respaldan en una constante lucha de superación.

GRACIAS A MIS HERMANOS

Gilberto-Azucena,

Beatriz-Carlos,

Silvia-Alfredo,

Elsa-David,

Quienes han mantenido los lazos familiares y un apoyo.

GRACIAS A MIS TIOS

A Martín, Raúl, J. Juan, Hector, Martín H.

Por las consejos y su cariño.

GRACIAS A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS DE GENERACIÓN

Luis A., Joaquín, Miguel, Ulises, J. Juárez, Daniel, Áraeel, Fidel, Joel e Ivan

Por sus consejos, regaños y el aporte hacia los conocimientos de su servidor.

GRACIAS A MIS AMIGOS

Jesús, Edoardo, Luis, Jorge, Fernando, Edgar, Caro, E. Vanesa.

Por el apoyo incondicional otorgado en todos los momentos.

GRACIAS A DIOS

Por la libertad de interactuar con esta gente tan especial...

Índice

OBJETIVOS Y ALCANCES	i
INTRODUCCIÓN	ii
1. LOS MATERIALES.....	1
1.1. Clasificación de materiales	2
1.2. Enlace químico	5
1.2.1. Materiales y su clasificación por enlaces	9
1.3. Metales, tipos y características principales por tipo	10
1.3.1. Metales ferrosos.....	11
1.3.1.1. Aceros.....	12
1.3.1.2. Fundiciones	14
1.3.2. Metales no ferrosos	15
1.3.2.1. Clasificación de los metales no ferrosos.....	15
1.3.2.2. Propiedades y aplicaciones los metales no ferrosos	16
1.3.3. Aleaciones especiales.....	28
1.3.4. Tratamientos térmicos de metales	29
1.4. Polímeros, tipos y características principales por tipo.....	43
1.4.1.1. Termoplásticos.....	48
1.4.1.2. Termoestables	51
1.4.1.3. Elastómeros	53
1.5. Materiales cerámicos	56
1.5.1. Las estructuras de los materiales cerámicos	58
1.5.2. Imperfecciones en las estructuras cerámicas.....	58
1.5.3. Fallas mecánicas en los materiales cerámicos	60
1.5.4. Procesamiento y aplicaciones de productos de arcilla	63
1.5.5. Procesamiento y aplicaciones de cerámicos avanzados	64
1.5.6. Materiales refractarios.....	66
1.5.7. Otros materiales cerámicos y sus aplicaciones	66
1.5.8. Vidrios	68
1.6. Materiales compuestos.....	73
1.6.1. Compuestos reforzados por partículas.....	74
1.6.2. Compuestos reforzados por dispersión.....	75
1.6.3. Compuestos reforzados por fibras	76
1.6.4. Compuestos estructurales.....	78
1.7. Efectos generales de los procesamientos sobre las propiedades de los materiales	81
2. MATERIALES PARA LA INDUSTRIA QUÍMICA	83
2.1. Ejemplos de procesos químicos	85
2.2. Materiales resistentes en condiciones severas de presión y temperatura.	88
2.3. Materiales resistentes a la agresión química.	91
2.3.1. El ataque debido a la corrosión.....	93
2.3.2. Factores que influyen en la corrosión	95
2.4. Otros factores que influyen en la degradación del material.....	99
3. FUNDAMENTOS DE LA SELECCIÓN DE MATERIALES	101
3.1. Etapa de diseño y la relación de la selección de material	101

3.2. El problema de la selección de materiales.....	103
3.2.1. Función del material.....	105
3.2.2. Objetivos de la selección del material	105
3.2.3. Restricciones en la selección del material	105
4. CRITERIOS PARA UNA ADECUADA SELECCIÓN DE MATERIALES	108
4.1. ¿Qué busca el diseñador?	108
4.2. Selección del material en base a sus propiedades.....	108
4.2.1. Físicas.....	109
4.2.2. Mecánicas.....	110
4.2.3. Químicas y superficiales	113
4.2.4. Propiedades térmicas de los materiales.....	114
4.2.5. Propiedades de manufactura y tecnológicas	117
4.3. Normas y especificaciones de los materiales.....	124
4.3.1. Normas de la industria.....	125
4.3.2. Las normas ISO 14 000 regulaciones ambientales	126
4.3.3. Pliego de condiciones creadas por el diseñador del proceso.....	128
4.4. Otros factores que intervienen en la selección de materiales	129
5. HERRAMIENTAS PARA SELECCIONAR LOS MATERIALES	131
5.1. Fuentes de información y especificaciones	131
5.2. Procedimiento para deducir el índice de desempeño (performance)	132
5.3. Organización de los datos de materiales.....	133
5.4. Rendimiento y eficiencia de materiales	134
5.5. Índices de materiales.....	137
5.6. Diagramas de materiales	137
5.7. Costo de materiales	143
5.8. Diseño de componentes y la selección de materiales	145
6. PRINCIPALES FALLAS DE MATERIALES	148
6.1. Deficiencia en el diseño.....	148
6.2. Deficiencia en la selección de materiales.....	149
6.3. Imperfecciones del material	149
6.4. Deficiencias en la fabricación y tratamiento	149
6.5. Errores de montaje	150
6.6. Condiciones de servicio inadecuadas.....	150
7. RECOMENDACIONES PARA SELECCIONAR LOS MATERIALES.....	151
7.1. El proceso de la selección de materiales.....	151
7.2. Selección de materiales para cada aplicación.....	152
7.3. Tendencias en el uso de materiales.....	152
BIBLIOGRAFÍA.....	154
ANEXOS.....	156

OBJETIVOS Y ALCANCES

- Conocer a los materiales y sus principales características.
- Se pretende dar a conocer al lector los principios básicos para evaluar los parámetros requeridos en el diseño de equipo de la industria química que se toman en cuenta durante selección de materiales.
- Dar las bases para conocer el proceso de la selección de materiales utilizados en la industria química y los criterios generales usados para llevar a cabo dicha selección.

INTRODUCCIÓN

La Ingeniería Química trata de procesos industriales en los que las materias primas se transforman en productos útiles. Los procesos químicos industriales se han de proyectar para obtener económicamente un determinado producto, a partir de diferentes materias primas, que se someten a etapas diferentes de tratamiento. El ingeniero químico tiene que desarrollar, diseñar y poner en marcha el proceso.

El cálculo de un proceso químico lleva consigo tres tipos de problemas que, aunque relacionados entre sí, dependen de principios técnicos completamente diferentes.

- **El primer tipo** de problemas es la determinación de las características específicas de las instalaciones necesarias para cumplir su función.
- **El segundo tipo** se encuentra en la preparación de los balances de materia y energía del proceso, y en el establecimiento de las misiones que han de cumplir las diferentes partes de la instalación.
- **El tercer tipo** de problemas incluye los de la selección de aparatos y materiales, y la integración de los diferentes medios dentro de un plan coordinado.

Estos tres tipos de problemas pueden designarse como problemas de proceso, operaciones básicas y problemas de cálculo de planta, respectivamente. Los problemas de proceso son en su mayoría químicos, las operaciones básicas son principalmente de tipo físico y los problemas de cálculo de planta son en gran parte mecánicos.

Los procesos son muy variados ya que se llevan a cabo en condiciones de trabajo distintas, de los cuales se pueden mencionar algunas variables como temperatura, presión, concentración, etc. Otros aspectos a tomar en cuenta son el contacto con las sustancias químicas que intervienen en el proceso que son reactivos, productos y contaminantes, además de la exposición con el medio ambiente.

Para la construcción de los equipos de proceso se tienen diferentes materiales. Los ingenieros de diseño utilizan los materiales existentes, los modifican y utilizan nuevos para diseñar y fabricar los equipos del proceso. Este trabajo se enfoca a la selección de materiales. Y de una manera más puntual a los “Criterios Utilizados en la Selección de Materiales de la Industria Química”.

Los materiales utilizados en la construcción de los equipos de proceso en la industria química están impuestos por los reactivos y productos químicos presentes, por las características de servicio establecidas por sustancias y condiciones (presión y temperatura),

de las variables antes mencionadas; se debe de tomar en cuenta si se encuentra a la intemperie y también por la mezcla de las variables con los productos químicos ya que las actividades de los materiales químicos cambian con las variables del proceso.

Para tener una idea de cuáles son los materiales que se pueden utilizar en la industria química, en el capítulo 1 se tratan los materiales de acuerdo a su clasificación, propiedades principales y sus usos.

Debido a la variedad de circunstancias en las que se llevan a cabo los diferentes procesos en la industria química, en el capítulo 2 se da un panorama de las características de servicio que deben cumplir los materiales que conforman los equipos de proceso.

Después de conocer las principales exigencias para los materiales utilizados en los procesos, se dan las bases para el estudio general en la selección de un material para un proceso dado; esto se refiere a la determinación de las propiedades críticas que debe reunir el material según las características del servicio que desempeña. En el capítulo 3 se explican fundamentos de la selección de materiales de acuerdo con un estudio de las características del servicio que desempeña el material en el proceso, si es en forma estructural o funcional.

Cuando ya se tienen las características del servicio del material, se debe de tomar en cuenta que el ingeniero diseñador busca un perfil adecuado de propiedades de los materiales para solo obtener una selección óptima. Por lo tanto, en el capítulo 4 se integran las características de las propiedades más generales para la selección de materiales que busca el diseñador de equipos de proceso.

El capítulo 5 da un panorama general de las herramientas para un adecuado procedimiento para seleccionar los materiales, desde la búsqueda y el ordenamiento de la información, hasta las gráficas para la selección de materiales.

En el capítulo 6 se manejan las principales fallas en los materiales, desde las deficiencias en el diseño hasta las imperfecciones del material.

Y en el capítulo 7 se hacen las recomendaciones finales para la adecuada selección de un material.

1. LOS MATERIALES

Los materiales son las sustancias que componen cualquier cosa o producto. Desde el comienzo de la civilización, los materiales junto con la energía han sido utilizados por el hombre para mejorar su nivel de vida. Como los productos están fabricados a base de materiales, estos se encuentran en cualquier parte alrededor nuestro. Los más comúnmente encontrados son madera, hormigón, ladrillo, acero, plástico, vidrio, caucho, aluminio, cobre y papel. Existen muchos mas tipos de materiales y solo se tiene que mirar a su alrededor para darse cuenta de ello. Debido al progreso de los programas de investigación y desarrollo, se están creando continuamente nuevos materiales.

La producción de nuevos materiales y el procesado de estos hasta convertirlos en productos acabados, constituyen una parte importante de la economía actual. Los ingenieros diseñan la mayoría de los equipos de proceso y los procesos necesarios para su fabricación. Puesto que la producción necesita materiales, los ingenieros deben conocer la estructura interna y las propiedades de los materiales, de modo que sean capaces de seleccionar el mas adecuado para cada aplicación y también capaces de desarrollar los mejores métodos de procesado.

Los ingenieros especializados en investigación trabajan para crear nuevos materiales o para modificar las propiedades de los ya existentes. Los ingenieros de diseño usan los materiales ya existentes, los modificados o los nuevos para diseñar o crear nuevos productos y sistemas. Algunas veces el problema surge de modo inverso: los ingenieros de diseño tienen dificultades en un diseño y requieren que sea creado un nuevo material por parte de los científicos investigadores e ingenieros.

La búsqueda de nuevos materiales progresa continuamente. Por ejemplo los ingenieros mecánicos buscan materiales para altas temperaturas, de modo que los motores de reacción puedan funcionar más eficientemente. Los ingenieros eléctricos procuran encontrar nuevos materiales para conseguir que los dispositivos electrónicos puedan operar a mayores velocidades y temperaturas. Los ingenieros químicos buscan materiales que puedan soportar la presión, la temperatura, la corrosión y además de un bajo costo total en su fabricación.

1.1. CLASIFICACIÓN DE MATERIALES

Los materiales se clasifican según sus propiedades en 5 grupos que son: Metales, Cerámicos, Polímeros, Materiales Compuestos y Semiconductores. En la figura 1.1. se muestran los materiales más utilizados en la industria química a demás de su clasificación y se excluyen a los semiconductores.

Materiales metálicos. Estos materiales son sustancias inorgánicas que están compuestas de uno o más elementos metálicos, pudiendo contener también algunos elementos no metálicos. Ejemplo de elementos metálicos son hierro, cobre, aluminio, níquel y titanio mientras que como elementos no metálicos se puede mencionar al carbono.

Los materiales de cerámica, como los ladrillos, el vidrio, la loza, los aislantes y los abrasivos, tienen escasa conductividad tanto eléctrica como térmica y aunque pueden tener buena resistencia y dureza, son deficientes en ductilidad, conformabilidad y resistencia al impacto.

Polímeros, en estos se incluyen el caucho (el hule), los plásticos y muchos tipos de adhesivos. Se producen creando grandes estructuras moleculares a partir de moléculas orgánicas obtenidas del petróleo o productos agrícolas.

Materiales compuestos: Los materiales compuestos se producen cuando dos materiales se combinan para obtener las propiedades que no se tienen en los materiales originales. Estos materiales pueden seleccionarse para proporcionar combinaciones poco usuales en rigidez, resistencia, peso, rendimiento a alta temperatura, resistencia a la corrosión, dureza o conductividad.

Un semiconductor es un componente que no es directamente un conductor de corriente, pero tampoco es un aislante. En un conductor la corriente es debida al movimiento de las cargas negativas (electrones). Los semiconductores son aquellos elementos pertenecientes al grupo IV de la tabla periódica (Silicio, Germanio, etc.). En circunstancias normales, son aislantes, pero que cuando son excitados por el calor, la luz, etc. permiten el paso de las cargas eléctrica. Actualmente se están utilizando en la fabricación de chips, microchips y otros dispositivos electrónicos. El material semiconductor más utilizado es el silicio,

elemento químico muy abundante. En esta tesis no se abordará este grupo de materiales debido a que su principal uso está en la electrónica.

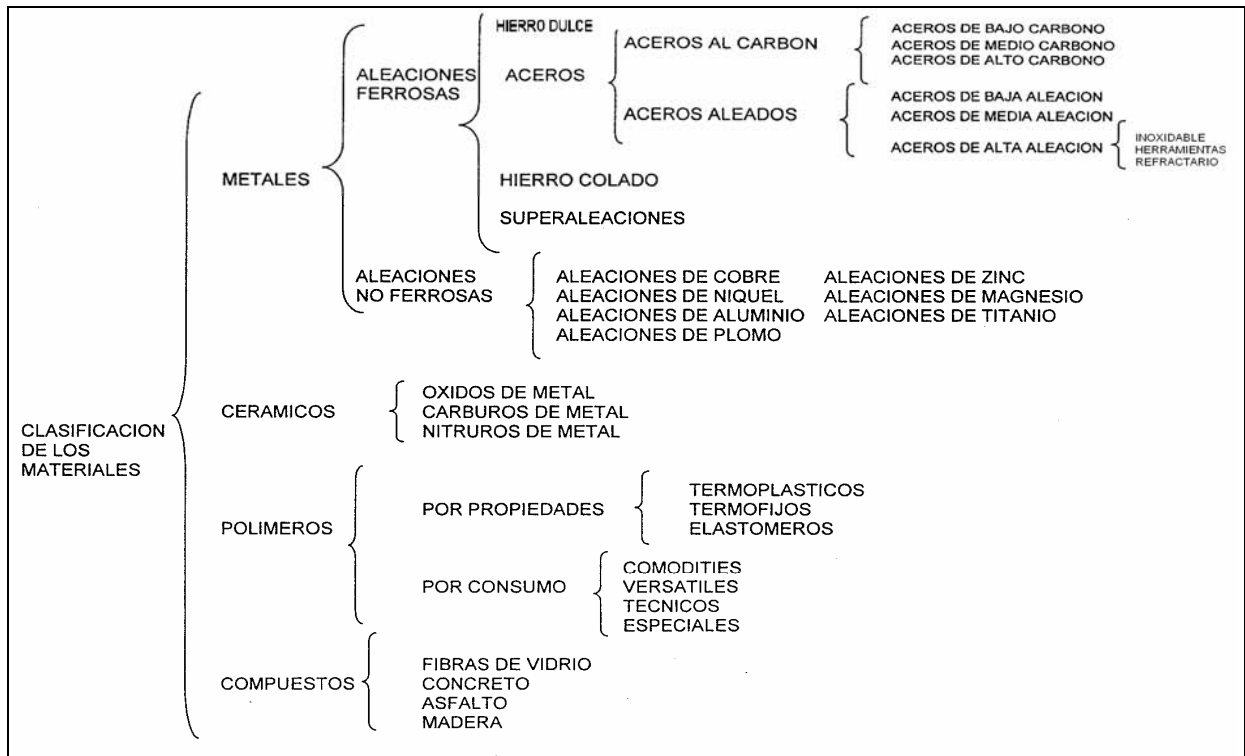


Figura 1.1. Clasificación de los materiales más utilizados en la industria química ⁽¹¹⁾.

Como los materiales en la industria tienen diferentes aplicaciones, también se clasifican como materiales **ESTRUCTURALES** y materiales **FUNCIONALES**.

Un material estructural se va a elegir por sus propiedades mecánicas y por sus propiedades superficiales. *Ejemplos: Hormigón y Acero.*

Propiedades mecánicas: Parte de la física que estudia el comportamiento de los materiales bajo la acción de fuerzas o una carga. Propiedades mecánicas: rigidez, elasticidad, resistencia mecánica, tenacidad, etc.

Propiedades superficiales: Comportamiento frente a la fricción, desgaste, oxidación, corrosión, etc.

Los materiales funcionales son aquellos cuya producción ponderal es menor que la de los estructurales y cuyo precio unitario acostumbra a ser elevado. Estos materiales se

seleccionan por sus propiedades térmicas, eléctricas o electrónicas (conductividad; superconductividad; semiconductividad); magnéticas, termoiónicas, radiactivas y biocompatibles. *Ejemplos: aislantes térmicos y arcillas en reactores.*

A continuación se muestra una lista de algunos criterios de selección de materiales para su uso en ingeniería:

- Esfuerzos mecánicos estáticos y dinámicos
- Esfuerzo a fatiga - desgaste y tiempo de vida del producto
- Temperatura de servicio
- Toxicidad (Productos alimentarios o en contacto con la piel)
- Resistencia química
- Resistencia a UV / Intemperie
- Densidad / Peso
- Experiencia con el material y proceso de fabricación
- Disponibilidad
- Reciclabilidad
- Normativa legal
- Costo material
- Costo / proceso de fabricación

Las propiedades de los materiales que se usan en la industria química se pueden clasificar según la figura 1.2. y de esta forma se puede saber cuáles propiedades se buscan del material.

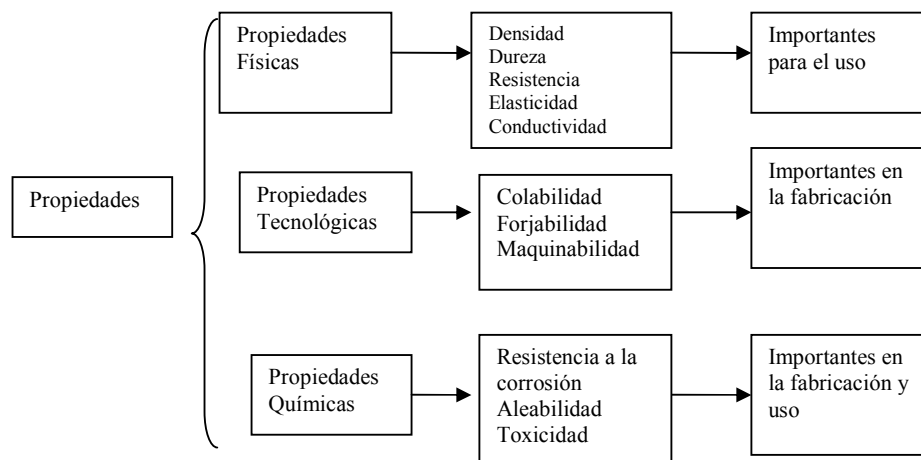


Figura 1.2. Clasificación de las propiedades de los materiales y su importancia ⁽¹²⁾.

De manera frecuente se encuentran los materiales formando parte de los equipos de proceso en la industria y el interés de encontrar el más adecuado para conformar una parte del equipo de proceso es muy importante y por esta razón se tiene que llevar a cabo un estudio más a fondo del cada material y de algunas combinaciones de estos materiales, por lo tanto, en la siguiente parte de este trabajo se presentan de manera más amplia las propiedades y usos de estos materiales.

1.2. ENLACE QUÍMICO

Para una adecuada clasificación de materiales, el tipo de enlace químico entre los átomos y las fuerzas que intervienen entre los grupos de átomos da características que distinguen a las diferentes clases de materiales. A continuación se presentan los enlaces existentes para la configuración de los materiales, y estos se conocen como enlaces primarios debido a que hay una fuerza para romper dicho enlace entre átomos, ya que presenta el compartimiento de electrones para hacerse más estables.

ENLACES METÁLICOS

En metales en estado sólido, los átomos se encuentran empaquetados relativamente muy juntos en una ordenación sistemática o estructura cristalina. Por ejemplo la disposición de los átomos de cobre cristalino consiste en que los átomos están tan juntos que sus electrones externos de valencia son atraídos por los núcleos de sus numerosos vecinos. En el caso del cobre sólido, cada átomo está rodeado por otros 12 átomos más próximos. Los electrones de valencia no están por lo tanto asociados férreamente a un núcleo en particular y así es posible que se extiendan entre los átomos en forma de una nube electrónica de carga de baja densidad o gas electrónico. Los átomos en un metal sólido se mantienen juntos por enlace metálico para lograr un estado de más baja energía (o más estable). Para el enlace metálico no hay restricciones sobre pares electrónicos como en el enlace covalente, o sobre la neutralidad de carga como en el enlace iónico. En el enlace metálico, los electrones de valencia más externos de los átomos son compartidos por muchos átomos circundantes.

ENLACE IÓNICO

Los enlaces iónicos se pueden formar entre elementos muy electropositivos (metálicos) y elementos muy electronegativos (no metales). En el proceso de ionización, los electrones son transferidos desde los átomos de los elementos electropositivos a los átomos de los elementos electronegativos, produciendo cationes cargados positivamente y aniones

cargados negativamente. Las fuerzas de enlace son debidas a la fuerza de atracción electrostática o coulombiana entre iones con carga opuesta. Los enlaces iónicos se forman entre iones opuestamente cargados por que se produce una disminución neta de la energía potencial para los iones enlazados.

ENLACE COVALENTE

Un segundo tipo de enlace atómico primario es el enlace covalente. Mientras el enlace iónico involucra átomos muy electropositivos y electronegativos, el enlace covalente se forma entre átomos con pequeñas diferencias de electronegatividad y ubicados muy próximos en la tabla periódica. En el enlace covalente, los átomos generalmente comparten sus electrones externos s y p con otros átomos, de modo que cada átomo alcanza la configuración de gas noble. En un enlace covalente sencillo, cada uno de los átomos contribuye con un electrón a la formación del par de electrones de enlace, y las energías de los dos átomos asociadas con el enlace covalente son menores (mas estables) como consecuencia de la interacción de los electrones. En el enlace covalente, se pueden formar enlaces múltiples de pares de electrones por un átomo consigo mismo o con otros átomos.

LAS FUERZAS INTERMOLECULARES (enlaces secundarios)

Un enlace secundario es aquel en el cual no hay transferencia ni distribución compartida de electrones. Son fuerzas de atracción entre las moléculas. El comportamiento molecular depende en gran medida del equilibrio (o falta de él) de las fuerzas que unen o separan las moléculas.

Fuerzas de Van der Waals

Es una fuerza intermolecular atractiva, pero poco intensa, que se ejerce a distancia entre moléculas. Son fuerzas de origen eléctrico que pueden tener lugar entre dipolos instantáneos o inducidos y entre dipolos permanentes.

Las sustancias moleculares están formadas por moléculas individuales entre las que únicamente existen interacciones de tipo residual que son las responsables del enlace conocido como fuerza de Van der Waals. Pero este tipo de fuerza no sólo está presente en los sólidos, sino que también aparece entre los átomos o iones sometidos a cualquier clase de enlace, ya sea iónico, metálico o covalente; por eso se considera como una interacción residual.

Su energía es mucho menor que la de los otros tipos de enlace y normalmente aparece enmascarada. Por otra parte, la interacción conocida como fuerza de Van der Waals se caracteriza también porque carece de carácter dirigido y porque opera a distancias mucho mayores aproximadamente a 0.33nm mientras que el enlace covalente a 0.074nm.

Las fuerzas de Van der Waals pueden llegar a mantener ordenaciones cristalinas, pero los puntos de fusión de las sustancias covalentes son siempre bajos, ya que la agitación térmica domina. En cuanto a la solubilidad, puede decirse que, en general, las sustancias covalentes son solubles en disolventes apolares y no en disolventes polares.

Se conocen algunos sólidos covalentes prácticamente infusibles e insolubles, que son excepción al comportamiento general descrito. Un ejemplo de esto es el diamante. La gran estabilidad de estas redes cristalinas se debe a que los átomos que las forman están unidos entre sí mediante enlaces covalentes. Para deshacer la red, es necesario romper estos enlaces, lo cual consume gran cantidad de energía.

Las fuerzas entre dipolos instantáneos o inducidos se producen entre moléculas apolares como es el caso del oxígeno, nitrógeno o cloro, y también entre átomos como el helio o neón, y reciben el nombre de fuerzas de dispersión. Este tipo de fuerzas es el responsable de que estas sustancias pueden ser licuadas e incluso solidificadas. Las nubes electrónicas de las moléculas o de los átomos sufren vibraciones y producen dipolos con una orientación determinada, pero de vida muy breve ya que en un instante después el dipolo tiene la orientación contraria. Estos dipolos inducen otra deformación en las moléculas contiguas y originan fuerzas de atracción entre ellas.

Las fuerzas entre dipolos permanentes se producen cuando las moléculas son polares, como el óxido de azufre (SO₂) o el monóxido de carbono (CO), y existe atracción entre el polo de una molécula y el polo opuesto de otra molécula contigua. Estas fuerzas siguen siendo débiles pero son más intensas que las fuerzas de dispersión y, aunque éstas siguen existiendo, predominan las de atracción dipolo-dipolo.

Enlace dipolo-dipolo

Existen gases cuyas moléculas están formadas por átomos que tienen diferente electronegatividad (enlace covalente polar) y que se hallan dispuestos de forma que en la

molécula existen zonas con mayor densidad de electrones que otras (polo negativo y positivo respectivamente). Este es el caso, por ejemplo, de los gases fluoruro de hidrógeno (HF), cloruro de hidrógeno (HCl), bromuro de hidrógeno (HBr) e ioduro de hidrógeno (HI).

En la molécula de agua, sucede que, aunque tiene una carga total neutra (igual número de protones que de electrones), presenta una distribución asimétrica de sus electrones, lo que la convierte en una molécula polar, alrededor del oxígeno se concentra una densidad de carga negativa, mientras que los núcleos de hidrógeno quedan desnudos, desprovistos parcialmente de sus electrones y manifiestan, por tanto, una densidad de carga positiva. Por eso en la práctica, la molécula de agua se comporta como un dipolo. En la siguiente figura se muestra cómo se dan las tendencias de carga de la molécula del agua para formar el dipolo:

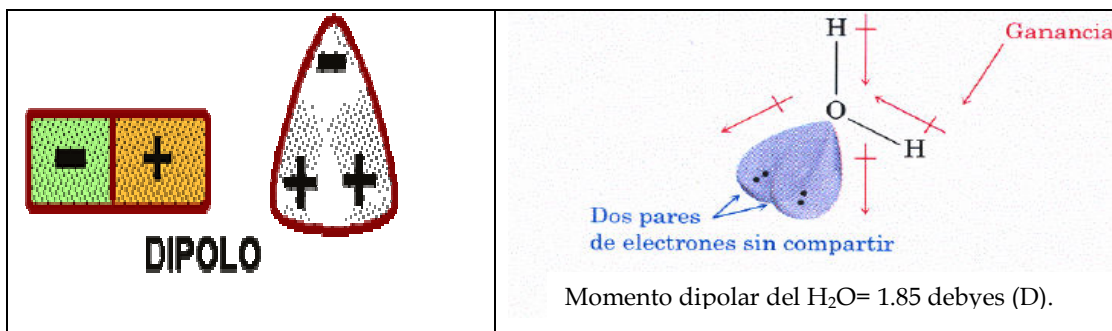


Figura 1.3. Molécula de agua donde se muestra su momento dipolar ⁽¹²⁾.

Así se establecen interacciones dipolo-dipolo entre las propias moléculas de agua, formándose enlaces o puentes de hidrógeno; la carga parcial negativa del oxígeno de una molécula ejerce atracción electrostática sobre las cargas parciales positivas de los átomos de hidrógeno de otras moléculas adyacentes.

Aunque son uniones débiles, el hecho de que alrededor de cada molécula de agua se dispongan otras cuatro moléculas unidas por puentes de hidrógeno permite que se forme en el agua (líquida o sólida) una estructura de tipo reticular, responsable en gran parte de su comportamiento anómalo y de la peculiaridad de sus propiedades fisicoquímicas.

Puente de Hidrógeno

La unión intermolecular por puentes de hidrógeno se produce en moléculas formadas por átomos de hidrógeno y elementos de elevada electronegatividad y tamaño pequeño, como es el caso del flúor, oxígeno o nitrógeno (que son los únicos elementos cuyos átomos

pueden formar puentes de hidrógeno). El par de electrones que forma el enlace está fuertemente atraído por el átomo más electronegativo, produciéndose una polarización del enlace. Esto proporciona una carga parcial positiva al átomo de H y una carga parcial negativa al otro átomo. En virtud de estas cargas, puede establecerse atracción eléctrica entre los hidrógenos de una molécula y los átomos electronegativos de una molécula vecina.

Como el enlace de Van der Waals, el puente de hidrógeno es mucho menos energético que el enlace covalente o el iónico, con valores de entre 1 y 10 kcal/mol.

El hidrógeno es el único átomo capaz de formar este tipo de enlace porque al ser tan pequeño permite que los otros átomos más electronegativos de las moléculas vecinas puedan aproximarse lo suficiente a él como para que la fuerza de atracción sea bastante intensa. Este tipo de enlace intermolecular es el responsable, por ejemplo, de la existencia de océanos de agua líquida en nuestro planeta. Si no existiera, el agua solo se encontraría en forma de vapor. En la siguiente figura se ilustra la manera de interacción de los puentes de hidrógeno:

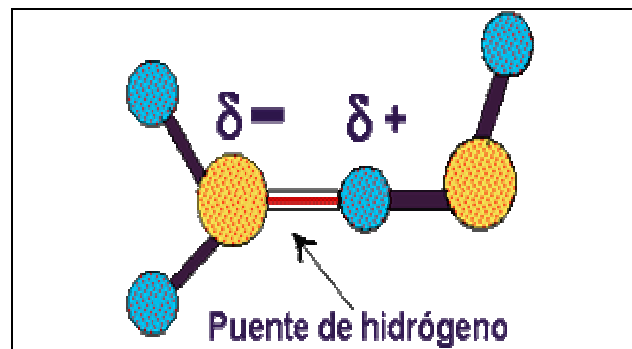


Figura 1.4. Puente de hidrogeno formado por dos moléculas de agua ⁽¹²⁾.

1.2.1. MATERIALES Y SU CLASIFICACIÓN POR ENLACES

Después de conocer los tres tipos de enlaces primarios (iónico, covalente y metálico), y los enlaces secundarios, se pueden ahora distinguir tres tipos de materiales estructurales fundamentales que son los metales, los plásticos y los cerámicos y se consideran asociados a los tres tipos de enlaces primarios. Se trata de un concepto útil debido a que por ejemplo los polímeros deben su comportamiento a los enlaces covalentes y secundarios. En esta clasificación por enlaces no se encuentran 5 grupos como la clasificación por propiedades ya que se tiene que los materiales compuestos son una combinación entre los polímeros, metales y cerámicos.

En la figura 1.5. se muestra un tetraedro que explica la contribución relativa de diferentes tipos de enlaces para las cuatro categorías fundamentales para la ingeniería (los tres tipos estructurales) y los semiconductores.

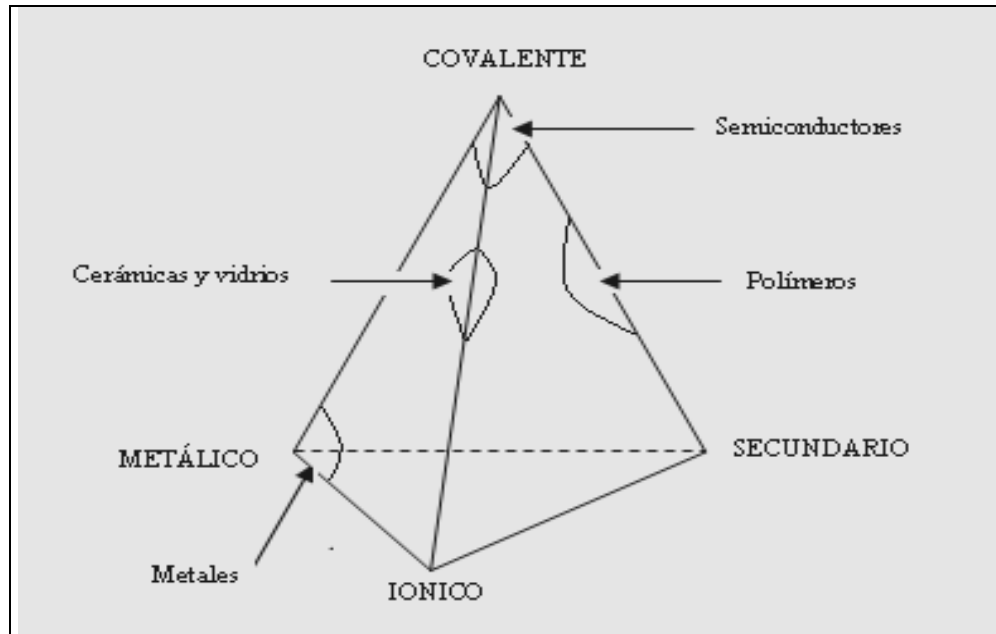


Figura 1.5. Representación de la contribución de los diferentes tipos de enlaces para las cuatro categorías fundamentales de materiales para ingeniería (los tres tipos estructurales y los semiconductores) (9).

En la tabla 1.1. se resume el carácter del enlazamiento asociado con los cuatro tipos fundamentales de materiales técnicos, junto con algunos ejemplos característicos.

Tipo de material	Carácter de enlace	Ejemplo
Metal	Metálico	Hierro(Fe) y las aleaciones ferrosas
Cerámica y vidrio	Iónico/covalente	Sílice(SiO ₂): cristalino y no cristalino
Polímeros	Covalente y secundario	Polietileno -(C ₂ H ₄) _n -
Semiconductores	Covalente o Covalente /iónico	Silicio(Si) o sulfuro de Cadmio(CdS)

Tabla 1.1. Carácter del enlace en los cuatro tipos fundamentales de materiales de ingeniería (9).

1.3. METALES

Los metales son sustancias inorgánicas que están compuestas de uno o más elementos, de los cuales algunos de ellos pueden ser no metales; éstos tienen una estructura cristalina en la que los átomos están dispuestos de manera ordenada. Tienen un gran número de electrones deslocalizados, los cuales son responsables de la mayoría de sus propiedades.

Los metales y las aleaciones empleadas en la industria y en la construcción pueden dividirse en dos grupos principales: Metales FERROSOS y Metales NO FERROSOS.

Los metales se caracterizan por tener un brillo especial, llamado metálico, y por ser buenos conductores de la electricidad y del calor. Además los metales tienen una molécula monoatómica y originan los hidróxidos al disolverse los óxidos metálicos en agua. Algunos metales se presentan en estado libre como el oro, pero otros aparecen en estados de óxidos, sulfuros, carbonatos, fluoruros, cloruros. etc.

Propiedades físicas

Los metales, con excepción del mercurio, que es líquido, son sólidos a la temperatura ambiente y todos tienen brillo y un color casi siempre blanco grisáceo, salvo en los casos del cobre (rojo) y el oro (amarillo). Son de densidad muy variable. El magnesio y aluminio son los más ligeros de los metales utilizados en la industria por sus aplicaciones prácticas.

Hay ciertos metales que tienen la propiedad de ser maleables, lo que significa que se pueden cortar en finísimas láminas como el oro, el estaño y el aluminio; y otros como el hierro y el cobre que son tenaces o resistentes a la ruptura por tracción.

Propiedades químicas

Los metales reaccionan con más o menos facilidad con el medio que les rodea, según que sean más o menos electropositivos. El aire, el agua y algunos elementos químicos (entre los más importantes se encuentra el ácido sulfhídrico disuelto) reaccionan con ellos formando compuestos que destruyen generalmente las propiedades mecánicas que tienen. Esta acción llamada corrosión se evita cubriendo el metal con otro no corrosible, como en el caso del hierro al que se añade zinc (hierro galvanizado) o estaño (hojalata).

1.3.1. METALES FERROSOS

En los metales ferrosos, como su nombre lo indica, su principal componente es el hierro. Sus principales características son su gran resistencia a la tensión y dureza. Las principales aleaciones se logran con el estaño, plata, platino, manganeso, vanadio y titanio.

Los principales productos representantes de los materiales metálicos son:

- Fundición de hierro gris
- Fundición de hierro blanco
- Fundición dúctil o esferoidal
- Fundición maleable
- Aceros

Su temperatura de fusión va desde los 1360°C hasta los 1425°C y uno de sus principales problemas es la corrosión.

1.3.1.1. ACEROS

Son aquellos productos ferrosos cuyo porcentaje de carbono está comprendido entre 0.05% y 1.7%; el acero endurece por el temple y una vez templado, tiene la propiedad de que si se calienta de nuevo y se enfría lentamente, disminuye su dureza. El acero funde entre los 1400 y 1500°C, y se puede moldear con más facilidad que el hierro.

Atendiendo al porcentaje de carbono, los aceros se clasifican en:

- Aceros hipoentectoides, si su porcentaje de carbono es inferior al 0.89%.
- Aceros hipereentectoides, si su porcentaje de carbono es superior al 0.89%.

Desde el punto de vista de su composición, los aceros se pueden clasificar en dos grandes grupos:

1. Aceros al carbono: formados principalmente por hierro y carbono.
2. Aceros aleados: contienen, además del carbono, otros elementos en cantidades suficientes como para alterar sus propiedades (dureza, punto de fusión, tamaño del grano, templabilidad, resistencia a la corrosión).

El cromo es el elemento aleado que más influye en la resistencia a la oxidación y a la corrosión de los aceros. Un 12% de cromo ya impide la corrosión por el aire ambiente húmedo. Para la oxidación a altas temperaturas se puede necesitar hasta un 30 %. El níquel mejora la resistencia a la corrosión de los aceros al cromo y el molibdeno, mejora la resistencia a la oxidación a altas temperaturas.

Los aceros inoxidables son resistentes a la corrosión atmosférica, a los ácidos y álcalis y a la oxidación a temperaturas no muy elevadas. Se clasifican según su estructura en estado de utilización, como:

1. Ferríticos
2. Martensíticos
3. Austeníticos

Aceros ferríticos: También se consideran simplemente al cromo, su contenido varía de 12 a 18%, pero el contenido de carbono es bajo <0.2%. Los tipos más comunes son el AISI 430, 409 y 434. Su estructura ferrítica a cualquier temperatura (o se convierte en estructura austenítica en el calentamiento). El grano no se regenera.

Las propiedades básicas son: buena resistencia a la corrosión, la dureza no es muy alta y no puede incrementarse por tratamiento térmico. Sus principales aplicaciones son en la construcción de equipo y utensilios domésticos y en aplicaciones arquitectónicas y decorativas. Son difíciles de soldar y se usan en embutición profunda por su gran ductilidad. Son magnéticos.

Composición:

- A. 15-18% de cromo y una máxima de 0.12% de carbono. Resistencia a la corrosión superior a la de los martensíticos.
- B. 20-80% de cromo y una máxima de 0.35% de carbono.
- C. Aceros al cromo-aluminio hasta un 4% de cromo son más resistentes a la oxidación.

Aceros martensíticos Son la primera rama de los aceros inoxidable, llamados simplemente al cromo y fueron los primeros desarrollados industrialmente (aplicados en cuchillería). Tienen un contenido de carbono relativamente alto de 0.2 a 1.2% y de cromo de 12 a 18%.

Los tipos más comunes son el AISI 410, 420 y 431. Las propiedades básicas son: Elevada dureza (se puede incrementar por tratamiento térmico) y gran facilidad de maquinado, resistencia a la corrosión moderada.

Gran dureza cuando se los enfría rápidamente una vez austenizados.

- A. 12- 14% de cromo, 0.2-0.5% de carbono.
- B. 16-18% de cromo, 0.6-1% de carbono.

Por temple adquieren grandes durezas. Resistentes a la corrosión y al desgaste. Tipo normalizado AISI 311: acero inoxidable extra dulce; menos del 0.1% de carbono, 13% de cromo y 0.30 % de níquel, es resiste a la corrosión atmosférica, la del agua corriente y la de los ácidos y álcalis débiles. Fácilmente soldable.

Sus principales aplicaciones son en la construcción de ejes, flechas, instrumental quirúrgico y cuchillería.

Aceros austeníticos Son los más utilizados por su amplia variedad de propiedades, se obtienen agregando níquel a la aleación, por lo que la estructura cristalina del material se transforma en austenita y de aquí adquieren el nombre. El contenido de cromo varía de 16 a 28%, el de níquel de 3.5 a 22% y el de molibdeno 1.5 a 6%.

Los tipos más comunes son el AISI 304, 304L, 316, 316L, 310 y 317. Las propiedades básicas son: Excelente resistencia a la corrosión, excelente factor de higiene-limpieza, fáciles de transformar, excelente soldabilidad, no se endurecen por tratamiento térmico, se pueden utilizar tanto a temperaturas criogénicas como a elevadas temperaturas. Estructura austenítica a cualquier temperatura. Baja conductividad calorífica. Muy dúctil y resistente a la corrosión atmosférica, al agua de mar, al ataque de productos alimenticios, ciertos ácidos minerales y de la mayoría de los ácidos orgánicos.

Los usos de los aceros austeníticos son: en la construcción de equipos para la industria química y de la alimentación, utensilios de cocina y aparatos domésticos que no requieren soldaduras en las zonas sometidas a fuerte corrosión. Admite pulidos con acabados a espejo, por lo que también se usa para ornamentación.

1.3.1.2. FUNDICIONES

Aleaciones férricas con un contenido en carbono superior al 2.1% (generalmente 3-4.5%), además de otros elementos de adición. Funden (1150-1300° C) y se moldean con facilidad. La cementita, Fe_3C es un compuesto metaestable y puede disociarse en ferrita (α -Fe) y grafito. La tendencia a la grafitización se regula mediante la composición y la velocidad de enfriamiento.

Fundición gris

(2.5-4% C + 1-3% Si). El grafito forma escamas o láminas, dentro de una matriz de ferrita α o de perlita. Es frágil y poco resistente a la tracción; la resistencia y la ductilidad a los esfuerzos de compresión son mucho mayores. Tiene alta resistencia al desgaste, se puede moldear fácilmente y también su contracción es pequeña.

Fundición dúctil o esferoidal

Se obtiene al añadir pequeñas cantidades de Mg y/o Co a la fundición gris en estado líquido; las microestructuras del grafito son esferoides, rodeados de ferrita o perlita, dependiendo del tratamiento térmico. Es más resistente y dúctil que la gris. Se utiliza para fabricar válvulas, cuerpos de bombas, cigüeñales, pistones, etc.

Fundición blanca

Cuando se enfrían rápidamente fundiciones bajas en carbono (<1% C), la mayoría del C se segrega a la superficie como cementita en vez de grafito. La superficie de rotura de esta aleación tiene una tonalidad blanca. Es dura, frágil e inmecanizable.

Fundición maleable

Se obtiene cuando se calienta la fundición blanca entre 800-900°C durante tiempo prolongado en atmósfera inerte, descomponiéndose la cementita y formándose grafito en forma de racimos o rosetas dentro de una matriz de ferrita o perlita.

1.3.2. METALES NO FERROSOS

El nombre se debe a que no contienen hierro. La importancia que tiene en la industria el uso de los metales no ferrosos es enorme, porque poseen una o varias propiedades que los hace insustituibles:

- Gran resistencia a la oxidación y corrosión, en general.
- Bajo peso específico.
- Una resistencia mecánica aceptable, (menor que los ferrosos)
- Buena conductividad eléctrica.

1.3.2.1. CLASIFICACIÓN DE LOS METALES NO FERROSOS

A continuación se presenta la clasificación de los metales no ferrosos según su densidad:

➤ Metales no ferrosos pesados.	Aquellos cuya densidad es igual o mayor de 5 kg/dm ³ : el cobre, el estaño, el plomo, el cinc, el níquel y el cromo.
➤ Metales no ferrosos ligeros.	Aquellos cuya densidad está comprendida entre 2 y 5 kg/dm ³ : aluminio y titanio.
➤ Metales no ferrosos ultraligeros.	Cuya densidad es menor de 2 kg/dm ³ : el berilio (elemento de aleación) y el magnesio.

Tabla 1.2. Clasificación de los metales no ferrosos según su densidad y los metales que lo componen.

Todos estos metales no ferrosos, en estado puro, son blandos y poseen una resistencia mecánica bastante reducida. Para mejorar sus propiedades mecánicas, los metales puros suelen alearse con otros. De esta manera, los cambios así originados en muchos casos mejoran sustancialmente las propiedades del metal base e, incluso, se pueden obtener propiedades nuevas. Con las aleaciones se consigue, generalmente:

- Aumentar la dureza y resistencia mecánica.
- Disminuir el alargamiento y la conductividad eléctrica.
- Disminuir el punto de fusión.
- Empeorar la resistencia a la oxidación y a la corrosión.

Metales no férreos ordenamos de mayor a menor aplicación:

1. Cobre
2. Aluminio
3. Estaño
4. Plomo
5. Cinc
6. Níquel
7. Cromo
8. Titanio
9. Magnesio

1.3.2.2. PROPIEDADES Y APLICACIONES DE LOS METALES NO FERROSOS

COBRE

El cobre con el símbolo Cu, es uno de los metales de mayor uso, de apariencia metálica y color pardo rojizo. El cobre es uno de los elementos de transición de la tabla periódica, y su número atómico es 29.

Aplicaciones y propiedades

Su punto de fusión es de 1083 °C, mientras que su punto de ebullición es de unos 2567 °C, y tiene una densidad de 8.9 g/cm³. Su masa atómica es 63.546.

El cobre tiene una gran variedad de aplicaciones a causa de sus ventajosas propiedades, como son su elevada conductividad del calor y electricidad, la resistencia a la corrosión, así como su maleabilidad y ductilidad, además de su belleza. Debido a su extraordinaria conductividad, sólo superada por la plata, el uso más extendido del cobre se da en la industria eléctrica. Su ductilidad permite transformarlo en cables de cualquier diámetro, a partir de 0.025 mm. La resistencia a la tracción del alambre de cobre estirado es de unos

4200 kg/cm². Puede usarse tanto en cables y líneas de alta tensión exteriores como en el cableado eléctrico en interiores, cables de lámparas y maquinaria eléctrica en general: generadores, motores, reguladores, equipos de señalización, aparatos electromagnéticos y sistemas de comunicaciones.

Aleaciones del cobre

El cobre puro es blando. Las aleaciones de cobre, mucho más duras que el metal puro, presentan una mayor resistencia y por ello no pueden utilizarse en aplicaciones eléctricas. Su resistencia a la corrosión es casi tan buena como la del cobre puro y son de fácil manejo. Las dos aleaciones más importantes son el latón, una aleación con zinc, y el bronce, una aleación con estaño. A menudo, tanto el zinc como el estaño se funden en una misma aleación, haciendo difícil una diferenciación precisa entre el latón y el bronce. Ambos se emplean en grandes cantidades. También se usa el cobre en aleaciones con oro, plata y níquel, y es un componente importante en aleaciones como el monel, el bronce de cañón y la plata alemana o alpaca.

ALUMINIO

Tiene el símbolo Al, es el elemento metálico más abundante en la corteza terrestre. Su número atómico es 13.

Características

De color plateado y muy ligero, su masa atómica es 26.9815; tiene un punto de fusión de 660 °C, un punto de ebullición de 2467 °C y una densidad relativa de 2.7. Es un metal muy electropositivo y altamente reactivo. Al contacto con el aire se cubre rápidamente con una capa dura y transparente de óxido de aluminio que resiste la posterior acción corrosiva. Tiene la propiedad de reducir muchos compuestos metálicos a sus metales básicos. Entre sus compuestos más importantes están el óxido, el hidróxido, el sulfato y el sulfato mixto. El óxido de aluminio es anfótero, es decir, presenta a la vez propiedades ácidas y básicas. El cloruro de aluminio anhidro es importante en la industria petrolífera. Muchas gemas (el rubí y el zafiro, por ejemplo) consisten principalmente en óxido de aluminio cristalino.

ESTAÑO

Tiene el símbolo Sn, es un elemento metálico que fue utilizado desde la antigüedad. Pertenece al grupo 14 (o IV A) del sistema periódico y su número atómico es 50.

Características y estado natural

El estaño es muy dúctil y maleable a 100 °C de temperatura y es atacado por los ácidos fuertes. Ordinariamente es un metal blanco plateado, pero a temperaturas por debajo de los 13 °C se transforma a menudo en una forma alotrópica (claramente distinta) conocida como estaño gris, que es un polvo amorfo de color grisáceo con una densidad relativa de 5.75. Debido al aspecto moteado de los objetos de estaño que sufren esta descomposición, a esta acción se la denomina comúnmente enfermedad del estaño o peste del estaño. Al doblar una barra de estaño ordinaria, ésta emite un sonido crepitante llamado grito del estaño, producido por la fricción de los cristales. El estaño ocupa el lugar 49 entre los elementos de la corteza terrestre. El estaño ordinario tiene un punto de fusión de 232 °C, un punto de ebullición de 2260 °C y una densidad relativa de 7.28. Su masa atómica es 118.69.

Aleaciones y aplicaciones del estaño

El estaño es un metal muy utilizado en centenares de procesos industriales en todo el mundo. En forma de hojalata, se usa como capa protectora para recipientes de cobre, de otros metales utilizados para fabricar latas y artículos similares. El estaño es importante en las aleaciones comunes de bronce (estaño y cobre), en la soldadura (estaño y plomo) y en el metal de imprenta (estaño, plomo y antimonio) (véase Metalistería). También se usa aleado con titanio en la industria aeroespacial, y como ingrediente de algunos insecticidas. El sulfuro estaño (IV), conocido también como oro musivo, se usa en forma de polvo para broncear artículos de madera.

PLOMO

Tiene el símbolo Pb (del latín plumbum, "plomo"), es un elemento metálico, denso, de color gris azulado. Es uno de los primeros metales conocidos. Su número atómico es 82 y se encuentra en el grupo 14 del sistema periódico. Hay referencias al plomo en el Antiguo Testamento y ya lo empleaban los romanos para tuberías, aleado con estaño.

Características del plomo

El plomo se encuentra ampliamente distribuido por todo el planeta en forma de galena, que es sulfuro de plomo. Ocupa el lugar 36 en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre. El plomo es un metal blando, maleable y dúctil. Si se calienta lentamente puede hacerse pasar a través de agujeros anulares o troqueles. Presenta una baja resistencia a la tracción y es un mal conductor de la electricidad. Al hacer un corte, su superficie presenta un

lustre plateado brillante, que se vuelve rápidamente de color gris azulado y opaco, característico de este metal. Tiene un punto de fusión de 328 °C, un punto de ebullición de 1740 °C y una densidad relativa de 11.34. Su masa atómica es 207.20. El plomo se presenta en la naturaleza en ocho formas isotópicas: cuatro de ellas son estables y las otras cuatro son radiactivas. Los isótopos estables plomo 206, plomo 207 y plomo 208 son, respectivamente, los productos finales de las series de descomposición radiactiva del uranio, actinio y torio. El plomo 204, también estable, no tiene precursores radiactivos naturales.

Aplicaciones y aleaciones del plomo

El plomo se emplea en grandes cantidades en la fabricación de baterías y en el revestimiento de cables eléctricos. También se utiliza industrialmente en las redes de tuberías, tanques y aparatos de rayos X. Debido a su elevada densidad y propiedades nucleares, se usa como blindaje protector de materiales radiactivos. Entre las numerosas aleaciones de plomo se encuentran las soldaduras, el metal tipográfico y diversos cojinetes metálicos. Una gran parte del plomo se emplea en forma de compuestos, sobre todo en pinturas y pigmentos.

ZINC

Tiene el símbolo Zn, elemento metálico blanco azulado que tiene muchas aplicaciones industriales. El zinc es uno de los elementos de transición del sistema periódico; su número atómico es 30.

Características

El cinc puro es un metal cristalino, insoluble en agua caliente y fría, y soluble en alcohol, en los ácidos y en los álcalis. Es extremadamente frágil a temperaturas ordinarias, pero se vuelve maleable entre los 120 y los 150°C, y se lamina fácilmente al pasarlo entre rodillos calientes. No es atacado por el aire seco, pero en aire húmedo se oxida, cubriéndose con una película carbonada que lo protege de una posterior corrosión. Tiene un punto de fusión de 420°C, un punto de ebullición de 907°C y una densidad relativa de 7.14. Su masa atómica es 65.38.

Aleaciones del zinc y aplicaciones más importantes

El metal se usa principalmente como capa protectora o galvanizador para el hierro y el acero, y como componente de distintas aleaciones, especialmente del latón, plata alemana y

zamarck. También se utiliza en las placas de las pilas (baterías) eléctricas secas, y en las fundiciones a troquel. El óxido de zinc, conocido como zinc blanco, se usa como pigmento en pintura, en colorantes, conservantes de la madera y pegamentos; también, en la elaboración de bronceadores. Además se utiliza como rellenedor en llantas de goma y como pomada antiséptica en medicina. El cloruro de zinc se usa para preservar la madera y como fluido soldador. El sulfuro de zinc es útil en aplicaciones relacionadas con la electroluminiscencia, la fotoconductividad, la semiconductividad y otros usos electrónicos; se utiliza en los tubos de las pantallas de televisión y en los recubrimientos fluorescentes.

NÍQUEL

Es un elemento metálico magnético, de aspecto blanco plateado, utilizado principalmente en aleaciones. Su símbolo es el Ni y su número atómico es 28.

Características

El níquel es un metal duro, maleable y dúctil, que puede presentar un intenso brillo. El níquel metálico no es muy activo químicamente. Es soluble en ácido nítrico diluido, y se convierte en pasivo (no reactivo) en ácido nítrico concentrado. Tiene un punto de fusión de 1455 °C, y un punto de ebullición de 2730 °C, su densidad es de 8.9 g/cm³ y su masa atómica 58.69.

Aleaciones y aplicaciones de níquel

El níquel se usa principalmente en aleaciones. Las aleaciones que se han citado son los ejemplos característicos de gran número de aleaciones altas patentadas de empleo en la industria química. Se emplea como protector y como revestimiento ornamental de los metales; en especial de los que son susceptibles de corrosión como el hierro y el acero. La placa de níquel se deposita por electrólisis de una solución de níquel. Finamente dividido, el níquel absorbe 17 veces su propio volumen de hidrógeno y se utiliza como catalizador en un gran número de procesos, incluida la hidrogenación del petróleo.

Aleaciones níquel-cromo-hierro

Inconel es una marca registrada que abarca aleaciones a base de níquel-cromo-hierro, cubriendo un amplio espectro de composiciones y de propiedades. Esta tiene buena resistencia mecánica así como a la corrosión y oxidación a altas temperaturas. Sus características hacen que se pueda utilizar en turbinas, discos de compresores, válvulas

tuberías, accesorios de hornos, escapes de motores, etc. En la mayoría de las aleaciones inonel las características básicas del sistema níquel-cromo son aumentadas mediante la adición de otros elementos. Algunas de las aleaciones aumentan su resistencia mediante la adición de aluminio, titanio y niobio (columbio). Otras contienen cobalto, cobre, molibdeno o tungsteno para mejorar atributos específicos de resistencia mecánica o a la corrosión. Las aleaciones también contienen hierro en cantidades que varían desde 1% a más del 20%. En la mayoría de los casos los efectos dominantes en las propiedades se deben a los aleantes, salvo el hierro.

Aleaciones	Características	Aplicaciones
(Ni + Fe)	<ul style="list-style-type: none"> - De elevado carácter magnético. - Escasa dilatación a temperaturas elevadas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Construcción de cables submarinos. - Construcción de aparatos de precisión.
(Ni + Cr)	<ul style="list-style-type: none"> - Propiedades refractarias a altas temperaturas. - Gran resistencia a la oxidación y a la corrosión. 	<ul style="list-style-type: none"> - Construcción de piezas y maquinaria para altos hornos. - En la industria aeronáutica y del automóvil.
(Ni + Cu + Sn)	<ul style="list-style-type: none"> - Elevada conductividad térmica. - Gran resistencia eléctrica. - Aumento de la resistencia a la corrosión. - Excelentes propiedades mecánicas. - Buen aspecto decorativo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Fabricación de condensadores. - Fabricación de ciertas monedas. - Fabricación de pilas termoeléctricas. - Fabricación de hilos termopares. - Construcción de griferías y turbinas. - Construcción de elementos de tintorería.
(Acero + Ni)	<ul style="list-style-type: none"> - Incremento de la resistencia mecánica del acero. - Mayor porcentaje de alargamiento. - Elevada resistencia a la corrosión. 	
Latón al níquel (Ni + Cu + Zn)	<ul style="list-style-type: none"> - De color blanco azulado. - Buena resistencia a la corrosión por sustancias químicas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Resortes y contactos en equipos para teléfonos, alambres para resistencias, ferretería de equipos quirúrgicos y dental, joyería de fantasía ...

Tabla 1.3. Aleaciones de níquel utilizadas en la industria química.

Aleaciones níquel-hierro

Incoloy es una marca registrada que abarca predominantemente aleaciones de base de níquel - hierro. Sin embargo, algunas aleaciones (aquellas diseñadas para un baja dilatación térmica) no contienen cromo y una de ellas (MA 956) no contiene níquel. Otras incluyen molibdeno y cobre para mejorar la resistencia a la corrosión, y aluminio, titanio o niobio para lograr mayor resistencia mediante tratamiento térmico. En general, el incoloy difiere del inconel y el nimonic por el bajo contenido de níquel, el mayor contenido de hierro y un contenido ligeramente mayor de cromo. Algunas aleaciones de níquel - hierro - cromo no llevan la marca registrada incoloy.

El incoloy se caracteriza por una buena resistencia a la corrosión en ambientes acuosos y por su excelente resistencia a la oxidación en atmósferas a altas temperaturas. El contenido de níquel logra que la aleación sea superior al acero inoxidable en la resistencia a la corrosión, especialmente a la debida por iones cloruros y a la corrosión bajo tensión. A altas temperaturas, el contenido significativo de cromo provee resistencia a ambientes oxidantes, y la combinación de níquel, hierro y cromo brinda buena resistencia a la rotura por flujo. Estas características, combinadas con facilidad de elaboración, le brindan a estas aleaciones una amplia variedad de usos. Las aplicaciones incluyen hornos y equipos de tratamiento térmico, generadores de vapor, etc.

Aleaciones níquel-cobre

La primera aleación de níquel, inventada en 1905, contenía aproximadamente dos tercios de níquel y un tercio de cobre. Su equivalente actual es el monel 400, que continúa siendo una de las aleaciones de níquel más utilizadas. Las aleaciones níquel-cobre tienen una resistencia algo mayor que el níquel sin alear sin sacrificar ductilidad. Las aleaciones monel también resisten a la corrosión en un mayor rango de ambientes.

La conductividad térmica del monel (aunque es menor que la del níquel) es significativamente mayor que la de las aleaciones de níquel que contienen cantidades significativas de cromo o hierro. El monel posee mejor resistencia que el níquel al ácido sulfúrico, salmuera y agua. Estas aleaciones son utilizadas en el decapado del acero mediante ácido sulfúrico, en presencia de ácido fluorhídrico durante la refinación de petróleo, en el manipuleo de la salmuera para la producción de cloruro de sodio, y en varias aplicaciones marinas y de otros tipos que implican contacto con agua marina y dulce. Debido a su buena

conductividad térmica y resistencia a la corrosión, el monel se utiliza frecuentemente en intercambiadores de calor. Las aleaciones de níquel-cobre tienen básicamente los mismos elevados niveles de formabilidad y soldabilidad del níquel. Un grado de aleación para maquinado está disponible para piezas que requieran un extenso maquinado. Una versión endurecida por precipitación combina alta resistencia con facilidad de fabricación electrónica.

Aleaciones níquel-molibdeno-hierro

Contienen molibdeno 7/28% y 5% de hierro y se dividen por una que contiene cromo y la que no lo contiene. Las aleaciones sin cromo resisten el ácido clorhídrico en cualquier concentración, al igual que con el fosfórico, pero con el sulfúrico solo hasta el 60%, además resiste el ácido nítrico diluido. El Hastelloy 0-3 contiene 44% Ni, 22% Cr, 6.5% Mo y como máximo 0.05% C.

La Hastelloy 0-276 es una aleación basada en níquel que contiene cromo (15.5%), molibdeno (15.5%) y tungsteno (3%) como principales elementos de aleación. Solo se puede conseguir en la forma forjada. Esta aleación es una modificación baja en impurezas del Hastelloy C, que se puede conseguir en forma fundida. El bajo nivel de impurezas reduce substancialmente el riesgo de la corrosión en la precipitación de las superficies límites de los granos en las zonas afectadas por el calor de la soldadura. Esta aleación es resistente a las soluciones de cloruro fuertemente oxidante, como el cloro húmedo y las soluciones de hipoclorito. Es una de las pocas aleaciones que son totalmente resistentes al agua de mar. Hastelloy C-4 es una variación reciente, que es casi totalmente inmune a la corrosión ínter granular en las zonas afectadas por el calor de la soldadura.

CROMO

El cromo tiene el símbolo Cr, es un elemento metálico de color gris, puede presentar un intenso brillo. Es un elemento de transición del sistema periódico y su número atómico es 24.

Características

El cromo es un elemento común. Su masa atómica es 51.996; su punto de fusión es de 1857°C, su punto de ebullición de 2672°C y su densidad 7.2 g/cm³. El cromo puede reemplazar al aluminio o al hierro en muchos minerales a los que da sus exclusivos colores.

Muchas gemas preciosas deben su color a la presencia de cromo. Los minerales aptos para su manipulación son poco comunes; la cromita (FeCr_2O_4) el más importante.

Aplicaciones y aleaciones de cromo

Principalmente se utiliza en la creación de aleaciones de hierro, níquel o cobalto. Al añadir el cromo se consigue aumentar la dureza y la resistencia a la corrosión de la aleación. En los aceros inoxidable, constituye el 10% de la composición final. Debido a su dureza, la aleación de cromo, cobalto y tungsteno se emplea para herramientas de corte rápido de metales. Al depositarse electrolíticamente, el cromo proporciona un acabado brillante y resistente a la corrosión. Debido a ello se emplea a gran escala en el acabado de vehículos. El amplio uso de la cromita como refractante se debe a su alto punto de fusión, su moderada dilatación térmica y la estabilidad de su estructura cristalina.

EL MOLIBDENO

Es un elemento metálico con propiedades químicas similares a las del cromo. Es uno de los elementos de transición del sistema periódico. El número atómico del molibdeno es 42. Es un metal blanco plateado, duro y maleable. El molibdeno se disuelve en ácido nítrico y agua regia, y es atacado por los álcalis fundidos. El aire no lo ataca a temperaturas normales, pero arde a temperaturas por encima de los 600°C formando óxido de molibdeno. El molibdeno tiene un punto de fusión de unos 2610°C , un punto de ebullición de unos 5560°C , y una densidad relativa de 10.2. Su masa atómica es 95.94.

Características

El molibdeno no existe libre en la naturaleza, sino en forma de minerales, siendo los más importantes la molibdenita y la wulfenita. Ocupa el lugar 56 en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre y es un oligoelemento importante del suelo, donde contribuye al crecimiento de las plantas.

Aplicaciones del molibdeno

El metal se usa principalmente en aleaciones con acero. Esta aleación soporta altas temperaturas y presiones y es muy resistente, por lo que se utiliza en la construcción, para hacer piezas de aviones y piezas forjadas de automóviles. El alambre de molibdeno se usa en tubos electrónicos, y el metal sirve también como electrodo en los hornos de vidrio. El sulfuro de molibdeno se usa como lubricante en medios que requieren altas temperaturas.

Casi los dos tercios del suministro mundial del metal se obtienen como un subproducto en las excavaciones de cobre. Estados Unidos es el primer productor, seguido de Canadá.

TITANIO

Titanio, de símbolo Ti, elemento metálico blanco plateado que se usa principalmente para preparar aleaciones ligeras y fuertes. Su número atómico es 27 y es uno de los elementos de transición del sistema periódico.

Características del titanio

El titanio sólo es soluble en ácido fluorhídrico y en ácidos en caliente como el sulfúrico; en ácido nítrico no es soluble ni en caliente. El metal es extremadamente frágil en frío, pero es muy maleable y dúctil al rojo vivo moderado. Tiene un punto de fusión de 1660 °C, un punto de ebullición de 3287 °C y una densidad relativa de 4.5. Su masa atómica es 47.9.

Aleaciones y aplicaciones del titanio

Debido a su resistencia y su peso ligero, el titanio se usa en aleaciones metálicas y como sustituto del aluminio. Aleado con aluminio y vanadio, se utiliza en los aviones para fabricar las puertas de incendios, la capa exterior, los componentes del tren de aterrizaje, el entubado hidráulico y las protecciones del motor. Los alabes del compresor, los discos y los revestimientos de los motores a reacción también están hechos de titanio. El titanio se usa ampliamente en misiles y cápsulas espaciales; las cápsulas Mercurio, Gemini y Apolo fueron construidas casi totalmente con titanio. Otras aleaciones comunes de titanio son: el ferro carbono titanio, que se obtiene reduciendo la ilmenita con coque en un horno eléctrico; el cuprotitanio, que se produce por la reducción de rutilo al que se ha añadido cobre, y el manganotitanio, que se obtiene reduciendo el rutilo al que se ha añadido manganeso u óxidos de manganeso.

La relativa inercia del titanio le hace eficaz como sustituto de los huesos y cartílagos en cirugía, así como para las tuberías y tanques que se utilizan en la elaboración de los alimentos. Se usa en los intercambiadores de calor de las plantas de desalación debido a su capacidad para soportar la corrosión del agua salada. En metalurgia, las aleaciones de titanio se usan como desoxidantes y desnitrogenantes para eliminar el oxígeno y el nitrógeno de los metales fundidos. El dióxido de titanio (conocido como titanio blanco), es un pigmento blanco y brillante que se utiliza en pinturas, lacas, plásticos, papel, tejidos y caucho.

MAGNESIO

Magnesio, de símbolo Mg, es un elemento metálico blanco plateado, relativamente no reactivo. El magnesio es uno de los metales alcalinotérreos, y pertenece al grupo 2 (o IIA) del sistema periódico. El número atómico del magnesio es 12.

Características

El magnesio es maleable y dúctil cuando se calienta. Exceptuando el berilio, es el metal más ligero que permanece estable en condiciones normales. El oxígeno, el agua o los álcalis no atacan al metal a temperatura ambiente. Reacciona con los ácidos, y cuando se calienta a unos 800 °C reacciona también con el oxígeno y emite una luz blanca radiante. El magnesio tiene un punto de fusión de unos 649 °C, un punto de ebullición de unos 1107 °C y una densidad de 1.74 g/cm³; su masa atómica es 24.305.

Aplicaciones y aleaciones del magnesio

El magnesio forma compuestos bivalentes, siendo el más importante el carbonato de magnesio, que se forma por la reacción de una sal de magnesio con carbonato de sodio y se utiliza como material refractario y aislante. El cloruro de magnesio, que se forma por la reacción de carbonato u óxido de magnesio con ácido clorhídrico, se usa como material de relleno en los tejidos de algodón y lana, en la fabricación de papel y de cementos y cerámicas. Otros compuestos son el citrato de magnesio, que se forma por la reacción de carbonato de magnesio con ácido cítrico y se usa en medicina y en bebidas efervescentes; el hidróxido de magnesio, formado por la reacción de una sal de magnesio con hidróxido de sodio, y utilizado en medicina como laxante, "leche de magnesia", y en el refinado de azúcar; sulfato de magnesio, llamado sal de Epsom y el óxido de magnesio (MgO), llamado magnesia o magnesia calcinada, que se prepara calcinando magnesio con oxígeno o calentando carbonato de magnesio, y que se utiliza como material refractario y aislante, en cosméticos, como material de relleno en la fabricación de papel y como laxante antiácido suave.

Las aleaciones de magnesio presentan una gran resistencia a la tracción. Cuando el peso es un factor a considerar, el metal se utiliza aleado con aluminio o cobre en fundiciones para piezas de aviones; en miembros artificiales, aspiradoras e instrumentos ópticos, y en productos como esquíes, carretillas, cortadoras de césped y muebles para exterior. El metal sin alear se utiliza en flashes fotográficos, bombas incendiarias y señales luminosas, como

desoxidante en la fundición de metales y como afinador de vacío, una sustancia que consigue la evacuación final en los tubos de vacío.

WOLFRAMIO (tungsteno)

Es un elemento metálico con un punto de fusión más alto que cualquier otro metal. Es uno de los elementos de transición del sistema periódico. Su símbolo es el W y su número atómico es 74.

Características

El tungsteno puro es dúctil y de color blanco plateado; en su forma impura es más simple de obtener, y presenta un aspecto duro y frágil, de color gris acero. Su punto de fusión es de 3410 °C, su punto de ebullición es de 5660 °C, y su densidad relativa es 19.5. Su masa atómica es 183.85. La scheelita y la wolframita son las menas más importantes de tungsteno.

Aplicaciones del tungsteno

Los principales usos del tungsteno son los filamentos de las lámparas incandescentes, los alambres en hornos eléctricos y la producción de aleaciones de acero duras y resistentes. También se utiliza en la fabricación de bujías de encendido, contactos eléctricos, herramientas de corte y placas en tubos de rayos X.

COBALTO

Es un elemento metálico, magnético, de color blanco plateado, usado principalmente para obtener aleaciones. Su símbolo es el Co y su número atómico es 27.

Características

El cobalto tiene poca solidez y escasa ductilidad a temperatura normal, pero es dúctil a altas temperaturas. Tiene un punto de fusión de 1495 °C, y un punto de ebullición de 2870 °C, siendo su densidad de 8.9 g/cm³. La masa atómica del cobalto es 58.933. Tiene una vida media de 5.7 años y produce una intensa radiación gamma.

Aleaciones y aplicaciones del cobalto

Las aleaciones resistentes a la temperatura, llamadas superaleaciones, contienen cobalto y se emplean en la industria y en las turbinas de los aviones. Una aleación con acero llamada acero de cobalto se utiliza para fabricar imanes permanentes. Con el carburo de tungsteno el

cobalto forma el carbono y un material resistente usado para cortar y trabajar el acero; en aleación con el cromo, el cobalto produce la estelinita para usos similares al anterior. También se emplea en la industria de la cerámica y en el secado de pinturas, así como de catalizador.

1.3.3. ALEACIONES ESPECIALES

Se les da el nombre de aleaciones especiales, superaleaciones o aleaciones de alto desempeño debido a que muestran una mayor resistencia a altas temperaturas que las aleaciones convencionales.

Los aceros austeníticos de la serie H (HK, HP, y HP micro-aleado) se utilizan extensivamente en varias industrias para una amplia gama de usos en altas temperaturas. Los aceros inoxidables de la serie H se han desarrollado por muchos años empleando el método de ensayo y error.

A continuación se presentan las aleaciones relativamente nuevas que se utilizan comúnmente en la industria química con su descripción y el límite de temperatura de trabajo o de servicio.

ALEACIÓN	ASTM ESPECIFICACIÓN	MAXIMA TEMPERATURA DE TRABAJO	DESCRIPCIÓN
HC	A 297	2000 ° F 1090° C	Buena resistencia ante el azufre y oxidación; mínimas propiedades mecánicas.
HD	A 297	2000 ° F 1090° C	Excelente resistencia ante el azufre y oxidación, además de tener buena soldabilidad.
HE	A 297	2000 ° F 1090° C	Mayor resistencia a la temperatura y al azufre que el HD.
HF	A 297	1600 ° F 870° C	Excelente resistencia general a la corrosión a temperatura de 1000° F (815° C), con propiedades mecánicas moderadas.
HH	A 297	2000 ° F 1090° C	Buena resistencia mecánica y a la oxidación a temperaturas ente los 1400-1800° F (760°-980° C)
HI	A 297	2000 ° F 1090° C	Superior resistencia a la oxidación que el HH.
HK	A 297	2100 ° F 1150° C	Mejor resistencia mecánica/oxidación que el HH, rango de trabajo hasta 1900° F (1050° C)

Tabla 1.4. Aleaciones de las serie H.

ALEACIÓN	ASTM ESPECIFICACIÓN	MAXIMA TEMPERATURA DE TRABAJO	DESCRIPCIÓN
HL	A 297	1800 ° F 980° C	Mejor resistencia al azufre que el HK.
HN	A 297	2000 ° F 1090° C	Muy buena resistencia a altas temperaturas.
HP	A 297	2000 ° F 1090° C	Resistente a atmósferas oxidantes y carburizantes.
HT	A 297	2100 ° F 1150° C	Buena resistencia ante choque térmico/fatiga. Buena resistencia a la carburización.
HU	A 297	2100 ° F 1150° C	Mejor resistencia mecánica que el HT.
HW	A 297	1800 ° F 980° C	Mayores resistencias ante choque térmico, fatiga y carburización, con más níquel.
HX	A 297	2100 ° F 1150° C	Resistente a gases corrosivos calientes ante condiciones cíclicas, sin agrietarse ni enrollarse.

Tabla 1.4. (Continuación) Aleaciones de las serie H ⁽¹⁸⁾.

1.3.4. TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE METALES

El proceso básico para endurecer el acero mediante tratamiento térmico consiste en calentar el metal hasta una temperatura a la que se forma austenita, generalmente entre los 750 y 850°C, y después enfriarlo con rapidez sumergiéndolo en agua o aceite. Este tratamiento térmico de endurecimiento, como el temple, que forman martensita, crea grandes tensiones internas en el metal, que se eliminan mediante el revenido, que consiste en volver a calentar el acero hasta una temperatura menor. El revenido reduce la dureza y resistencia y aumenta la ductilidad y la tenacidad.

El objetivo fundamental del proceso de tratamiento térmico es controlar la cantidad, tamaño, forma y distribución de las partículas de cementita contenidas en la ferrita, que a su vez determinan las propiedades físicas del acero.

Hay muchas variaciones del proceso básico. Los ingenieros metalúrgicos han descubierto que el cambio de austenita a martensita se produce en la última fase del enfriamiento, y que la transformación se ve acompañada de un cambio de volumen que puede agrietar el metal si el enfriamiento es demasiado rápido.

Hay también otros métodos de tratamiento térmico para endurecer el acero. En la cementación, las superficies de las piezas de acero terminadas se endurecen al calentarlas con compuestos de carbono o nitrógeno. Estos compuestos reaccionan con el acero y aumentan su contenido de carbono o forman nitruros en su capa superficial.

La siguiente tabla muestra cuales son los tratamientos que inducen esfuerzos residuales en los materiales.

Acción térmica	Acción mecánica	Acción química
Tratamiento térmico <ul style="list-style-type: none"> ➤ Alivio de esfuerzos ➤ Recocido ➤ Endurecimiento ➤ revenido 	Maquinado, esmerilado y pulido.	Grabado al agua fuerte <ul style="list-style-type: none"> ➤ Corrosión
Tratamiento por difusión <ul style="list-style-type: none"> ➤ Carburización ➤ Carbonitruración ➤ Nitrocarburación ➤ Cianurización ➤ Nitruración ➤ Descarburización 	Tratamientos mecánicos de superficie <ul style="list-style-type: none"> ➤ Martilleo con chorro de perdigones ➤ Laminado superficial ➤ Golpeteo a martillo ➤ Balizado 	Maquinado químico
Fabricación con calor <ul style="list-style-type: none"> ➤ Soldadura ➤ Corte a la flama ➤ Formado en caliente ➤ Colado ➤ Ajuste por contracción 	Formado en frío <ul style="list-style-type: none"> ➤ Estirado ➤ Embutido ➤ Recalcado ➤ Doblado y enderezado ➤ Torsión ➤ Autoestregado 	Recubrimiento y electrodeposición de metales en superficies
Operación a temperaturas elevadas	Ajuste por interferencia	
Maquinado con descargas eléctricas	Sobrecargas en servicio	
	Esfuerzos explosivos	
	Esfuerzos cíclicos	
	Desgaste, rozadura, abolladura, escopleado y agrietamiento.	

Tabla 1.5. Tratamientos que inducen los esfuerzos residuales ⁽²⁾.

Tratamientos térmicos del acero

El efecto de los tratamientos térmicos en el acero puede ser verdaderamente grande. Una pieza de acero puede ser tan dura como para ser una herramienta de corte, y un sencillo tratamiento la volverá tan blanda que podrá ser mecanizada en la forma deseada.

Los aceros están compuestos por ciertas fases, las cuales a su vez tienen ciertas características distintas. La diferente proporción de estas fases determinará en mucho las propiedades del acero. El contenido de carbono y de otros elementos influyen sobre las propiedades del acero, esto quiere decir que estos elementos se meterán dentro de estas fases cambiando a su vez sus propiedades. La forma más simple de visualizar este hecho es a través de un diagrama de fases en equilibrio hierro-carbono.

El diagrama hierro-carbono solo tiene una zona de interés tecnológico que lo constituye la porción hierro-carburo de hierro. El carburo de hierro, conocido como cementita, es un compuesto Fe_3C con 6.67 % de carbono. Este es un diagrama metaestable, pues para fines prácticos se puede considerar que la cementita es una fase cuasiestable y técnicamente representa condiciones de equilibrio útiles para entender las transformaciones que se mencionan de los aceros.

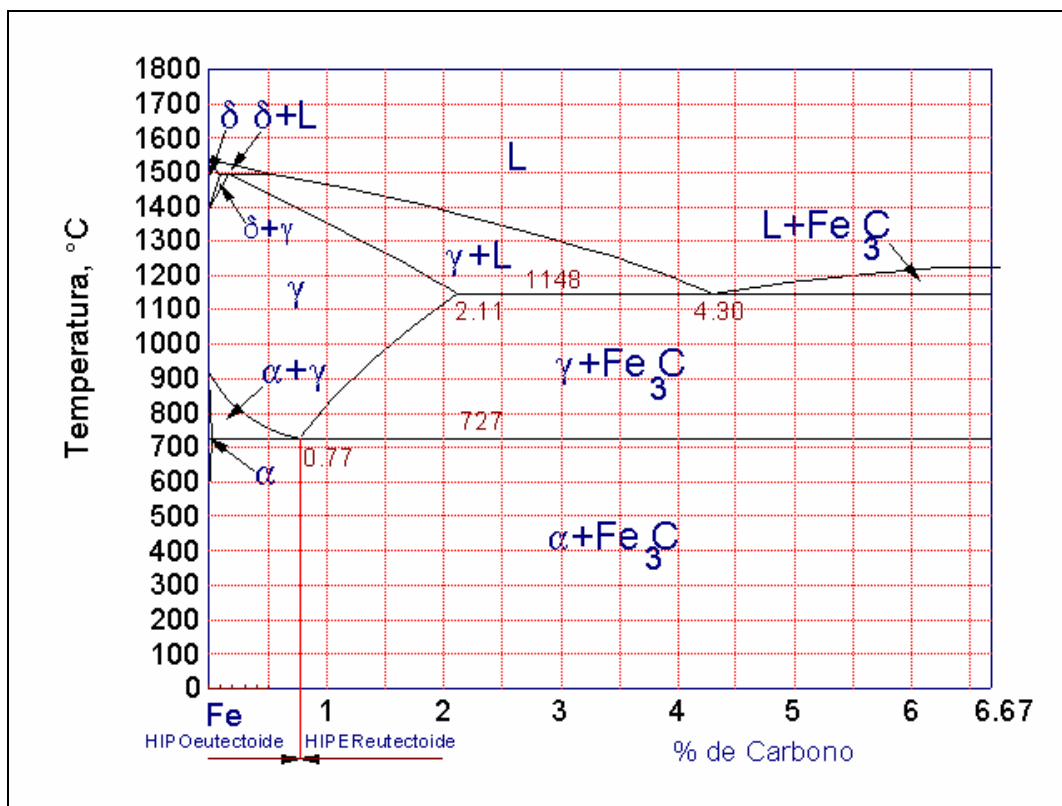


Figura 1.6. Diagrama de fases del acero (2).

Si se considera el contenido de carbono, es práctica común dividir este diagrama en dos partes: la de las fundiciones (entre aproximadamente 2 y 6.67 % de carbono) y la de los aceros (entre 0 y 2 % de carbono), véase la figura 1.6. Se pueden observar varias zonas

definidas dentro del diagrama. Se tienen varias soluciones sólidas. La solución sólida gamma (derivada de la fase gamma del hierro) se llama austenita y posee una estructura f.c.c., a alta temperatura se tiene la región de la solución sólida delta (derivada de la fase delta del hierro) con estructura f.c.c., mientras que a menor temperatura se tiene la región de la ferrita (derivada de la fase alfa del hierro) también con estructura f.c.c.

La transformación más importante en este diagrama, desde el punto de vista de su utilización técnica, lo constituye la transformación austenítica:



Esta transformación se verifica a 723°C, que es conocida como la temperatura eutectoide, y su control constituye un poderoso medio de determinar las propiedades mecánicas del acero adecuándolas al uso requerido. El control y aprovechamiento de esta transformación constituye una buena parte del campo de aplicación de los tratamientos térmicos.

La velocidad de enfriamiento determinará la microestructura final presente en el acero, decidirá si la fase presente es de naturaleza metaestable o estable o si es una fase fuera del equilibrio; y por tanto, determinará las propiedades mecánicas, físicas, químicas, etc. asociadas a las fases presentes.

Si esta transformación se realiza enfriando lentamente, se producirá la mezcla eutectoide conocida como perlita, formada por finas capas alternadas de cementita y ferrita. Cuanto más lentamente se realice esta transformación más gruesas serán estas capas y mayor será el tamaño de grano del acero (esto sucede en el tratamiento térmico conocido como recocido). Si el enfriamiento es menos lento se tendrá una perlita con capas más finas, como sucede en el normalizado. El acero recocido es más blando que el acero normalizado.

Si mediante un enfriamiento acelerado, desde la zona austenítica, se logra evitar la transformación eutectoide y se obtiene una fase fuera del equilibrio llamado martensita. Este nuevo componente microestructural posee alta dureza aunque con una cierta fragilidad. La martensita es una solución sólida sobresaturada de carbono atrapado en hierro alfa lo que lleva a una estructura tetragonal de cuerpo centrado derivada de la estructura b.c.c. El eje z de la celda cúbica es mayor debido a la inclusión de átomos de carbono. Esta fuerte alteración de la red es la responsable de la alta dureza de la martensita y también de su aspecto microestructural acicular.

La mayoría de los tratamientos térmicos consisten en una combinación de operaciones de calentamiento, y enfriamiento, con tiempos determinados, aplicados a un metal o aleación en el estado sólido, en una forma tal que producirá las propiedades deseadas. Por lo tanto el calentamiento, con el único fin de favorecer una deformación, no se incluye dentro de esta definición. El objeto de los tratamientos es mejorar las propiedades mecánicas o adaptarlas, dándole características especiales a las aplicaciones que se le van a dar a las piezas. De esta manera se obtiene un aumento de dureza y resistencia mecánica, así como mayor plasticidad o maquinabilidad para facilitar su conformación.

Todos los procedimientos de tratamientos térmicos de aceros, incluyen la transformación o descomposición de la austenita, por lo que el primer paso en cualquier proceso de tratamiento del acero será el calentar el material a alguna temperatura, que como mínimo sea la del intervalo crítico que lleva a la formación de la austenita.

Los factores fundamentales que influyen en el tratamiento térmico son la temperatura y el tiempo, tanto es así que el proceso del tratamiento se caracteriza por la temperatura de calentamiento máxima t_{max} , que es la temperatura hasta la cual se calienta el material durante el tratamiento, el tiempo que se mantiene a la temperatura de calentamiento, por las velocidades de calentamiento V_{cal} , y de enfriamiento V_{enfr} , las cuales se toman en su valor medio ponderado en todo el proceso, y este valor se hace extensivo a todo el intervalo de temperaturas deseado. Según sea esta velocidad de enfriamiento, dará una estructura cristalina diferente, y unas propiedades físicas y químicas diferentes, para cada acabado, (según lo comentado en la parte del diagrama de fases).

El tratamiento puede ser simple, complejo (varios calentamientos y enfriamientos), escalonado, intermitente, etc, pero todos ellos se pueden representar mediante una gráfica de la temperatura frente al tiempo.

Durante los tratamientos térmicos, los aceros sufren deformaciones importantes, debidas al desigual y rápido enfriamiento de las diferentes partes de las piezas; asimismo experimentan cambios de volumen, debidos a dilataciones térmicas (al calentarse el acero, este se dilata aumentando su volumen, a medida que se eleva su temperatura, según su coeficiente de dilatación térmica, que está en el orden de 14×10^{-6}) y a modificaciones en la microestructura del acero (al calentar un acero, la zona crítica se contrae, y luego al enfriarse

cuando llega aproximadamente sobre los 710°-680°, se vuelve a dilatar, esto se produce por los cambios de estructura, es decir, a la transformación de perlita en austenita en el calentamiento, y al contrario en el enfriamiento). Debido a estos cambios de volumen, hay que tener cuidado con los tratamientos elegidos, ya que cuando el enfriamiento es lento (recocido), estos cambios ocurren a alta temperatura y los cambios no son importantes, ya que el acero caliente es plástico y admite ciertas deformaciones, pero cuando se temple un acero, la transformación ocurre a baja temperatura y aparecen en la estructura cristalina, cristales de martensita en vez de perlita, entonces es más peligroso porque el acero frío no es plástico, y el aumento de volumen suele ser bastante mayor, además algunas veces este cambio de volumen solo lo sufren ciertas partes de las piezas y otras no, con lo que existe un riesgo de rotura mucho mayor.

Las variaciones de las propiedades del material que se producen como consecuencia de los tratamientos térmicos, deben de ser permanentes, para que se beneficien las características del acero por estos cambios, ya que si no es de esta manera, no tendría ningún sentido.

Los tratamientos térmicos se pueden clasificar en tres tipos, los cuales tienen ciertas semejanzas. En los tres se calienta el acero a una temperatura ligeramente superior a la crítica, y luego, después de un período de permanencia en esta temperatura, suficiente para conseguir el estado austenítico, se enfriarán las piezas. La diferencia fundamental entre los tres tratamientos es la velocidad de enfriamiento, que es lo que caracteriza a cada tratamiento, siendo así que las dos primeras partes (calentamiento y permanencia), se pueden estudiar en común para los tres tipos, que son:

- Recocido (de primer y segundo grado)
- Temple
- Revenido

En estos tratamientos hay que alcanzar una temperatura ligeramente más elevada que la crítica superior (excepto el recocido subcrítico), para conseguir que todo el acero pase al estado austenítico, este exceso de temperatura es de 50 a 70 grados por encima para el normalizado, 40 a 60 grados para el temple, y de 20 a 40 grados para el recocido.

Para conseguir que toda la masa del acero esté formada por cristales de austenita, hace falta que el acero esté a la temperatura de tratamiento cierto tiempo, que dependerá de la

masa de las piezas, de la temperatura, de la velocidad de calentamiento, de la clase de acero y del estado inicial y final del material. El tiempo de mantenimiento empieza cuando toda la pieza (incluyendo la parte del interior) ha alcanzado la misma temperatura, ya que al rebasar las temperaturas críticas, todo el carbono forma solución con la austenita y de está, unas partes pueden tener mas concentración de carbono que otras, y este porcentaje tiende a igualarse en toda la masa, proceso este que se puede ver retardado por las fronteras de grano, por impurezas de fósforo y oxígeno etc.

Cuando se alcanza la temperatura de austenización en los aceros hipoeutectoides, tiene que transcurrir un tiempo para que el carbono se difunda en las zonas que antes fueron ferríticas. El tiempo necesario para tener una estructura de austenita homogénea, también varía con la máxima temperatura alcanzada y con la forma de la microestructura inicial; cuanto mas alta sea la temperatura, menos tiempo será necesario para homogeneizar la microestructura.

La duración del calentamiento depende también de la clase tratamiento que se realice. En los normalizados se usaran permanencias mas cortas.

En los recocidos las permanencias serán más largas, ya que no solo hay que conseguir la formación del estado austenítico, sino también la difusión y homogeneización de los constituyentes.

En este tiempo de mantenimiento del acero a temperatura elevada, los cristales de austenita se desarrollan y aumentan de tamaño, y a mayor temperatura y mayor duración, mas se desarrollan y mas gruesos se hacen, y como el tamaño de los cristales del acero final depende del tamaño de los cristales de austenita, se obtiene un producto final de cristales gruesos. Por eso para afinar un acero de granos gruesos, basta con calentarlo a una temperatura lo mas justo por encima de la critica y luego enfriarlo al aire, siendo esto el recocido.

RECOCIDO

Se pueden distinguir dos tipos, de primer grado o subcrítico, que es el calentamiento de un metal dentro de una misma fase, sin cambio de la misma, y un posterior enfriamiento a una velocidad lenta. Con esto se consigue llevar al metal al estado estable, eliminando

tensiones residuales y dislocaciones de la red produciendo una recristalización. El segundo grado, en el que se produce un cambio de fase. El objetivo del recocido es ablandar el acero y regenerar su estructura, es la primera operación a realizar en un tratamiento térmico ya que subsana defectos de los procesos de fabricación del acero, como la colada, la forja, etc. y prepara el metal para las operaciones mecánicas siguientes como el mecanizado, extrusionado, etc.

Si no hay necesidad de cambiar la distribución del componente ferrítico, y el grano de la estructura inicial no es muy grueso, el calentamiento se producirá por debajo de la temperatura crítica de fusión, consiguiendo solo una recristalización del componente perlítico (recocido de austenización incompleta). Normalmente en los aceros hipereutectoides y algunos hipoeutectoides que se suelen recocer con austenización incompleta, no se cumple la condición de que todo el material esté en estado austenítico al comenzar el enfriamiento, con lo que se utilizan temperaturas entre la crítica inferior y la superior. En estos casos se produce una estructura globular (de perlita globular), ya que es la de distribución micrográfica mas uniforme, y la que después del temple da mayor tenacidad, y son mucho mas fáciles de mecanizar. Esta técnica se suele utilizar para los aceros de herramientas.

Los recocidos subcríticos (por debajo de la temperatura crítica inferior), se pueden dividir en tres clases, que son:

- Recocido de ablandamiento: sirve para ablandar el acero rápidamente, calentando el acero a una temperatura lo mas elevada posible, pero siempre inferior a la crítica, para dejarlo enfriar al aire.
- Recocido contra acritud: se realiza a temperaturas más bajas que las del ablandamiento (550-650°), y se consigue un aumento de la ductilidad de los aceros de bajo contenido en carbono, destruyendo la cristalización alargada de la ferrita y se crean cristales poliédricos más dúctiles.
- Recocido subcrítico globular: para conseguir una estructura globular similar a la de la austenización incompleta, se somete a los aceros a un calentamiento a temperaturas inferiores, pero próximas a la crítica inferior, enfriándose en el horno.

En el recocido de segundo grado o de austenización completa, se calienta el material por encima del punto crítico superior y se mantiene caliente hasta lograr una homogenización

del material, luego se enfría lentamente para conseguir que el acero quede blando. Cuanto mas lento sea el enfriamiento, mas blando será el acero. Si se aumenta la velocidad de enfriamiento al atravesar el acero la zona crítica, se aumenta la dureza, si esta velocidad sobrepasa la velocidad crítica, la austenita comienza a transformarse en otros constituyentes.

El acero se puede sacar del horno cuando ya los cristales de austenita se han transformado completamente en perlita blanda, este punto depende de la velocidad de enfriamiento, por ejemplo a una velocidad de 10 grados hora, el proceso de transformación ocurre sobre los 700 a 680 grados, y a 20 grados hora, la transformación ocurre a 680-650 grados.

TEMPLE

El temple es un tratamiento térmico que consiste en enfriar muy rápidamente la mezcla austenítica homogénea, que se tiene después de calentar el acero. Con este enfriamiento rápido se consigue un aumento de dureza, ya que el resultado microscópico final es una mezcla martensítica. La temperatura de temple para los aceros hipoeutectoides es de 300-500 grados. Por encima de esta temperatura, el grano de austenita crece mucho, obteniéndose austenita basta de baja tenacidad. El tiempo de enfriamiento debe de ser rápido, pero solo en el intervalo de temperatura de 650-400 grados, que es donde la austenita es menos estable, y es donde se forma la mezcla de ferrita y cementita, por encima de 650 grados la velocidad puede ser mas lenta, pero no tanto que permita la precipitación de ferrita o la transformación de austenita en perlita; por debajo de los 400 grados, comienza la zona de estabilidad de la austenita, y el enfriamiento puede volver a ser lento; y en el intervalo de 200-300 grados, el enfriamiento debe de ser lento para evitar tensiones térmicas resultantes de un enfriamiento rápido.

En los aceros hipereutectoides, el temple se suele realizar con calentamiento de austenización incompleta; en la masa original caliente hay austenita y una cantidad de cementita y carburos aleados. Después del enfriamiento se obtiene martensita y carburos, este proceso produce mejores resultados en la práctica industrial.

Factores que influyen en el temple de los aceros son la composición, el tamaño de grano, el tamaño de las piezas.

El estudio de las velocidades críticas del temple debe de hacerse con ayuda de las curvas de la "S" de enfriamiento continuo, las cuales reflejan la influencia de la composición sobre la velocidad de enfriamiento. Al aumentar el porcentaje de manganeso y cromo, las curvas se desplazan hacia la derecha y por tanto las velocidades críticas del temple disminuyen.

El tamaño de grano modifica la situación y forma de la curva "S". En aceros de la misma composición, las velocidades del temple de grano grueso son menores que las velocidades de grano fino. El tamaño, volumen y espesor de las piezas tienen gran importancia, ya que si se enfría una pieza grande, primero se enfría la superficie exterior rápidamente, pero las capas interiores tardan más, ya que el calor debe de atravesar las capas exteriores y estas capas tienen una conductividad limitada. Por lo tanto, perfiles delgados enfrían antes que los gruesos.

El medio de enfriamiento también influye, siendo este proceso por etapas. En la primera el acero al sumergirse en el líquido produce una capa de vapor, que rodea el metal, y el enfriamiento se hace por conducción y radiación a través de la capa gaseosa, siendo un enfriamiento muy lento.

En la segunda etapa, cuando desciende la temperatura de la superficie del metal, la película de vapor va desapareciendo, pero el líquido hierve alrededor de las piezas y se forman burbujas que transportan el vapor. En la tercera etapa el enfriamiento lo hace el líquido por conducción y convección, cuando la diferencia de temperatura del líquido y la pieza es pequeña, con lo que el líquido influye en la velocidad según su temperatura de ebullición, su conductividad térmica, su viscosidad, su calor específico y su calor de vaporización.

La templabilidad de un acero es una propiedad que determina la profundidad y distribución de la dureza alcanzada al producirse un enfriamiento desde la zona austenítica. La templabilidad del hierro aumenta si se añaden aleantes, con lo que a más carbono más templabilidad, sin embargo también aumenta el volumen.

Se considera que el temple de un acero es aceptable cuando la microestructura está formada por lo menos con un 50% de martensita, pero para conseguir las mejores

características mecánicas en el producto final, el porcentaje de martensita debe de estar entre el 50 y el 90 %.

La aleación en los aceros permite obtener durezas elevadas aun a bajas velocidades de enfriamiento, hay pequeñas cantidades de elementos aleados convenientemente seleccionados que ejercen más influencia en la templabilidad que un gran porcentaje de un solo elemento.

Si se realiza un temple mal, se pueden encontrar defectos en la pieza como una dureza insuficiente para propósitos específicos, que se hayan formados puntos blandos, piezas con mucha fragilidad, descarburación, grietas etc.

La dureza escasa y la formación de puntos blandos se explican por la falta de calentamiento, por no haber alcanzado la temperatura necesaria o por no haber permanecido el suficiente tiempo en ella.

La fragilidad excesiva es por un temple a temperaturas altas, por lo cual hay que extremar los cuidados a la hora de iniciar un proceso de temple, y realizarlo correctamente, ya que son muchos los factores que pueden echar a perder las piezas y que no sean validas para la función deseada.

Existe un proceso llamado temple superficial que se usa para endurecer superficialmente ciertas piezas de acero conservando la tenacidad de su núcleo. El proceso consiste en calentar las capas superficiales a una temperatura superior a los puntos críticos y enfriar rápidamente siguiendo la sección de la pieza. Como las diferentes capas interiores de la pieza se han calentado a diferentes temperaturas, se ha producido en la pieza diferentes temples. En la superficie el temple será completo, en el interior, incompleto y en el centro inexistente.

Hay diferentes métodos como el de calentamiento por llama oxiacetilénica, recomendado para piezas que por su forma o tamaño no se pueden aplicar otros métodos. La ventaja de este método es que se pueden templar incluso partes de una pieza. El método de inducción, que usa el flujo magnético creado por una corriente alterna de alta frecuencia que pasa por un inductor, la característica más importante de este método es que para cada forma de pieza se colocan unas espiras de una forma determinada, es el método más empleado ya que no se

quemado el carbono, no se produce oxidación, y no se forma cascarilla. El inconveniente principal es que no se puede utilizar para piezas únicas, ya que hay que crear un inductor específico para cada forma.

PROBLEMA	CAUSA
Ruptura durante el enfriamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Enfriamiento muy drástico • Retraso en el enfriamiento • Aceite contaminado • Mala selección del Acero
Baja dureza después del temple	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura de temple muy baja • Tiempo muy corto de mantenimiento • Temperatura muy alta o tiempos muy largos • Descarburación del Acero • Baja velocidad de enfriamiento • Mala selección del acero (templabilidad)
Deformación durante el temple	<ul style="list-style-type: none"> • Calentamiento disperejo • Enfriamiento en posición inadecuada • Diferencias de tamaño entre sección y continuas
Fragilidad excesiva	<ul style="list-style-type: none"> • Calentamiento a temperatura muy alta • Calentamiento irregular

Tabla 1.6. Problemas y causas que se presentan en el temple de los aceros ⁽²¹⁾.

REVENIDO

Después del temple, los aceros suelen quedar demasiado duros y frágiles para los usos a los que están destinados. Esto se corrige con el proceso del revenido, este proceso consiste en calentar el acero a una temperatura mas baja que su temperatura critica inferior, enfriándolo luego al aire, en aceite o en agua, con esto no se eliminan los efectos del temple, solo se modifican, se consigue disminuir la dureza, resistencia, y las tensiones internas, y se aumenta la tenacidad. El acero, después del temple, esta compuesto por cristales de martensita, si se vuelve a calentar a diferentes temperaturas, entre temperatura ambiente y 700° y después se enfría al aire, la resistencia a la tracción disminuye a medida que la del revenido aumenta, y al mismo tiempo aumenta la ductilidad y la tenacidad, la resistencia al choque o resiliencia, que es baja cuando el revenido se hace a temperatura inferiores a 450°, aumenta cuando se hace a temperatura más elevadas. En ciertos aceros en los que después del temple queda austenita residual, se presenta un aumento de dureza, cuando el revenido se hace entre 350° y 550°, transformándose la austenita en otros constituyentes. Los aceros después del revenido, por lo general se contraen.

Estas variaciones de propiedades que suceden en el revenido, se deben a los cambios microestructurales, que consisten en la descomposición de la martensita que se había obtenido en el temple y que se transforma en otros constituyentes más estables. La estructura obtenida en un revenido a 200-250° es de martensita de red cúbica, a 400° se observa un oscurecimiento fuerte, al aumentar a 600-650° se desarrolla la coalescencia de la cementita. Con ayuda del telescopio electrónico se ha podido llegar a la conclusión que el revenido se hace en tres etapas:

- La primera etapa se realiza a bajas temperaturas, menores de 300°, y se precipita carburo de hierro epsilon y el porcentaje de carbono en la martensita baja a 0.25%, el carburo de hierro cristaliza en el sistema hexagonal, en los límites de los subgranos de la austenita, y la martensita cambia su red tetragonal a red cúbica.
- En la segunda etapa, solo se presenta cuando hay austenita retenida en la microestructura del acero, la cual se transforma en bainita, que al ser calentada a altas temperaturas también precipita en carburo de hierro, con formación final de cementita y ferrita.
- En la tercera etapa, el carburo de hierro que apareció en la primera etapa, se transforma en cementita, cuando sube la temperatura se forma un precipitado de cementita en los límites y en el interior de las agujas de martensita, la cual al aumentar la temperatura se redisuelve la del interior y se engruesa la del exterior, al subir mas la temperatura se rompe la cementita exterior, y a 600° la matriz queda constituida por ferrita. Al final la martensita se ha transformado en cementita y ferrita.

En los revenidos la martensita obtenida al temple, va perdiendo carbono que aparece en forma de carburo epsilon y cementita.

Cuando después del temple aparece austenita residual, los cambios microestructurales cuando empieza a calentar, son iguales a los anteriores, pero a 225° comienza la descomposición de la austenita hasta los 400°, produciéndose un oscurecimiento de la estructura. Cuanto mas baja sea la temperatura del temple, la austenita residual será menos refractaria, y a mayor temperatura del temple será más difícil conseguir la transformación isotérmica de la austenita. Esta austenita sufre una precipitación de carburos complejos de alta aleación, y disminuye el contenido en carbono, después de esta precipitación y al enfriar, se transforma en bainita.

En el caso de herramientas fabricadas con aceros rápidos, se mejoran dando un doble revenido, con el que se eliminan las tensiones residuales y se evita la fragilidad excesiva. En el primer revenido se transforma la martensita tetragonal en revenida, precipitando carburos aleados, disminuyendo la concentración de austenita “ acondicionamiento de la austenita “, que al enfriar se convierte en bainita con características parecidas a la martensita, en el segundo revenido se calienta a 550°, con lo que se evita que quede martensita sin revenir.

En algunas clases de aceros, el revenido entre 250-400°, se presenta una disminución de la tenacidad, que se produce en la tercera fase del revenido, cuando la cementita envuelve las agujas de martensita, la fragilidad aumenta cuanto mayor es la red de cementita, y a temperaturas mayores esta red desaparece, y aumenta la fragilidad.

Para valorar la importancia de esta fragilidad se utiliza el coeficiente de susceptibilidad $S = \text{resiliencia de enfriamiento muy rápido} / \text{resiliencia de enfriamiento lento}$.

Los factores que influyen en la fragilidad del revenido, son la velocidad de enfriamiento (como hemos comentado antes), el tiempo de permanencia en el intervalo de temperatura crítica y la duración del revenido a temperaturas superiores a la zona de fragilidad.

OTROS MÉTODOS DE TRATAMIENTO TÉRMICO PARA ENDURECER EL ACERO

Normalizado: El normalizado se lleva a cabo al calentar a unos 35° por encima de la temperatura crítica superior, se mantiene un tiempo, y luego se enfría en aire estático hasta la temperatura ambiente. Con esto se consigue un acero más duro y resistente que el que se obtiene con un enfriamiento más lento en un horno después de un recocido. Este tratamiento se utiliza tanto para piezas fundidas, forjadas o mecanizadas, y sirve para afinar la estructura y eliminar las tensiones que suelen aparecer en la solidificación, forja etc. La velocidad de enfriamiento es más lenta que en el temple y más rápida que en el recocido. Es un tratamiento típico de los aceros al carbono de construcción de 0.15 a 0.40 % de carbono, y las temperaturas normales del normalizado varían según el porcentaje en carbono, que va desde 840° a 935°, según la composición sea desde 0.50 a 0.10 % de carbono.

Debido al incremento de velocidad de enfriamiento, hay menos tiempo para la formación de ferrita proeutectoide en los aceros hipoeutectoides y menos cementita proeutectoide en

los aceros hipereutectoides en comparación de los recocidos. En los aceros hipereutectoides, el normalizado reduce la continuidad de la red de cementita y en algunos casos la elimina, con lo que a mayor velocidad de enfriamiento, mas fina será la perlita resultante.

Cementación: las superficies de las piezas de acero terminadas se endurecen al calentarlas con compuestos de carbono o nitrógeno.

Carburización: la pieza se calienta manteniéndola rodeada de carbón vegetal, coque o gases de carbono.

Cianuración: se introduce el metal en un baño de sales de cianuro, logrando así que endurezca.

Nitruración: se emplea para endurecer aceros de composición especial mediante su calentamiento en amoníaco gaseoso.

1.4. POLÍMEROS

La palabra polímero literalmente significa <<muchas piezas>>. Puede considerarse que un material sólido polimérico está formado por muchas partes químicamente enlazadas como unidades enlazadas entre sí para formar un sólido. Los plásticos son un gran y variado grupo de materiales sintéticos que se procesan mediante el moldeo de la forma; se tienen muchos tipos de plásticos, como el polietileno y el nylon. Los plásticos pueden dividirse en dos clases, termoplásticos y termoestables, dependiendo de la estructura química de su enlace. Los elastómeros o cauchos pueden deformarse grandemente de forma elástica cuando se les aplica una fuerza y pueden volver a su forma original o casi original, cuando se elimina la fuerza.

Los polímeros se clasifican de varias formas: primero, según la manera en que las moléculas son sintetizadas; segundo, en función de su estructura molecular y tercero, por su familia química. Sin embargo, el método más usado para describir los polímeros es en función de su comportamiento mecánico y térmico.

Los polímeros termoplásticos se componen de largas cadenas producidas al unir moléculas pequeñas o monómeros y típicamente se comportan de una manera plástica y

dúctil. Al ser calentados a temperaturas elevadas, estos polímeros se ablandan y se conforman por flujo viscoso. Los polímeros termoplásticos se pueden reciclar con facilidad.

COMPORTAMIENTO	ESTRUCTURA GENERAL
Termoplástico	Cadenas lineales flexibles
Termoestable	Red rígida tridimensional
Elastómero	Cadenas lineales con enlaces cruzados

Tabla 1.7. Comparación de las tres clases principales de polímeros ⁽⁹⁾.

Los polímeros termoestables están compuestos por largas cadenas de moléculas con fuertes enlaces cruzados entre las cadenas para formar estructuras de redes tridimensionales. Estos polímeros generalmente son más resistentes, aunque más frágiles, que los termoplásticos. Los termoestables no tienen una temperatura de fusión fija y es difícil reprocesarlos una vez ocurrida la formación de enlaces cruzados.

Los elastómeros, incluyendo el caucho, tienen una estructura, en la cual se permite que ocurra una ligera formación de enlaces cruzados entre las cadenas. Los elastómeros tienen la capacidad de deformarse elásticamente en grandes cantidades sin cambiar de forma permanente.

Lo que distingue a los polímeros de los materiales constituidos por moléculas de tamaño normal son sus propiedades mecánicas. En general, los polímeros tienen una excelente resistencia mecánica debido a que las grandes cadenas poliméricas se atraen. Las fuerzas de atracción intermoleculares dependen de la composición química del polímero y pueden ser de varias clases.

Homopolímeros y copolímeros.

Los materiales como el polietileno (PE), el polícloruro de vinilo (PVC), el polipropileno y otros que contienen una sola unidad estructural, se llaman homopolímeros. Los homopolímeros, además, contienen cantidades menores de irregularidades en los extremos de la cadena o en ramificaciones. Por otro lado los copolímeros contienen varias unidades estructurales, como es el caso de algunos muy importantes en los que participa el estireno.

Estas combinaciones de monómeros se realizan para modificar las propiedades de los polímeros y lograr nuevas aplicaciones. Lo que se busca es que cada monómero imparta una

de sus propiedades al material final; así, por ejemplo, en el acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS), el acrilonitrilo aporta su resistencia química, el butadieno su flexibilidad y el estireno imparte al material la rigidez que requiera la aplicación particular. Evidentemente al variar las proporciones de los monómeros, las propiedades de los copolímeros van variando también, de manera que el proceso de copolimerización permite hasta cierto punto fabricar polímeros a la medida. No solo cambian las propiedades al variar las proporciones de los monómeros, sino también al variar su posición dentro de las cadenas.

Las mezclas físicas de polímeros, que no llevan uniones permanentes entre ellos, también contribuyen a la enorme versatilidad de los materiales poliméricos. Son el equivalente a las aleaciones metálicas.

En ocasiones se mezclan para mejorar alguna propiedad, aunque generalmente a expensas de otra. Por ejemplo, el óxido de polifenilo tiene excelente resistencia térmica pero es muy difícil procesarlo. El poliestireno tiene justamente las propiedades contrarias, de manera que al mezclarlos se gana en facilidad de procedimiento, aunque resulte un material que no resistirá temperaturas muy altas. Sin embargo en este caso hay un efecto sinérgico, en el sentido en que la resistencia mecánica es mejor en algunos aspectos que a la de cualquiera de los dos polímeros. Esto no es frecuente, porque puede ocurrir únicamente cuando existe perfecta compatibilidad ente los dos polímeros y por regla general no la hay, así que en la mayoría de los casos debe agregarse un tercer ingrediente para compatibilizar la mezcla. Lo que se emplea casi siempre es un copolímero injertado, o uno de bloque que contenga unidades estructurales de los dos polímeros. Otras veces se mezcla simplemente para reducir el costo de material. En otros casos, pequeñas cantidades de un polímero de alta calidad pueden mejorar la del otro, al grado de permitir una nueva aplicación.

Cristalinidad

En algunos polímeros ocurre que, debido a la atracción química que unas partes de la cadena ejercen sobre otras, la macromolécula se pliega sobre sí misma en zigzag, produciéndose dentro de la masa del polímero sólido regiones cristalinas en forma de láminas, intrínsecamente mezcladas con zonas amorfas. La cristalinidad se manifiesta como:

- **Ligero aumento de densidad** respecto del mismo polímero en estado completamente amorfo; la mejor ordenación hace que para la misma masa ocupe menor volumen. Esta

propiedad sirve para evaluar el porcentaje de cristalinidad, que se define como la fracción en peso de parte cristalina.

- **Los polímeros policristalinos no son transparentes.** Al igual que la nieve, los cristales se orientan en todas direcciones, con un índice de refracción diferente en las zonas amorfas adyacentes. Se producen reflexiones múltiples de la radiación luminosa incidente hacia cualquier dirección, lo que hace que el sólido parezca blanco; salvo que se produzca absorción preferencial de una frecuencia luminosa. Sólo tendrían transparencia en el caso singular de cristales de pequeño tamaño, inferior a la longitud de onda luminosa.
- **Resistencia química a los disolventes,** incluso a aquellos que presentan similar parámetro de solubilidad. Las moléculas de disolvente, que penetraban por los huecos de las zonas amorfas, no encuentran acceso en las zonas cristalinas.
- **Temperatura de fusión definida.** La red cristalina impone distancias uniformes entre cadenas que se desmoronan por agitación cinética a la misma temperatura, a diferencia del estado amorfo, en el que se experimenta un reblandecimiento progresivo. Esta transición brusca de sólido a líquido es buena desde el punto de vista del procesado. La solidificación irá acompañada de una alta contracción volumétrica, aspecto negativo para el acabado superficial de la pieza.
- **Aumento espectacular de las propiedades mecánicas tras estiramiento.** Si la masa de polímero fundido se hace pasar por unas hileras, y en estado semi-sólido (a temperatura inferior a la de fusión, para que se hayan formado los cristales, pero superior a la de transición vítrea, para permitir movimientos conformacionales en las zonas amorfas), se ve sometido a tensión, se produce un estiramiento de la fibra, forzando una orientación preferente en los cristales de la misma. El módulo elástico en sentido axial se ve inmediatamente mejorado.

Debido a la existencia de zonas cristalinas entremezcladas con zonas amorfas, los polímeros semicristalinos se comportan como un micromaterial compuesto, lo que le confiere una alta tenacidad y resistencia mecánica.

Además hay ciertos factores que influyen en la cristalinidad de un polímero y estos son:

- Simetría de la cadena. El polietileno y el Politetrafluoroetileno (Teflón) son ejemplos de polímeros altamente cristalinos. Los grupos laterales voluminosos dificultan la ordenación.
- Intensidad de la atracción entre cadenas. Fuertes enlaces secundarios, regularmente distanciados, favorecen la cristalinidad.
- Flexibilidad de la cadena principal. A menor flexibilidad, como por ejemplo con anillos bencénicos en la cadena principal, se aumenta extraordinariamente la tendencia a la cristalinidad.
- La velocidad de enfriamiento influye en el porcentaje de cristalinidad alcanzado por el sólido, a menor velocidad de enfriamiento, mayor porcentaje de cristalinidad.

Los polímeros generalmente son amorfos o semicristalinos. Existen polímeros cristalinos, pero son muy raros y como se explicó anteriormente, un polímero cristalino tiene mayor densidad que un semicristalino, y éste a su vez que un amorfo.

En 1956 se descubrió la síntesis por adición con catalizadores Ziegler-Natta; el polímero crece como un pelo, anclado en la superficie del catalizador, a donde llega el monómero por difusión. De esta forma, el monómero se coloca de una forma precisa respecto del anterior en la cadena; y esta regularidad posicional permitirá que polímeros no simétricos puedan cristalizar.

Buscando fuertes enlaces secundarios, como los puentes de hidrógeno, se refuerza la tendencia a la cristalización. El mismo concepto opera en las fibras de Nylon, o poliamidas alifáticas. Espaciando regularmente grupos amida se consigue mayor cristalinidad que con el polietileno simple.

Para conseguir una mayor ordenación todavía, se puede buscar una estructura rígida para la cadena principal, eliminando la posibilidad de rotación del espacio del enlace C-C.

Las fibras de Kevlar presentan una de las relaciones resistencia mecánica/peso más altas, entre todos los materiales conocidos. Este material se descompone antes de fundir, lo que hace que no pueda procesarse como un termoplástico convencional.

1.4.1. TERMOPLÁSTICOS. Características y propiedades mecánicas

Los materiales termoplásticos son polímeros lineales, que pueden ser ramificados o no y puesto que no se encuentran entrecruzados, son polímeros solubles en algunos disolventes orgánicos, son capaces de fundir y son reciclables. Los termoplásticos más usados como PE, polipropileno, poliestireno y PVC se fabrican y emplean en cantidades muy grandes, si se comparan con los plásticos restantes. Más de la mitad de la cifra total procesada corresponde a los cuatro plásticos citados.

Para que un polímero tenga aplicación como termoplástico debe tener una temperatura de transición vítrea T_g (si se trata de un material amorfo), o una temperatura de fusión T_m (si se trata de un material cristalino), superior a la temperatura ambiente. Por lo general los materiales termoplásticos presentan un buen conjunto de propiedades mecánicas, son fáciles de procesar, reciclables y bastante económicos.

Su principal desventaja deriva del hecho de que son materiales que funden, de modo que no tienen aplicaciones a elevadas temperaturas puesto que comienzan a reblandecer por encima de la T_g , con la consiguiente pérdida de propiedades mecánicas. Poseen cadenas lineales y flexibles y además pueden tener ramificaciones:



Figura 1.7. Representación de la molécula de un termoplástico.

Dentro de los materiales termoplásticos, los más comúnmente usados son:

ABS (acrilonitrilo-butadieno-estireno): Muy tenaz, pero duro y rígido; resistencia química aceptable; baja absorción de agua, por lo tanto buena estabilidad dimensional; alta resistencia a la abrasión; se recubre con una capa metálica con facilidad.

Acetal: Muy fuerte, plástico rígido usado en ingeniería con estabilidad dimensional excepcional, alta resistencia a la deformación plástica y a la fatiga por vibración; bajo coeficiente de fricción; alta resistencia a la abrasión y a los productos químicos; conserva la mayoría de sus propiedades cuando se sumerge en agua caliente; baja tendencia a agrietarse por esfuerzo.

Acrílico: Alta claridad óptica; excelente resistencia a la intemperie en exteriores; duro, superficie brillante; excelentes propiedades eléctricas, resistencia química aceptable; disponible en colores brillantes transparentes.

Celulósicos: Familia de materiales tenaces y duros; acetato, propionato, butirato de celulosa y etil celulosa. Los márgenes de las propiedades son amplios debido a las composiciones; disponible con diversos grados de resistencia a la intemperie, humedad y productos químicos; estabilidad dimensional de aceptable a mala; colores brillantes.

Fluoroplásticos: Gran familia de materiales caracterizados por excelente resistencia eléctrica y química, baja fricción y estabilidad sobresaliente a altas temperaturas; la resistencia es de baja a moderada; su costo es alto.

Nylon (poliamida): Familia de resinas usadas en ingeniería que tienen tenacidad y resistencia sobresalientes al desgaste, bajo coeficiente de fricción y propiedades eléctricas y resistencia química excelentes. Las resinas son higroscópicas; su estabilidad dimensional es peor que la de la mayoría de otros plásticos usados en ingeniería.

Óxido Fenileno: Excelente estabilidad dimensional (muy baja absorción de humedad); con propiedades mecánicas y eléctricas superiores sobre un amplio margen de temperaturas. Resiste la mayoría de los productos químicos, pero es atacado por algunos hidrocarburos.

Policarbonato: Tiene la más alta resistencia al impacto de los materiales transparentes rígidos; estabilidad en exteriores y resistencia a la deformación plástica bajo carga excelentes; resistencia a los productos químicos aceptable; algunos solventes aromáticos pueden causar agrietamiento al esfuerzo.

Poliéster: Estabilidad dimensional, propiedades eléctricas, tenacidad y resistencia química excelentes, excepto a los ácidos fuertes o bases; sensible al ranurado; no es adecuado para uso en exteriores o en instalaciones para agua caliente; también disponible en los termo fraguantes.

Polietileno: Amplia variedad de grados: compuestos con densidad baja, mediana y alta. Los tipos BD son flexibles y tenaces. Los tipos MD y AD son más fuertes, más duros y más rígidos; todos son materiales de peso ligero, fáciles de procesar y de bajo costo; poca estabilidad dimensional y mala resistencia al calor; resistencia química y propiedades eléctricas excelentes. También se encuentra en el mercado polietileno de peso molecular ultra-alto.

Poliamida: Gran resistencia al calor (500°F continuos, 900°F intermitente) y al envejecimiento por el calor. Resistencia al impacto y resistencia al desgaste altas; bajo coeficiente de expansión térmica; excelentes propiedades eléctricas; difícil de procesar por los métodos convencionales; alto costo.

Sulfuro de polifenileno: Resistencia sobresaliente química y térmica (450°F continuos); excelente resistencia a baja temperatura; inerte a la mayoría de los compuestos químicos en un amplio rango de temperaturas; inherentemente de lenta combustión requiere alta temperatura para su proceso.

Polipropileno: Resistencia sobresaliente a la flexión y al agrietamiento por esfuerzo; resistencia química y propiedades eléctricas excelentes; buena resistencia al impacto arriba de 15°F; buena estabilidad térmica; peso ligero, bajo costo, puede aplicársele una capa galvanoplástica.

Poliestireno: Bajo costo, fácil de procesar, material rígido, claro, quebradizo como el cristal; baja absorción de humedad, baja resistencia al calor, mala estabilidad en exteriores; con frecuencia se modifica para mejorar la resistencia al calor o al impacto.

Polisulfona: La más alta temperatura para la deflexión por calor entre los termoplásticos que se procesan por fusión; requiere alta temperatura de proceso; tenaz (pero sensible al

ranurado), fuerte y rígido; propiedades eléctricas y estabilidad dimensional excelentes, a una alta temperatura puede aplicársele una capa galvanoplástica; alto costo.

Poliuretano: Material tenaz, de extrema resistencia a la abrasión y al impacto; propiedades eléctricas y resistencia química buenas; puede obtenerse en películas, modelos sólidos o espumas flexibles; la exposición a la radiación ultravioleta produce fragilidad, propiedades de menor calidad y color amarillo; también hay poliuretanos termofraguantes.

Cloruro de polivinilo: Muchos tipos disponibles; los rígidos son duros, tenaces y tienen excelentes propiedades eléctricas, estabilidad en exteriores y resistencia a la humedad y a los productos químicos; los flexibles son fáciles de procesar, pero tienen propiedades de menor calidad; la resistencia al calor va de baja a moderada para la mayoría de los tipos de PVC; bajo costo.

1.4.2. TERMOESTABLES. Características y propiedades mecánicas

Los plásticos termoestables son materiales que adquieren un estado final reticulado (entrecruzado), que hace que el material sea insoluble e incapaz de fundir otra vez. A partir de materias primas de bajo peso molecular se forma, en una primera fase, un producto intermedio (prepolímero), de peso molecular intermedio, no reticulado o muy poco y por tanto todavía capaz de fundir (y por tanto de rellenar un molde).

La reticulación espacial que da lugar a la formación de la macromolécula termoestable tiene lugar por reacción química (curado) durante el moldeo de la pieza, es decir, durante el proceso de transformación. Puesto que no funden y no reblandecen son materiales que presentan muy buenas propiedades a elevadas temperaturas. Junto con su alta resistencia térmica presentan alta resistencia química, rigidez, dureza superficial, buena estabilidad dimensional, etc.

Sus cadenas forman una red tridimensional, parecida a una malla. A continuación se presenta la figura 1.8. que representa a un polímero termoestable.

Sin embargo el empleo de estos materiales ha ido disminuyendo en los últimos años. Existen numerosas razones por las que ha ocurrido esto. Los termoestables requieren métodos de transformación lentos, puesto que la reacción de polimerización tiene lugar

durante la transformación. Los acabados son pobres comparados con los de la mayoría de los termoplásticos; por lo general las resinas termoplásticas son bastantes opacas y en muchos casos presentan cierta coloración amarillenta.

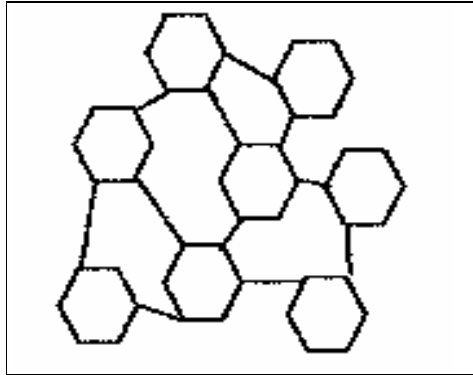


Figura 1.8. Representación de la molécula de un termoestable.

Los ejemplos más corrientes de estos materiales son los poliuretanos reticulados (PUR), las resinas de fenol-formaldehído (fenoplastos) y las resinas de amina-formaldehído (aminoplastos). A continuación se exponen algunos de estos materiales.

Alquídicos: Propiedades eléctricas y resistencia al calor excelentes; más fáciles y rápidos de moldear que la mayoría de los termoestables; no son productos volátiles.

Alilos (dialilftalatos): Estabilidad dimensional y propiedades eléctricas sobresalientes; fáciles de moldear, excelente resistencia a la humedad y a los productos químicos a temperaturas altas.

Amino (urea, melamina): Resistencia a la abrasión y a astillamiento, buena resistencia a los disolventes; la urea se moldea con mayor rapidez y cuesta menos que la melamina; la melamina tiene una superficie más dura y más alta resistencia al calor y a los productos químicos.

Resinas epóxicas: Resistencia mecánica excepcional, sus propiedades eléctricas y de adhesión superan a la mayoría de los materiales; baja contracción durante el moldeo; algunas fórmulas pueden curarse sin calor o presión.

Fenólicas: Material de bajo costo con buen equilibrio de las propiedades mecánicas, eléctricas y térmicas; limitadas a colores negro y café.

Poliéster: Excelente equilibrio de propiedades, colores ilimitados; transparentes u opacos; no libera volátiles durante el curado, pero la contracción en el moldeo es alta; se pueden usar moldes de bajo costo sin calor o presión; utilizado ampliamente con refuerzo de vidrio para producir componentes “de fibra de vidrio”; también hay poliéster termoplástico.

Poliuretano: Puede ser flexible o rígido, dependiendo de la fórmula; presentan excepcional tenacidad y resistencia a la abrasión y al impacto; particularmente adecuado para piezas grandes hechas de espuma, ya sea en tipos rígidos o flexibles; también se produce con fórmulas termoplásticas.

Siliconas: Resistencia al calor (desde -100°F a 500°F), propiedades eléctricas y compatibilidad con los tejidos del cuerpo sobresalientes; su curado es mediante una variedad de mecanismos; alto costo; disponible en muchas formas: resinas para laminados, resinas para moldeo, revestimientos, vaciados o resinas vertidas y selladores.

1.4.3. ELASTÓMEROS. Características y propiedades mecánicas

Son polímeros con macromoléculas de naturaleza lineal, de gran longitud (más de 10.000 monómeros), por lo que las “fibras” llegan con frecuencia a anudarse entre sí. A diferencia de los termoplásticos, en los elastómeros existen ocasionales enlaces covalentes entre las macromoléculas (aproximadamente un enlace cada 500 monómeros). También esta peculiaridad los distingue de las resinas termorrígidas.

Los elastómeros, incluyendo el caucho, tienen una estructura intermedia, en la cual se permite que ocurra una ligera formación de enlaces cruzados entre las cadenas, ya que sus cadenas son lineales pero poseen enlaces entrecruzados entre ellas. Los elastómeros tienen la capacidad de deformarse elásticamente en grandes cantidades sin cambiar de forma permanente. A continuación se presenta en la figura 1.8. una molécula que representa a un polímero termoestable.

Esos ocasionales enlaces transversales, por su naturaleza covalente, no desaparecen por encima de la temperatura de transición vítrea (T_g). Por ello estos enlaces, junto con los nudos

producidos por enmarañamiento entre las largas macromoléculas, dotan a estos materiales, a temperaturas superiores a T_g , de una cierta capacidad de memoria que les permite volver a su forma original –al modo de las gomas– tras deformaciones elásticas, incluso del orden de 300%, producidas al aplicar una tensión.

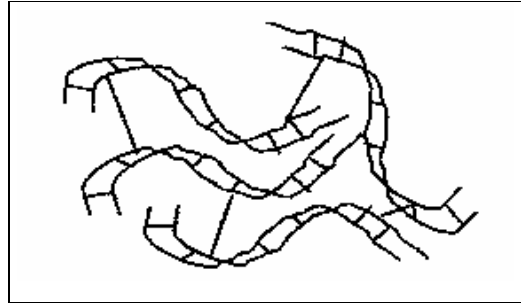


Figura 1.8. Representación de la molécula de un elastómero.

El comportamiento elastoplástico de los elastómeros, que también se da parcialmente por “anudamiento” en los termoplásticos con alto grado de polimerización, se debe fundamentalmente a sus ocasionales enlaces covalentes entre macromoléculas. Como es lógico, si estos enlaces fueran muy frecuentes, podrían llegar a formarse retículos tridimensionales y, desapareciendo el carácter elastomérico, el polímero se comportaría como un termoestable.

Entre los elastómeros, ocupa un lugar señalado el polisopreno $\{-\text{CH}_2\text{-CH}=\text{C}(\text{CH}_3)\text{-CH}_2-\}_n$ que se logra por polimerización del isopreno (una diolefina de enlace conjugado, $\{\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{C}(\text{CH}_3)=\text{CH}_2\}$, constituyente del caucho natural y también presente como subproducto en el petróleo). Su T_G es aproximadamente 18°C . Por eso se comporta como elastómero a temperaturas superiores a la ambiental y a temperaturas bajas se comporta como un material frágil.

Otros elastómeros empleados abundantemente, son el polibutadieno $(-\text{H}_2\text{C}-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2)_n$ y el policloropreno o neopreno, $\{-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CCl}-\text{CH}_2-\}_n$. Tienen propiedades parecidas al caucho natural. Lo mismo sucede si sus monómeros –butadieno ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$) y el cloropreno ($\text{CH}_2=\text{CCl}-\text{CH}=\text{CH}_2$)– se copolimerizan con otras sustancias. Se emplean para mangueras, juntas estancas de dilatación, correas, transmisores, etc.

APLICACIONES DE LOS PLÁSTICOS

Hasta el momento se ha hecho un esbozo general acerca de las principales propiedades y características de los materiales plásticos. A continuación se desglosan en la tabla 1.9. y a manera de resumen las principales aplicaciones de los materiales plásticos.

Aplicación	Termoplásticos													Termoestables						
	ABS	Acetales	Acrílicos	celulósicos	Fluoroplásticos	Nylon	Oxidos de fenileno	Policarbonatos	poliésteres	Poliétilenos	poliamidas	Sulfuros de polifenileno	polipropileno	poliestireno	Polisulfonados	Poliuretanos	Cloruros de polivinililo	fenólicos	Poliésteres	Poliuretanos
Estructuras, engranajes, levas, pistones, rodillos, válvulas, impulsores de agua, hojas de ventiladores, rotores, agitadores de máquinas lavadoras.		X				X	X	X				X					X			
Servicio mecánico ligero y decorativo. Perillas, manillas, estuches de cámara, conexiones de tubería, cajas de batería, volantes de dirección automotriz, monturas de anteojos, mangos de herramientas.	X		X	X					X				X	X			X			
Pequeñas cubiertas protectoras y formas huecas. Cajas de linternas y teléfonos, cascos, Carcazas para de herramientas de potencia, bombas, pequeños aparatos domésticos,	X			X		X	X	X	X				X	X			X	X		
Grandes cubiertas protectoras y formas huecas. Cascos de lanchas, carcazas de artefactos domésticos grandes, tanques, tinas, conductos, revestimientos de refrigeradores.	Espuma					Espuma		Espuma	Espuma	Espuma			Espuma	Espuma		Espuma		Relleno con vidrio		Espuma
Partes ópticas y transparentes. Anteojos de seguridad, lentes, vidrieras de seguridad y resistente al vandalismo, vehículos para nieve, parabrisas, anuncios, estantería para refrigeradores.			X	X			X							X	X					
Piezas para uso desgastador, engranajes, bujes, cojinetes, bandas de rodamiento, revestimientos de canalones, ruedas de patines, cintas antifricción para el desgaste		X			X	X			X			X				X		X		

Tabla 1.9. Principales aplicaciones de los termoplásticos y de los termoestables ⁽²³⁾.

1.5. MATERIALES CERÁMICOS

Las cerámicas y los vidrios representan algunos de los materiales para ingeniería más antiguos y durables ante el ambiente. También son los materiales que han desarrollado avances para la industria aeroespacial y electrónica.

Son compuestos químicos o soluciones complejas, que contienen elementos metálicos y no metálicos. Por ejemplo la alúmina (Al_2O_3) es un cerámico que tiene átomos metálicos (aluminio) y no metálico (oxígeno). Los materiales cerámicos tienen una amplia gama de propiedades mecánicas y físicas. Debido a sus enlaces iónicos o covalentes, los materiales cerámicos por lo general son duros, frágiles, con un alto punto de fusión, tiene baja conductividad eléctrica y térmica, buena estabilidad química y térmica y elevada resistencia a la compresión. Aunque la mayoría de los productos cerámicos son buenos aislantes eléctricos y térmicos, el carburo de silicio (SiC) y el nitruro de aluminio (AlN) tienen conductividad térmica parecida a las de los metales. Los productos cerámicos como el FeO y el ZnO , son semiconductores y, además, han sido descubiertos materiales superconductores.

Una tecnología moderna de rápido crecimiento es la de los materiales cerámicos avanzados, también llamados materiales cerámicos estructurales. Estos fueron utilizados por primera vez en 1971 para aplicaciones a alta temperatura en tuberías de gas que funcionaban a 2506°C . En la fabricación de estas piezas se utilizaron nitruro de silicio y carburo de silicio.

La materia base para la fabricación de los productos cerámicos es la arcilla en sus múltiples variedades; ésta, al amasarla con agua, adquiere características de plasticidad y por ello puede adoptar la forma deseada. Los tipos de arcilla y su preparación son los siguientes:

Arcilla común: sustancia mineral plástica compuesta principalmente de silicatos de aluminio hidratados. Tierra molida muy finamente, siendo plástica cuando está mojada y volviéndose dura y sin plasticidad cuando se seca y cuece. Roca sedimentaria formada por caolín mezclado con detritus de otros minerales. Existen arcillas plásticas y arcillas incapaces de empastarse con agua.

Caolín: hidrosilicato de aluminio. Arcilla blanca. Muy pura empleada como ingrediente básico en la porcelana.

Feldespato: silicato de aluminio y una base (potasio, calcio, sodio o raramente bario), empleado en las pastas cerámicas como una de las fuentes importantes de fundentes insolubles de álcali.

Los materiales cerámicos de arcilla utilizados en la construcción se clasifican en ladrillos para pared, para pavimentación (suelos) y para cubiertas. Los materiales de ingeniería se pueden dividir en tres categorías principales: cerámicas cristalinas, vidrios y cerámicas de vidrio. Los cerámicos incluyen los silicatos tradicionales y los muchos compuestos de óxidos y sin óxidos ampliamente usados tanto en la tecnología tradicional como en la avanzada, las arcillas y refractarios son parte de este grupo.

- **Arcillas:** Las arcillas comunes se utilizan en la fabricación de ladrillos para la construcción de edificios y ladrillos refractarios. Estas arcillas comunes están formadas por alúmina y sílice en diversa proporciones, con la presencia de otras impurezas, tales como óxido férrico (el cual le da color rojo), óxido de manganeso, potasa, magnesio y cal. El caolín (arcilla blanca formada principalmente por alúmina y sílice) se utiliza para fabricar utensilios de barro, de porcelana fina, de otras porcelanas, de productos de papel y de ladrillos refractarios.
- **Refractarios:** Un material refractario puede soportar altas temperaturas sin desintegrarse (astillarse o fundirse). El ladrillo refractario que se utiliza en los hornos es un ejemplo muy común, y sin los refractarios, no sería posible la moderna industria del acero. Los materiales refractarios pueden colocarse o conformarse como ladrillos, lo cual se hace cuando se utiliza arcilla refractaria u otro material como mortero para unir los ladrillos refractarios. El grafito es un material refractario excelente ya que no puede astillarse (o sea, no se pueden separar pedazos por el choque térmico) debido a su alta conductividad térmica. La mayoría de los refractarios tales como los ladrillos refractarios pueden soportar temperaturas levemente mayores a 1647 °C antes de desintegrarse. El grafito tiende a oxidarse en presencia de aire y puede utilizarse hasta 3316 °C. El carburo de silicio abrasivo también puede utilizarse como refractario para altas temperaturas, pero es bastante caro para utilizarse en este sentido. Los ladrillos refractarios que contienen grandes cantidades de óxido de cromo se conocen como refractarios de cromita y son muy apropiados para usarlos a altas temperaturas en hornos de fusión de acero. El ladrillo de magnesita, compuesto predominantemente por óxido de magnesio, se usa también con este propósito. Los ladrillos refractarios aislantes se fabrican con arcilla refractaria común, pero para darles porosidad, la arcilla se combina con aserrín o con coque, material que se quema cuando el ladrillo se calcina.

1.5.1. LAS ESTRUCTURAS DE LOS MATERIALES CERAMICOS

Estructuras de los cerámicos cristalinos

Existen dos características que tienen los materiales cerámicos cristalinos que determinan si poseen estructura cristalina: el valor de la carga eléctrica de los iones componentes y los tamaños relativos de los cationes y aniones. El cristal debe ser eléctricamente neutro, o sea todas las cargas positivas de los cationes deben ser equilibradas por un número igual de cargas negativas de los aniones.

Los tamaños de los radios iónicos de los cationes y aniones, r_c y r_A respectivamente. Puesto que los elementos metálicos proporcionan electrones al ser ionizados, los cationes son generalmente menores que los aniones, por tanto el cociente r_c / r_A es menor que la unidad.

Las estructuras estables de los materiales cerámicos se forman cuando los aniones que rodean un catión están todos en contacto con el catión tal como se ilustra en la figura 1.10.

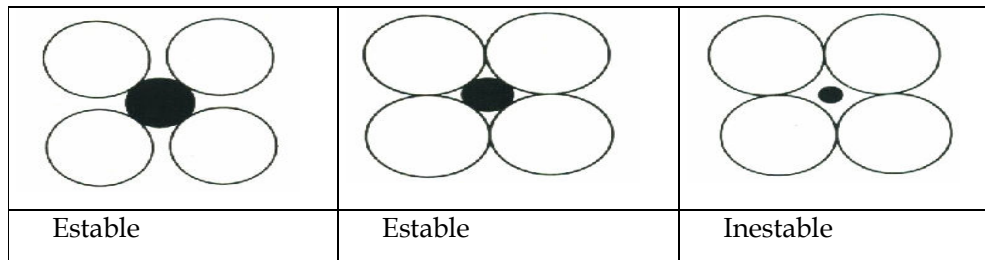


Figura 1.10. Configuraciones estables e inestables de la coordinación entre aniones y cationes de los materiales cerámicos.

1.5.2. IMPERFECCIONES EN LAS ESTRUCTURAS CERAMICAS

Impurezas en cerámicas

Puesto que hay tanto cationes como aniones, una impureza sustituirá al átomo disolvente que sea más similar en comportamiento eléctrico; si el átomo de impureza forma normalmente un catión en un material cerámico, lo más probable es que sustituya al catión disolvente. Por ejemplo, en el cloruro sódico, las impurezas iónicas Ca^{2+} y O^{2-} sustituirán probablemente a los iones Na^+ y Cl^- , respectivamente.

Para que en el estado sólido haya una solubilidad apreciable de los átomos de impurezas sustitucionales, los tamaños iónicos o la carga deben ser casi iguales a los de los iones disolventes.

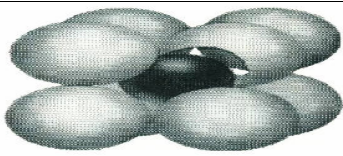
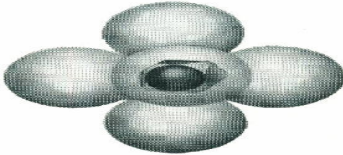
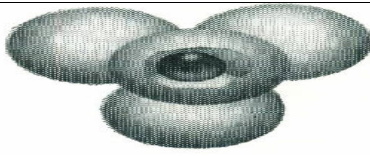
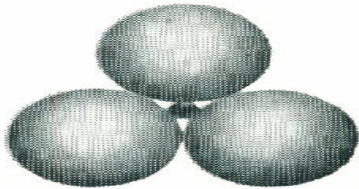

Numero de coordinación	Disposiciones de las caras	Radio	Estructura
8	Esquinas de cubo	1-0.732	
6	Esquinas de octaedro	0.732-0.414	
4	Esquinas de tetraedro	0.414-0.225	
3	Esquinas de triangulo	0.225-0.155	
2	lineal	0.155-0	

Figura 1.11. Configuraciones estables e inestables de la coordinación entre aniones y cationes.

Si una impureza iónica tiene una carga distinta de la del ion disolvente al cual sustituye, el cristal debe compensar esta diferencia de carga de manera que la electroneutralidad del sólido se mantenga. Una manera de conseguirlo es mediante la formación de defectos puntuales de la red: vacantes iónicas o iones intersticiales de ambos tipos.

Defectos superficiales

Los cerámicos con un grano de tamaño fino tienen mayor resistencia que los cerámicos de grano más grueso. Los granos más finos ayudan a reducir los esfuerzos que se desarrollan en sus bordes debido a la alta expansión y la contracción anisotrópica. Normalmente, se produce un tamaño de grano fino utilizando desde el principio materias primas cerámicas de partículas más finas.

1.5.3. FALLAS MECÁNICAS EN LOS MATERIALES CERÁMICOS

Los materiales cerámicos tanto cristalinos como no cristalinos son muy frágiles, particularmente a temperaturas bajas. El problema con la fractura frágil de los materiales cerámicos se intensifica por la presencia de imperfecciones como pequeñas grietas, porosidad, inclusiones extrañas, fases cristalinas o un tamaño grande, que típicamente se introduce en el proceso de manufactura.

Fractura frágil

Cualquier grieta o imperfección limita la capacidad de un producto cerámico para resistir un esfuerzo a tensión. Esto es debido a que una grieta concentra y amplifica el esfuerzo aplicado (defecto de Griffith). Cuando se aplica un esfuerzo de tensión σ ; el esfuerzo real en el extremo de la grieta del material cerámico es:

$$\sigma_{REAL} \cong 2\sigma\sqrt{a/r}$$

Donde σ es el esfuerzo real

r es la amplitud de la grieta

a es la longitud de la grieta

Para grieta muy delgadas (r pequeña) o para grietas largas (a grande) la relación σ_{REAL}/σ se hace grande y el esfuerzo se amplifica. Si el esfuerzo amplificado excede el límite elástico, la grieta crece y finalmente causa la fractura, aún cuando el esfuerzo real aplicado sea pequeño.

Un esfuerzo aplicado genera una deformación elástica, relacionada con el módulo de elasticidad E del material. Cuando se propaga una grieta se libera esta energía de deformación, reduciendo la energía general.

Los defectos resultan de máxima importancia cuando actúan esfuerzos de tensión sobre el material. Los esfuerzos a la compresión tienden a cerrar las grietas en vez de abrirlas: en consecuencia, a menudo los cerámicos tienen excelente resistencia a la compresión.

Tratamiento estadístico de la fractura frágil

Debido a que las propiedades de los materiales cerámicos dependen en forma crítica del tamaño y geometría de los defectos siempre existentes, hay una dispersión considerable de

los valores de resistencia, determinados a partir de ensayos de tensión, de flexión o de fatiga. Los componentes cerámicos producidos a partir de materiales idénticos, con métodos de producción idénticos, fallan a distintas cargas aplicadas. A fin de diseñar componentes estructurales utilizando cerámicos, debe tomarse en cuenta la probabilidad de que exista un defecto que pueda causar ruptura bajo cualquier esfuerzo. La distribución de Weibull y el módulo de Weibull proporcionan un tratamiento estadístico para diseñar piezas de materiales cerámicos.

La *distribución de Weibull* describe la fracción de las muestras que fallan a distintos esfuerzos aplicados. Una pequeña fracción de éstas contiene defectos lo suficientemente grandes para causar fractura a esfuerzos bajos; la mayor parte de las muestras fallan con un esfuerzo intermedio y unas cuantas contiene sólo defectos pequeños y no fallan hasta que se les aplican grandes esfuerzos. Cuando el esfuerzo aplicado es alto, existe alta probabilidad de que cualquier muestra falle. Conforme se reduce el esfuerzo, también se reduce la probabilidad de que las muestras fallen.

Métodos para mejorar la tenacidad

Un método tradicional para mejorar la tenacidad consiste en rodear las partículas frágiles del cerámico con un material matriz más suave y tenaz.

Otra alternativa es crear compuestos de matriz cerámica (CMC) introduciendo fibras o aglomerados cerámicos en dicha matriz. Cuando una grieta intenta propagarse en la matriz, encuentra la interfase entre matriz y fibra cerámica; la interfase ayuda a bloquear la propagación de la grieta. Ciertos materiales cerámicos se pueden *endurecer por transformación*. En la circonia, por ejemplo, se puede absorber la energía de una grieta mediante una fase metaestable presente en la estructura original. Esta absorción de la energía de la grieta, por la cual efectivamente se reduce su crecimiento, permite que la fase metaestable se transforme en una forma más estable y al mismo tiempo ayuda a cerrar la grieta.

El procesamiento del producto cerámico debe ser también crítico para poder mejorar la tenacidad. Las técnicas de procesamiento que producen cerámicos con un grano excepcionalmente fino, de alta pureza y completamente densos, mejoran la resistencia y la tenacidad.

Deformación de los cerámicos a altas temperaturas

En los cerámicos las dislocaciones no se mueven a bajas temperaturas y no se observa deformación plástica significativa. A temperaturas más altas, el *flujo viscoso* y el deslizamiento de bordes de grano se convierten en mecanismos importantes de deformación. El flujo viscoso ocurre en los vidrios y en los cerámicos que contienen una mezcla de fases vítrea y cristalina: el deslizamiento de bordes de grano ocurre en cerámicos que principalmente son cristalinos.

Termofluencia en los cerámicos

Los cerámicos cristalinos tienen buena resistencia a la termofluencia, por sus altos puntos de fusión y su elevada energía de activación para la difusión.

La termofluencia en los cerámicos cristalinos frecuentemente ocurre como resultado del deslizamiento de los bordes de grano. Conforme los granos se deslizan uno sobre otro, se pueden iniciar las grietas y finalmente causar la falla.

Varios factores facilitan el deslizamiento de los bordes de grano y, en consecuencia, reducen la resistencia a la termofluencia:

1. Tamaño de grano: Los tamaños de grano más pequeños incrementan la tasa de termofluencia.
2. Porosidad: Al incrementar la porosidad en el cerámico, se reduce su sección transversal y aumenta el esfuerzo que actúa sobre el producto cerámico para una carga dada; los poros también facilitan el deslizamiento de los bordes de grano. En consecuencia la tasa de termofluencia se incrementa.
3. Impurezas: Diversas impurezas pueden provocar la formación de fases en los bordes de grano, permitiendo termofluencia debido al flujo viscoso.
4. Temperatura: Las altas temperaturas reducen la resistencia de los bordes de grano, incrementan la velocidad de difusión y promueven la formación de fases vítreas.
5. En los vidrios de silicatos, la mejor resistencia a la termofluencia se obtiene para el sílice puro; conforme se van agregando óxidos modificadores como el MgO, el SrO y el PbO, se reduce la viscosidad y por lo tanto la resistencia a la termofluencia.

Al calentarse el cerámico, el flujo viscoso de la fase vítrea promueve el deslizamiento de bordes de grano y reduce la resistencia a la termofluencia y a la temperatura. Si se permite que una fase cristalina precipite dentro de una fase vítrea, la viscosidad de la fase vítrea se incrementa mejorando la resistencia a la termofluencia.

1.5.4. PROCESAMIENTO Y APLICACIONES DE PRODUCTOS DE ARCILLA

Los productos de arcilla forman un grupo de cerámicos tradicionales que se utilizan para la producción de tubos, ladrillos, artefactos de cocina y otros productos comunes. La arcilla como la caolinita y el agua sirven como aglutinante inicial para los polvos cerámicos, el feldespato $[(K, Na)_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2]$ sirve como agente fundente (formadores de vidrio) durante el tratamiento térmico posterior.

Técnicas de conformado para productos de arcilla

Los polvos, las arcillas, el fundente y el agua se mezclan y se les da forma. Mezclas secas o semisecas se comprimen en formas “verdes” (sin hornear) con suficiente resistencia para poder ser manejadas.

A mayores contenidos de humedad, los polvos son más plásticos o conformables. A estas mezclas plásticas se les puede aplicar procesos de conformado hidropulástico, incluyendo extrusión, recortado y conformado a mano, los lodos cerámicos pueden inyectarse en moldes cuando contienen grandes cantidades de plastificantes orgánicos en vez de agua.

Después del conformado, los cuerpos cerámicos, es decir, los cuerpos verdes, siguen siendo débiles, contienen agua y otros lubricantes y son porosos, por tanto, se requiere de un secado y horneado posterior.

Secado y horneado de productos de arcilla

Durante el secado, la humedad excesiva se elimina y ocurren grandes cambios dimensionales. Inicialmente, el agua existente entre las plaquetas de arcilla o agua interparticular se evapora y es la causa de la mayor parte de la concentración. Después ocurrirá un cambio dimensional relativamente pequeño cuando se evapore el agua restante entre los poros. Para conseguir un secado uniforme de toda la pieza, se controla cuidadosamente la temperatura y la humedad, minimizando así esfuerzos, distorsión y agrietamiento.

La rigidez y la resistencia de una pieza cerámica se obtienen durante su horneado. A temperaturas más elevadas de horneado, con más vitrificación y menos porosidad se produce la loza pétreo o gres. Esta loza, utilizada para las tuberías de drenaje de aguas

negras, contiene una porosidad de sólo 2 a 4 por ciento. La porcelana necesita temperaturas de horneado todavía superiores para obtener una completa vitrificación casi sin porosidades.

1.5.5. PROCESAMIENTO Y APLICACIONES DE CERÁMICOS AVANZADOS

Los cerámicos estructurales avanzados están diseñados para optimizar las propiedades mecánicas a temperaturas elevadas. A fin de alcanzar estas propiedades, se requiere, en comparación con la cerámica tradicional, un control excepcional de la pureza, del procesamiento y de la microestructura. Se utilizan técnicas especiales para conformar estos materiales en productos útiles.

Muchos de los cerámicos más avanzados empiezan en forma de polvo, se mezclan con un lubricante para mejorar su composición, y se prensan para darles forma, la cual, una vez comprimida, se sintetiza para que se desarrolle la microestructura y propiedades requeridas.

En algunos casos, particularmente en cerámicos avanzados, el conformado por compactación de polvos se efectúa a altas temperaturas, mediante prensas calientes o por compresión isostática en caliente. En este proceso los polvos se llevan en recipientes metálicos o de vidrio; entonces se calientan y compactan simultáneamente en un recipiente de gas inerte a presión. Una diferencia entre los cerámicos avanzados y los metales típicos es que, una vez terminado el sinterizado y fabricado el componente cerámico, su microestructura queda fija. Este proceso se utiliza para producir y consolidar polvos cerámicos excepcionalmente finos. Se prepara una solución coloidal líquida, que contenga iones metálicos disueltos. Las reacciones de hidrólisis forman una solución organometálica o sol, compuesta por cadenas tipo polimérica, con iones metálicos y oxígeno. De la solución se forman partículas de óxido amorfo, las cuales producen un gel rígido. El gel es secado y horneado para el sinterizado y la compactación de la pieza terminada de cerámica.

El proceso sol gel se puede utilizar en la producción de UO_2 para combustible de reactores nucleares, en estructuras perovskitas como el titanato de bario para dispositivos electrónicos, en alúmina de grano ultrafino para aplicaciones estructurales de alta resistencia y en una amplia variedad de otros productos cerámicos. Los cerámicos avanzados incluyen los carburos, los boruros, los nitruros y los óxidos. Generalmente estos materiales se seleccionan tanto por sus propiedades mecánicas como físicas a altas temperaturas.

Un extenso grupo de cerámicos avanzados se usa en aplicaciones no estructurales, aprovechando sus únicas propiedades magnéticas, electrónicas y ópticas, su buena resistencia a la corrosión a alta temperatura, su capacidad de servir como sensores en la detección de gases peligrosos y por ser adecuados para dispositivos de prótesis y otros “componentes de repuesto para el ser humano”.

- *La alúmina (Al_2O_3):* Se utiliza para contener metal fundido o para operar a alta temperatura donde se requiere buena resistencia.

- *El nitruro de aluminio (AlN):* Proporciona un buen aislante eléctrico, pero tiene alta conductividad térmica. Dado que su coeficiente de expansión térmica es similar al del silicio, el AlN es un sustituto adecuado del Al_2O_3 como material de sustrato para circuitos integrados.

- *El carburo de boro (B_4C):* Es muy duro y aún así extraordinariamente ligero. Además de su utilización como blindaje nuclear, encuentra uso en aplicaciones que requieren excelente resistencia a la abrasión, como parte en placas blindadas.

- *El carburo de silicio (SiC):* tiene una resistencia a la oxidación extraordinaria a temperatura incluso por encima del punto de fusión del acero. A menudo el SiC se utiliza como recubrimiento para metales, para compuestos de carbono y otros cerámicos a temperaturas extremas.

- *El nitruro de silicio (Si_3N_4):* Son candidatos para componentes de motores automotrices y de turbina de gas, permitiendo temperaturas de operación más elevadas y mejores eficiencias de combustible, con menor peso que los metales y aleaciones tradicionales.

- *El sialón:* Se forma cuando el aluminio y el oxígeno reemplazan parcialmente al silicio y al nitrógeno en el nitruro de silicio. Es relativamente ligero, con un coeficiente de expansión térmica bajo, buena tenacidad a la fractura y una resistencia superior a la de muchos de los demás cerámicos avanzados comunes. El sialón puede encontrar aplicaciones en componentes para motor y otras aplicaciones, que a su vez involucran altas temperaturas y condiciones severas de desgaste.

- *El boruro de titanio (TiB_2):* Es un buen conductor de la electricidad y del calor. Además tiene excelente tenacidad. El TiB_2 , junto con el carburo de silicio y la alúmina, son aplicaciones en la producción de blindajes.

- *La urania (UO_2):* Utilizado como combustible de reactores nucleares.

1.5.6. MATERIALES REFRACTARIOS

Son componentes importantes del equipo utilizado en la producción, refinación y manejo de metales y vidrios. Los refractarios deben soportar altas temperaturas sin corroerse o debilitarse por el entorno. Los refractarios típicos están compuestos por diversas partículas gruesas de óxido aglutinadas con un material refractario más fino. Este segundo material se funde al hornearse y proporciona la unión. En algunos casos, los ladrillos refractarios contienen aprox. de 20 a 25% de porosidad aparente, a fin de conseguir un mejor aislamiento térmico. Los refractarios se dividen en tres grupos: *ácidos*, *básicos* y *neutros*, con base en su comportamiento químico.

Refractarios ácidos: Incluyen las arcilla de sílice, de alúmina y refractarios de arcilla. El sílice puro a veces se utiliza para contener metal derretido. Los refractarios de arcilla por lo general son relativamente débiles, pero poco costosos. Contenidos de alúmina por arriba de aprox. 50% constituyen los refractarios de alta alúmina.

Refractarios Básicos: Varios refractarios se basan en el MgO (magnesita o periclase) El MgO puro tiene un punto de fusión alto, buena refractariedad, buena resistencia al ataque por los entornos que a menudo se encuentran en los procesos de fabricación de acero. Típicamente, los refractarios básicos son más costosos que los refractarios ácidos.

Refractarios Neutros: Normalmente incluyen la cromita y la magnesita, pueden ser utilizados para separar refractarios ácidos de los básicos, impidiendo que uno ataque al otro.

Refractarios Especiales: El carbono en forma de grafito, es utilizado en muchas aplicaciones refractarias, particularmente cuando no hay oxígeno fácilmente disponible. Estos materiales refractarios incluyen la circonia (ZrO_2), el circonio ($ZrO_2 \cdot SiO_2$) y una diversidad de nitruros, carburos y boruros.

1.5.7. OTROS MATERIALES CERÁMICOS Y SUS APLICACIONES

Cementos

En un proceso conocido como cementación, las materias primas cerámicas se unen utilizando un aglutinante que no requiere horneado o sinterizado. Una reacción química convierte una resina líquida en un sólido que une las partículas. En el caso del silicato de sodio, la introducción de gas CO_2 actúa como catalizador para deshidratar la solución de silicato de sodio y convertirla en un material vítreo.

La reacción de cementación más común e importante ocurre en el cemento Portland, utilizado para producir el concreto.

Recubrimientos

Con frecuencia los productos cerámicos se utilizan como recubrimientos protectores de otros materiales. Los recubrimientos comerciales comunes incluyen los vidriados y los esmaltados. Los vidriados se aplican sobre la superficie de un material cerámico para sellar un cuerpo de arcilla permeable, para dar protección y decorar o para fines especiales. Los esmaltados se aplican sobre superficies metálicas. Los esmaltados y vidriados son productos de arcilla que se vitrifican fácilmente durante el horneado. Mediante la adición de otros minerales se pueden producir en los vidriados y esmaltados colores especiales.

Uno de los problemas que tienen los vidriados y los esmaltados son las grietas o cuarteaduras superficiales que ocurren cuando el vidriado tiene un coeficiente de expansión térmica distinto al del material subyacente.

Para materiales cerámicos avanzados y para materiales de operación a alta temperatura se utilizan recubrimientos de SiC para mejorar su resistencia a la oxidación. A las superaleaciones base níquel se les puede aplicar recubrimientos de circonia, como barreras térmicas que protegen al metal contra la fusión o contra reacciones adversas.

Fibras

A partir de materiales cerámicos se producen fibras para diversos usos como esfuerzo de materiales compuestos, para ser tejidas en telas o para uso en sistemas de fibras ópticas. Las fibras de vidrio de borosilicato, las más comunes, proporcionan resistencia y rigidez a la fibra de vidrio. También se pueden producir fibras con una diversidad de materiales cerámicos, incluyendo alúmina, carburo de silicio y carburo de boro.

1.5.8. VIDRIOS

El vidrio es un líquido sobreenfriado y se encuentra en un estado metaestable, esto quiere decir que puede pasar a un estado de menor energía, solo si pasa por un estado de mayor energía. El vidrio fundido se enfría lentamente para evitar su cristalización, es un material cerámico obtenido a partir de materiales inorgánicos a altas temperaturas, se distingue de otras cerámicas en que sus constituyentes son calentados hasta fusión y después enfriados

hasta un estado rígido sin cristalización. En un vidrio las moléculas cambian su orientación de una manera aleatoria en todo el sólido, es decir su estructura es amorfa.

Solo se conocen tres componentes minerales binarios, que pueden pasar del estado fundido a la temperatura ambiente sin cristalizar; Sílice, (SiO_2), Anhídrido Bórico (B_2O_3) y Anhídrido Fosforico (P_2O_5). Las materias usadas para fabricar vidrio son:

- *Vitrificantes*: tales como la sílice, con punto de fusión $1,720^\circ\text{C}$.
- *Fundentes*: Los mas usados son el sulfato de sodio y el carbonato sódico, son fácilmente atacables los vidrios formados por vitrificantes y fundentes.
- *Estabilizantes*: Se añaden para obtener vidrios más estables y menos atacables. los mas usados son: carbonato cálcico, carbonato de magnesio, oxido de bario (barita), oxido de aluminio (alumina), óxido de plomo y oxido de zinc.
- *Accesorias*: Pueden ser afinantes, decolorantes, opalescentes o colorantes.

Estructura del vidrio

Óxidos formadores de vidrio: Muchos vidrios inorgánicos están basados en el óxido de silicio, (SiO_2), como formador de vidrio. La unidad mínima fundamental en los vidrios de sílice es el tetraedro SiO_4 - en donde un átomo (ion) de silicio (Si^{4+}) se encuentra covalentemente enlazado a cuatro átomos de oxígeno. En la variedad de Sílice cristobalita, por ejemplo, los tetraedros SiO_4 se encuentran unidos compartiendo vértices en una disposición regular produciendo un orden de largo alcance, en un vidrio corriente de sílice los tetraedros están unidos por sus vértices formando una red dispersa sin orden de largo alcance.

El óxido de boro B_2O_3 , es también un óxido formador de vidrio y por si mismo forma subunidades que son triángulos planos con el átomo de boro ligeramente fuera de plano de los átomos de oxígeno. Sin embargo, en los vidrios de borosilicato a los que se han adicionado óxidos alcalinos y alcalinoterreos, los triángulos de óxido BO_3^- pueden pasar a tetraedros BO_4^- , en los que los cationes alcalinos y alcalinoterreos proporcionan la electroneutralidad necesaria.

El óxido de boro es un aditivo importante para muchos tipos de vidrios comerciales, con vidrios de borosilicato y aluminoborosilicato.

Propiedades de los vidrios

Los vidrios tienen propiedades especiales no encontradas en otros materiales de ingeniería. La combinación de transparencia y dureza a temperatura ambiente con suficiente fuerza y una excelente resistencia a la corrosión en la mayoría de los ambientes hacen al vidrio indispensable para muchas aplicaciones de ingeniería, tales como construcción y vidriado de vehículos. En la industria eléctrica el vidrio es esencial para varios tipos de lámparas debido a sus propiedades aislantes y capacidad para suministrar un cierre hermético. En la industria electrónica los tubos electrónicos también requieren el cierre hermético proporcionado por el vidrio, con sus propiedades aislantes para entrada de conectores. La alta resistencia química del vidrio lo hace muy útil para los aparatos de laboratorio y recubrimientos resistentes a la corrosión, conducciones y recipientes en la industria química.

Temperatura de transición vítrea

El comportamiento frente a la solidificación de un vidrio es diferente del de un cristal, un líquido que forma un sólido cristalino bajo solidificación (p. ej., un metal puro) normalmente cristalizará en su punto de fusión con una disminución significativa de su volumen específico; por el contrario un líquido que forma un vidrio bajo enfriamiento no cristaliza, el líquido se vuelve más viscoso a medida que su temperatura va disminuyendo y se transforma desde un estado plástico blando y elástico a un estado vítreo, quebradizo y rígido en un margen reducido de temperaturas.

Métodos de conformado del vidrio

Los productos de vidrio se fabrican calentando primero el vidrio a una temperatura alta para producir un líquido viscoso que seguidamente se moldea, contorna o lamina en la forma deseada.

- **Conformado en hojas y láminas:** Se fabrica mediante el proceso de flotado, en el cual una tira de vidrio sale del horno de fusión y flota sobre la superficie de un baño de estaño fundido, la lámina de vidrio es enfriada mientras se mueve a través del estaño fundido y bajo una atmósfera controlada químicamente cuando su superficie está suficientemente dura, la lámina de vidrio se saca del horno sin ser marcada mediante rodillos y pasa a través de un largo horno de recocido llamado Lehr, donde se eliminan las tensiones residuales.

- Conformado por soplado, prensado y moldeado del vidrio: Artículos huecos como botellas, jarras, y envolturas de tubos luminosos se fabrican soplando aire para ajustar el vidrio fundido dentro de los moldes. Artículos planos como lentes ópticas y lentes para faros se fabrican prensando con un émbolo en el molde que contiene vidrio fundido. Muchos artículos pueden fabricarse moldeando el cristal dentro de un molde abierto. Un gran espejo de telescopio en cristal. Artículos con forma de embudo como tubos de televisor se fabrican mediante moldeado centrífugo. Los trozos de vidrio fundido desde el alimentador se arrojan en un molde rotativo que origina que el vidrio fluya hacia arriba para formar un muro de vidrio de espesor uniforme.

- Conformado de vidrio templado: Este tipo es reforzado enfriando rápidamente con aire la superficie de vidrio después de que éste haya sido calentado hasta cerca de su punto de reblandecimiento. La superficie del vidrio se enfría primero y se contrae, mientras el interior está caliente y se reajusta a los cambios dimensionales con pocas tensiones, cuando el interior se enfría y contrae, la superficie ya está rígida, con lo que se crean fuerzas de tensión en el interior del vidrio y fuerzas de compresión en las superficies. Este tratamiento de “templado” aumenta la resistencia del vidrio porque las fuerzas de tensión aplicadas deben sobrepasar las fuerzas de compresión de la superficie antes que se produzca la fractura. El vidrio templado tiene una mayor resistencia a los impactos que el vidrio recocido y es alrededor de cuatro veces más fuerte. Las ventanas de los automóviles y el vidrio de seguridad para puertas son artículos que han sido templados térmicamente.

- Conformado de vidrio reforzado químicamente: La resistencia de un vidrio puede incrementarse mediante tratamientos químicos especiales. Por ejemplo, si un vidrio de aluminosilicato de sodio se sumerge en un baño de nitrato de potasio a una temperatura de aproximadamente 50°C por debajo de su punto de tensión (~500°C) durante 6 a 10 h, los iones más pequeños de sodio, junto a la superficie del vidrio son reemplazados por iones potasio más grandes. La introducción de los iones potasio más grandes en la superficie del vidrio produce fuerzas compresivas en la superficie y las correspondientes fuerzas de tensión en su centro. Este proceso de templado químico puede ser usado en las secciones transversales más delgadas que puedan templarse térmicamente ya que la capa compresiva es muy fina, el vidrio químicamente reforzado se usa para aeronaves supersónicas y para lentes oftálmicas.

Vidrios	Observaciones
Sílice (fundida)	Difícil de fundir y fabricar, pero útil hasta temperaturas de 1000°C. Muy baja expansión y alta resistencia al choque térmico.
Sílice 96%	Fabricado a partir de vidrios relativamente suaves de borosilicato; se calienta para consolidar los poros.
Soda-cálcica: láminas de vidrio	Fácilmente fabricable. Usado ampliamente en una variedad de aplicaciones; cristalería, para ventanas, contenedores y bombillas eléctricas.
Silicato de plomo	Funde fácil y es fabricable, con buenas propiedades eléctricas.
Alto contenido en plomo	El alto contenido en plomo absorbe los rayos x; el alto índice de refracción es útil en lentes acromáticas. Vidrio para cristal decorativo. Aplicaciones ópticas y vidrios de mesa. Ventanas de radiación y lámparas de televisión.
Borosilicato: baja expansión	Baja expansión, buena resistencia al choque térmico y estabilidad química. Utilizado ampliamente en la industria química. Para utensilios de cocina, instrumentos de laboratorio, grandes espejos de telescopios, hornos y lámparas reflectoras.
Aluminoborosilicato: aparatos estándar	Contenidos altos en alumina y bajos en óxido bórico mejoran la durabilidad química.
Bajo alcali (vidrios e)	Usado ampliamente para fibras en compuestos de resina de vidrio.
Aluminosilicato	Resistencia a altas temperaturas, baja expansión.
Cerámica vítrea	Cerámica cristalina fabricada por desvitrificación del vidrio. Fácil fabricación, buenas propiedades. Diferentes vidrios y catalizadores.

Tabla 1.9. Características y usos de los vidrios (22).

Técnicas de conformado

Los productos cerámicos fabricados por aglomeración de partículas pueden ser conformados mediante varios métodos en condiciones secas, plásticas o líquidas. Los procesos de conformado en frío son predominantes en la industria cerámica, pero los procesos de modelado en caliente también se usan con frecuencia. Prensado, moldeo en barbonita y extrusión son los métodos de modelado de cerámica que se utilizan más comúnmente.

Prensado. La materia prima puede ser prensada en estado seco, plástico o húmedo, dentro de un troquel para formar productos elaborados.

Prensado en seco: este método se usa frecuentemente para productos refractarios (materiales de alta resistencia térmica) y componentes cerámicos electrónicos. El prensado en seco se puede definir como la compactación uniaxial simultánea y la conformación de los polvos granulados con pequeñas cantidades de agua y/o pegamentos orgánicos en un troquel. Después del estampado en frío, las partículas son normalmente calentadas (sinterizadas) a fin de que se consigan la fuerza y las propiedades microestructurales deseadas. El prensado en seco se utiliza mucho porque permite fabricar una gran variedad de piezas rápidamente con una uniformidad y tolerancia pequeñas.

Compactación isostática: en este proceso el polvo cerámico se carga en un recipiente flexible (generalmente de caucho) hermético (llamado cartucho) que está dentro de una cámara de fluido hidráulico a la que se aplica a presión. La fuerza de la presión aplicada compacta el polvo uniformemente en todas las direcciones, tomando el producto la forma del contenedor flexible. Después de presionar la pieza isostáticamente en frío se ha de pasar por el fuego (sinterización) para obtener las propiedades microestructurales requeridas. Productos cerámicos de este tipo son refractarios, ladrillos, aislantes de bujías, cúpulas, crisoles, herramientas de carbono y cojinetes.

Compresión en caliente. En este proceso se consiguen piezas de alta densidad y propiedades mecánicas optimizadas combinando la presión unidireccional como la isostática.

Tratamientos térmicos

El tratamiento térmico es un paso esencial en la fabricación de la mayoría de los productos cerámicos. En esta subdivisión se consideran los siguientes tratamientos térmicos: secado, sinterizado, verificación.

Secado y eliminación de aglutinantes. El propósito del secado de cerámicas es eliminar el agua del cuerpo cerámico plástico antes de ser sometido a altas temperaturas. Generalmente la eliminación de agua se lleva a cabo a menos de 100°C y puede tardar tanto como 24hs. para un trozo de cerámica grande. La mayoría de los aglutinantes orgánicos pueden ser eliminados de piezas cerámicas por calentamiento en el rango de 200 a 300°C, aunque

algunos residuos hidrocarbonados pueden requerir un calentamiento a temperaturas mas elevadas.

Sinterización. El proceso por el cual se consigue que pequeñas partículas de un material se mantengan unidas por difusión al estado sólido se llama sinterización. En la fabricación de cerámicas este tratamiento térmico se basa en la transformación de un producto poroso en otro compacto y coherente. La sinterización se utiliza de modo generalizado para producir formas cerámicas de, por ejemplo, alúmina, berilia, ferrita y titanatos.

En el proceso de sinterizado las partículas coalescen por difusión al estado sólido a muy altas temperaturas pero por debajo del punto de fusión del compuesto que se desea sinterizar. En la sinterización, la difusión atómica tiene lugar entre las superficies de contacto de las partículas a fin de que resulten químicamente unidas.

Verificación. Algunos productos cerámicos tales como porcelana, productos arcillosos estructurales y algunos componentes electrónicos, contienen una fase vítrea. Esta fase vítrea sirve como medio de reacción para que la difusión pueda tener lugar a menor temperatura que en el resto de los materiales sólidos cerámicos. Durante el tratamiento a elevadas temperaturas de este tipo de materiales sólidos cerámicos, tiene lugar un proceso llamado verificación por medio del cual la fase vítrea se licua y rellena los poros del material. Esta fase vítrea líquida puede también reaccionar con algunos de los restantes sólidos de material refractario. Bajo enfriamiento, la fase líquida solidifica para formar una matriz vítrea que une las partículas que no han fundido.

1.6. MATERIALES COMPUESTOS

Los materiales compuestos se obtienen al unir dos materiales para conseguir una combinación de propiedades que no es posible obtener en los materiales originales. Estos compuestos pueden seleccionarse para lograr combinaciones poco usuales de rigidez, resistencia, peso, rendimiento a altas temperaturas, resistencia a la corrosión, dureza o conductividad.

Los compuestos se pueden clasificar en tres categorías que son los reforzados con partículas, reforzados con fibras y los estructurales.

Un material compuesto está formado por dos o más materiales los cuales al combinarse forman una estructura mucho más resistente que la estructura de cualquiera de sus componentes aislados.

El material compuesto más simple está formado por dos componentes:

- La matriz, que sirve como sustancia de aglutinamiento.
- La fase dispersa o material de refuerzo.

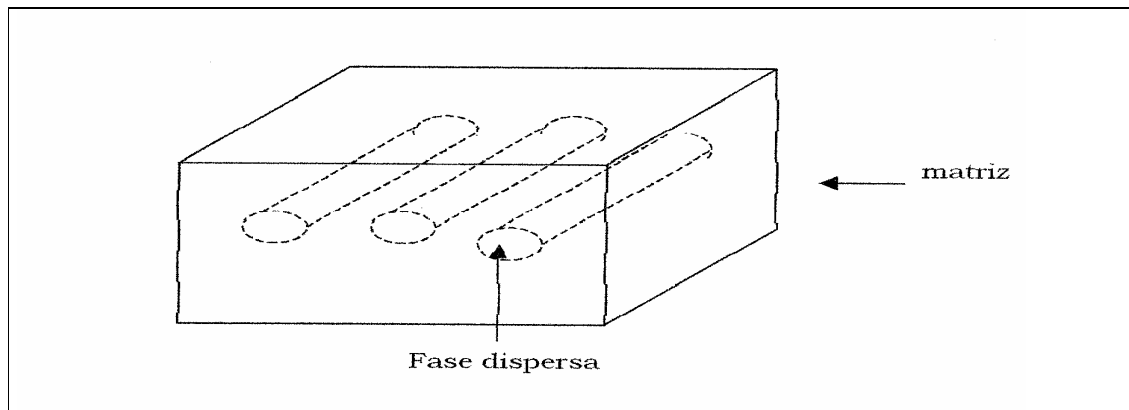


Figura 1.12. Dibujo de un material compuesto donde se muestran sus componentes.

Las propiedades del material compuesto dependen de las propiedades de las fases que lo conforman, sus cantidades relativas y la geometría de la fase dispersa.

Los materiales compuestos pueden clasificarse como se muestra en la figura 1.13.

1.6.1. COMPUESTOS REFORZADOS POR PARTÍCULAS

Partículas grandes

En los compuestos reforzados con partículas grandes, el término grande indica que las interacciones entre la partícula y la matriz no pueden describirse a nivel atómico.

Carburos cementados

Los carburos cementados o cementsos contienen partículas cerámicas duras dispersas en una matriz metálica. Los insertos de carburos de tungsteno que se utilizan como herramienta de corte de operaciones de maquinado son ejemplos típicos de este grupo. El carburo de tungsteno (WC) es un cerámico duro rígido y de alta temperatura de fusión.

Desafortunadamente las herramientas fabricadas de carburo de tungsteno son extremadamente rígidas.

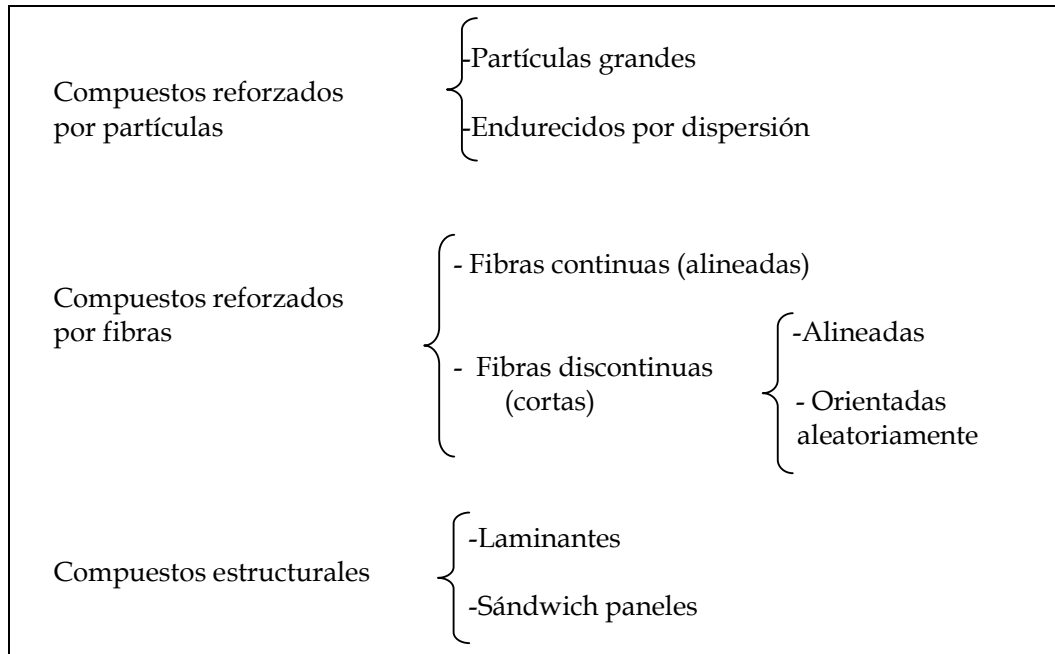


Figura 1.13. Clasificación de los materiales compuestos ⁽⁹⁾.

Polímeros

Muchos materiales compuestos son reforzados por polímeros para diversas utilidades en ingeniería; estos contienen rellenos y extensores, son compuestos articulados, un ejemplo clásico es el negro de humo, el caucho vulcanizado. El negro de humo está formado por esferas diminutas de carburo de 5 a 500 μm de diámetro el negro de humo mejora la resistencia rigidez, resistencia al desgaste y resistencia al calor del caucho.

1.6.2. COMPUESTOS REFORZADOS POR DISPERSIÓN

Con partículas es posible considerar como compuestos particulados un grupo especial de materiales endurecidos por dispersión que contienen partículas de 10 a 250 ηm de diámetro. Estos dispersoides, por lo general óxidos metálicos. Aun cuando las pequeñas partículas no sean coherentes con la matriz, bloquean el movimiento de las dislocaciones y producen un pronunciado efecto de endurecimiento.

A temperatura ambiente, los compuestos endurecidos por dispersión pueden ser menos resistentes que las aleaciones tradicionales endurecidas por envejecimiento (como el concreto). La resistencia de estos materiales compuestos disminuye gradualmente al

incrementarse la temperatura, su resistencia a la termofluencia es superior a la de metales y aleaciones.

1.6.3. COMPUESTOS REFORZADOS POR FIBRAS

La mayoría de los compuestos reforzados con fibras consiguen una mejor resistencia a la fatiga, mejor rigidez y una mejor relación resistencia peso al incorporar fibras resistentes y rígidas aunque frágiles en una matriz más blanda y dúctil. La resistencia del compuesto puede resultar alta a temperatura ambiente y a temperaturas elevadas.

Por siglos se ha utilizado la paja para reforzar los ladrillos de barro o adobes. En las estructuras de concreto se introducen varillas de acero de refuerzo. Las fibras de vidrio en una matriz polimérica producen un material para aplicaciones en la transportación y la industria aeroespacial. Las fibras de boro, carbono, polímeros y materiales cerámicos aportan un refuerzo excepcional en compuestos avanzados basados en matriz polimérica metálica cerámica e incluso en compuestos ínter metálicos. Las fibras de SiC (silicio-carbono) se elabora de forma similar utilizando de carbono como sustrato para él deposito de vapores de carburo de silicio.

Características de los compuestos reforzados con fibras

Al diseñar un compuesto reforzado con fibrinas se deben tomar en consideración muchos factores como la longitud, el diámetro, la orientación, la cantidad y propiedades de las fibras; las propiedades de la matriz; y la unión entre fibras y matriz.

Longitud y diámetro de las fibras: las fibras pueden ser cortas, largas o incluso continuas, a menudo se caracterizan sus dimensiones mediante la relación forma l/d . donde l es la longitud de las fibras y d es su diámetro. Las fibras típicas tienen diámetros que varían desde 10 micrones (10×10^{-4} cm) hasta 150 micrones (150×10^{-4} cm).

Propiedades de las fibras

En la mayoría de los compuestos reforzados con fibras, estas son resistentes, rígidas y de poco peso. Si el compuesto debe ser utilizado a temperaturas elevadas también la fibra deberá tener una temperatura de fusión alta. Por lo que la resistencia específica y el modulo específico de la fibra son características importantes.

Las fibras de aramidas más conocidas es el Kevlar. Son poliamidas aromáticas endurecidas con una estructura que contiene anillos de benceno y son ejemplos de polímeros líquido- cristalino en los cuales las cadenas poliméricas tienen forma de varilla muy rígida. También existen fibras de polietileno preparadas especialmente para refuerzo.

Tanto las fibras de aramidas como de polietileno tienen resistencias y rigidez excelente, pero su uso está limitado a bajas temperaturas. Debido a su menor densidad, la resistencia y el módulo específico de las fibras de polietileno son más elevados.

Propiedades de las matrices

La matriz de un material compuesto soporta las fibras manteniéndolas en su posición correcta; transfiere la carga a las fibras fuertes, las protege de sufrir daños durante su manufactura y su uso y evita la prolongación de grietas en las fibras a todo lo largo del compuesto. La matriz, por lo general, es responsable del control principal de las propiedades eléctricas, el comportamiento químico y el uso a temperaturas elevadas del compuesto.

Los compuestos de matriz metálica incluyen aluminio, magnesio, cobre, níquel y aleaciones de compuestos intermetálicos, reforzados con fibras cerámicas y metálicas. Mediante los compuestos con matriz metálica se cubren una diversidad de aplicaciones aeroespaciales y automotrices. La matriz metálica permite que el compuesto funcione a temperaturas altas, pero a menudo la producción de un compuesto resulta más difícil y costosa que la producción de materiales con matriz polimérica.

Las fibras de carbono se fabrican mediante la carbonización o pirolización de un filamento orgánico el cual es más fácil de estirar o hilar en tramos largos y continuos.

Producción del compuesto

Se utilizan diversos métodos para la producción de piezas de compuestos, dependiendo de la aplicación y de los materiales. Los compuestos reforzados con fibras cortas normalmente se forman mezclando las fibras con una matriz líquida plástica. También se pueden producir compuestos de matriz polimérica utilizando un procedimiento de rociado, en el cual fibras cortas mezcladas con una resina se rocían contra un molde y luego se curan.

Se han diseñado técnicas especiales para producir compuestos utilizando fibras continuas, ya sea con orientación unidireccional, de estera o de tela. En técnicas de aplicación manual, las cintas, estereras o telas se colocan contra un molde, se saturan con una resina polimérica, y se presionan con rodillos para asegurar un buen contacto eliminar la porosidad, y finalmente se curan carrocerías de fibra de vidrio para automóviles y camiones se pueden fabricar con este método, que generalmente es lento y requiere de mucha mano de obra.

Compuestos avanzados

A menudo los compuestos avanzados se usan cuando se pretende que el material lleve a cabo aplicaciones muy críticas, como en la industria aeroespacial. Los compuestos avanzados, por lo general, son compuestos de matriz polimérica reforzados con fibras poliméricas, metálicas o cerámicas de alta resistencia. Donde se requiere una rigidez particularmente buena, se utilizan mucho las fibras de carbono, las fibras de aramidas y todavía más las de polietileno, que son las mas adecuadas para la aplicación de alta resistencia donde la tenacidad y la resistencia a daños sean de máxima importancia.

Una aplicación única de los compuestos de fibras de aramidas es el blindaje. Los compuestos de Kevlar de alta tenacidad proporcionan una protección balística superior a la de otros materiales, lo que los hace mas adecuados para ropa ligera y flexible a prueba de balas.

Los compuestos híbridos están formados por dos o más tipos de fibras. Por ejemplo las fibras de Kevlar pueden mezclarse con fibras de carbono para mejorar la tenacidad de un compuesto rígido o se puede mezclar kevlar con fibra de vidrio para mejorar la rigidez.

1.6.4. COMPUESTOS ESTRUCTURALES

Compuestos de matriz metálica

Estos materiales, reforzados con fibras metálicas o cerámicas, proporcionan resistencia a altas temperaturas.

Los aluminios reforzados con fibras de SiC han sido ampliamente utilizados en aplicaciones aeroespaciales. Se han reforzado aleaciones basadas en cobre con fibras de SiC produciendo hélices de alta resistencia en barcos.

Los compuestos de matriz metálica pueden encontrar aplicaciones de importancia en componentes para turborreactores y cohetes. Las superaleaciones reforzadas con fibras metálicas como el tungsteno o con fibras cerámicas como el SiC conservando su resistencia a altas temperaturas, permitiendo que los turbo reactores operen con mayor eficiencia.

Compuestos de matriz cerámica

Los compuestos de matriz cerámica - fibra pueden obtener una mejor resistencia y tenacidad a la fractura en comportamiento con productos cerámicos convencionales.

Los refuerzos de fibra mejoran de varias maneras la tenacidad de la matriz cerámica. Por ejemplo si primero una grieta que se mueve a través de la matriz (cerámica) encuentra una fibra (fase dispersa); si la unión entre la matriz y la fibra no es buena, la grieta se ve obligada a propagarse alrededor de la fibra a fin de continuar el proceso de fractura. Además una mala unión permite que la fibra empiece a separarse de la matriz. Ambos procesos consumen energía, incrementado la tenacidad a la fractura. Finalmente al iniciarse la grieta pasa sobre la fibra aun no rota puede formar un puente sobre la grieta, proporcionando un esfuerzo compresivo y se evita que la grieta se abra.

PROPIEDADES MECÁNICAS ESPECÍFICAS	POLIÉSTER 40% F.V Cortas	POLIÉSTER 80% F.V Unid.	PVC	MADERA	HORMIGÓN ARMADO	ACERO
σ_R / ρ (1)	93	700	41	80 - 92	1	38 - 77
E_{11} / ρ (2)	6500	24.000	2.100	10.000 12.000	17.000	27.000

Tabla 1. 10. Comparación de materiales compuestos ⁽⁴⁾.

(1) Resistencia a la rotura específica

(2) Módulo de elasticidad específica

	MATERIALES COMPUESTOS	PVC	MADERA	ALUMINIO	ACERO	HORMIGÓN ARMADO
DENSIDAD	1,5 - 2	1,35 - 1,45	0,6 - 1,2	2,7	7,8	2,2 -2,5

Tabla 1.11. Comparación materiales tradicionales con los materiales compuestos ⁽⁴⁾.

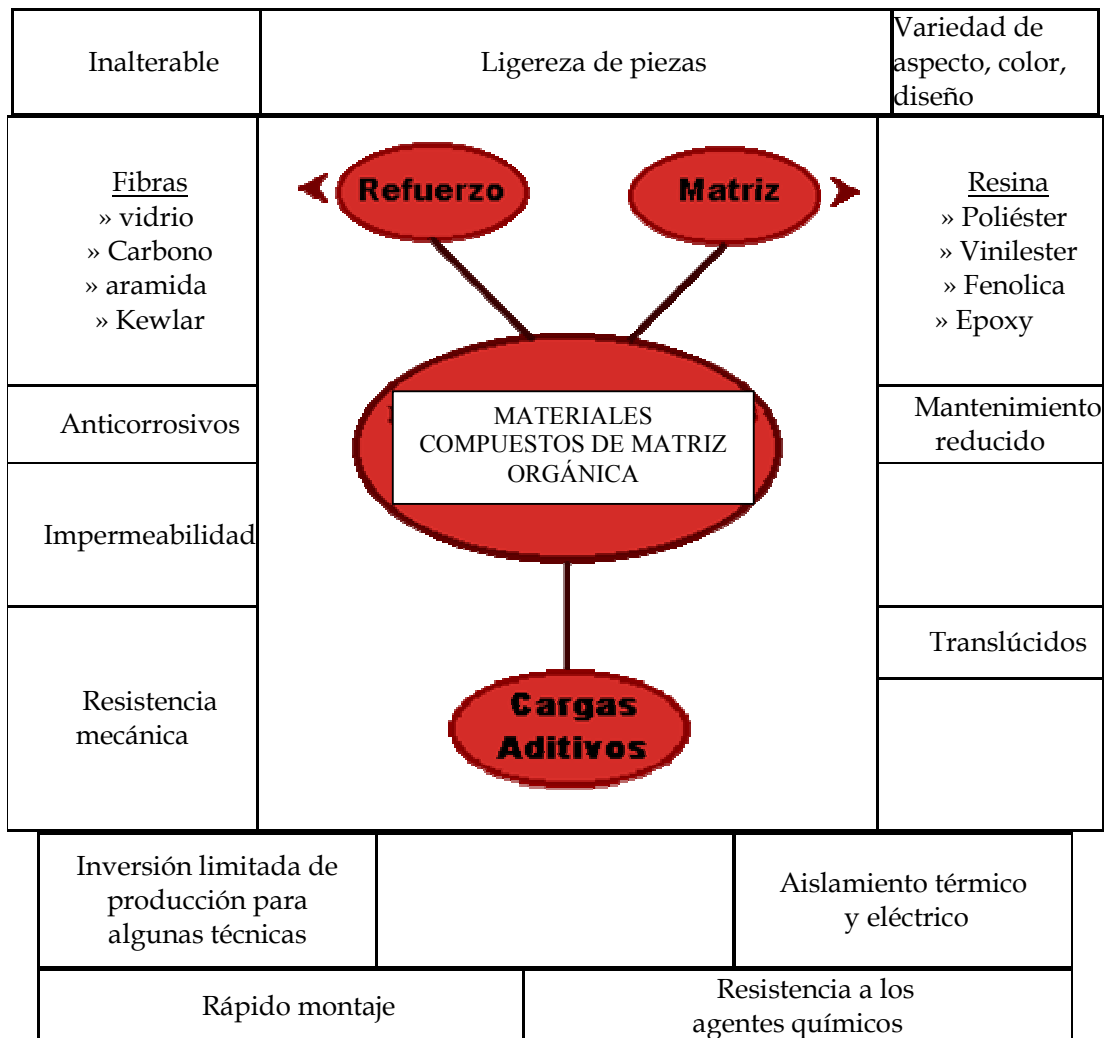


Figura 1.14. Resumen gráfico de los materiales compuestos con matriz orgánica.

VENTAJAS DEL USO DE MATERIALES COMPUESTOS

- Baja densidad
- Excelente comportamiento frente a la corrosión
- Altas características mecánicas
- Libertad de diseño
- Integración de funciones
- Acabados diversos
- Reproducción fácil
- Color en la masa
- Mantenimiento mínimo
- Materiales "A La Carta"
 - Autoextinguibles

- Translúcidos
 - Resistentes al impacto
 - Resistentes a la abrasión
 - Etc.
- Durabilidad elevada
 - Uso en medios químicamente agresivos
 - Aislante térmico
 - Aislante eléctrico (excepto con refuerzos de carbono)
 - Posibilidad de ser translúcidos
 - Numerosos procedimientos de fabricación
 - Permeable a las ondas electromagnéticas

1.7. EFECTOS GENERALES DE LOS PROCESAMIENTOS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Una parte esencial para obtener el material óptimo para un diseño en ingeniería es saber la forma conveniente de procesamiento para su aplicación. El procesamiento se debe de estudiar debido a que en primer lugar proporciona un entendimiento más completo de la naturaleza del material. Segundo, y más importante, permite apreciar los efectos de la historia del procesamiento sobre los materiales.

El procesamiento de los materiales genera la forma deseada del componente a partir de un material uniforme.

Un ejemplo claro sobre lo que interfieren los procesos en las propiedades de los materiales se puede ver de manera práctica en la siguiente explicación de los metales.

En la tabla 1.5. se resumen unas cuantas reglas prácticas acerca de los efectos del procesamiento de los metales sobre los parámetros de diseño. Los metales presentan un especialmente amplio rango de comportamiento en función de procesamiento al que sean sometidos. Como ocurre con muchas generalizaciones, se debe de estar alerta a las excepciones.

Las tablas siguientes resumen algunas de las principales técnicas de procesamiento para las cerámicas y los vidrios, metales y polímeros.

Procesamiento de formado
Laminación
Extrusión
Formado
Forjado
Estirado
Vaciado

Tabla 1.12. Métodos de procesamiento de los metales ⁽²¹⁾.

Vaciado de fusión
Vaciado de barbotina
Sinterización
Prensado isobárico caliente
Formado de vidrio
Devitrificación controlada
Procesamiento sol-gel

Tabla 1.13. Métodos de procesamiento de los las cerámicos y los vidrios ⁽²²⁾.

Termoplásticos	Termoendurecidos
Moldeado por inyección	Moldeado por compresión
Moldeado por extrusión	Moldeado por transferencia
Moldeado por soplado	

Tabla 1.13. Principales métodos de procesamiento para los polímeros ⁽²⁾.

Por los tanto, así como se hizo una análisis de los metales sobre los efectos del procesamiento, se debe de hacer para todos y cada unos de los candidatos que se escogieron en la selección de materiales para su análisis y selección por propiedades, además de mejorar las propiedades sometido a los materiales al procesamiento adecuado.

Los materiales, los cuales se puede escoger hasta el final, pueden ser de cualquiera de los cinco grupos estructurales metales, cerámicas (y vidrios), polímeros, compuestos y semiconductor, pero solo uno de ellos podrá pasar el análisis total, el que incluye todas las exigencias del proceso como son las propiedades físicas, químicas, electrónicas, etc. hasta los aspectos administrativos, como los son el costo, la disposición, etc. Al finalizar el estudio los pasos dados en el capítulo 7 se hace una elección de solo muy pocos materiales para que en concreto, entre ellos se haga la selección óptima del material que se ocupará en el diseño.

2. MATERIALES PARA LA INDUSTRIA QUÍMICA

La industria química es el sector que se ocupa de las transformaciones químicas a gran escala, además se lleva a cabo funciones como la extracción y procesamiento de las materias primas, tanto naturales como sintéticas, y de su transformación en otras sustancias con características diferentes de las que tenían originariamente.

Las industrias químicas se pueden clasificar en industrias químicas de base e industrias químicas de transformación. Las primeras trabajan con materias primas naturales y fabrican productos sencillos semielaborados que son la base de las segundas.

Las industrias de base están localizadas en lugares próximos a las fuentes de suministros. Un ejemplo de industria química de base es la fabricación de alcohol por fermentación de azúcares. Las industrias químicas de base toman sus materias primas del aire (oxígeno y nitrógeno), del agua (hidrógeno), de la tierra (carbón, petróleo y minerales) y de la biosfera (caucho, grasas, madera y alcaloides).

Las industrias de transformación convierten los productos semielaborados en nuevos productos que pueden salir directamente al mercado o ser susceptibles de utilización por otros sectores.

Tradicionalmente las operaciones de la industria química se basaban en una simple modificación o en un aumento de las dimensiones de los aparatos utilizados por los investigadores en los laboratorios. En la actualidad, todo proceso químico se estudia cuidadosamente en el laboratorio antes de convertirse en un proceso industrial y se desarrolla gradualmente en instalaciones piloto, no implantándose a gran escala hasta que no queda demostrada su factibilidad técnica y su rentabilidad.

La transición desde el laboratorio hasta la fábrica es la base de la industria química, que reúne en un solo proceso continuo llamado cadena o línea de producción las operaciones unitarias que en el laboratorio se efectúan de forma independiente. Estas operaciones unitarias son las mismas sea cual fuere la naturaleza específica del material que se procesa.

Algunos ejemplos de estas operaciones unitarias son la trituración y molienda de las materias sólidas, el transporte de fluidos, la destilación de las mezclas de líquidos, la filtración, la sedimentación, la cristalización de los productos y la extracción de materiales.

Por ejemplo, la operación unitaria conocida como *destilación* se usa para purificar o separar alcohol en la industria de las bebidas y también para separar los hidrocarburos en la industria del petróleo. El secado de granos y otros alimentos es similar al secado de maderas, precipitados filtrados y estopa de rayón.

La operación unitaria *absorción* se presenta en la absorción de oxígeno del aire en los procesos de fermentación o en una planta de tratamiento de aguas, así como en la absorción de hidrógeno gaseoso en un proceso de hidrogenación líquida de aceites.

La evaporación de salmueras en la industria química es similar a la evaporación de soluciones de azúcar en la industria alimenticia. La sedimentación de sólidos en suspensiones en las industrias de tratamiento de aguas y en la minería es una operación similar. El flujo de hidrocarburos líquidos en refinерías de petróleo y el flujo de leche en una planta de productos lácteos se llevan a cabo de manera semejante.

Las operaciones unitarias estudian principalmente la transferencia y los cambios de energía, la transferencia y los cambios de materiales que se llevan a cabo por medios físicos, pero también por medios fisicoquímicos.

El ingeniero químico tiene que desarrollar, diseñar y llevar a cabo el proceso, así como el equipo utilizado en el mismo. Tiene que elegir las materias primas adecuadas y hacer operar las plantas con eficacia, seguridad y economía, teniendo en cuenta que sus productos han de cumplir las condiciones exigidas por los consumidores. Lo mismo que la ingeniería en general, la ingeniería química es también un arte y una ciencia.

El ingeniero utilizará la ciencia siempre que le permita resolver sus problemas. Sin embargo, en la mayor parte de los casos, la ciencia no es capaz de proporcionarle una solución completa, y entonces tendrá que recurrir a la experiencia y a su buen criterio. Su capacidad profesional depende de esta habilidad para combinar todas las fuentes de información con el fin de obtener soluciones prácticas a los problemas que se le presenten.

La amplitud y variedad de los procesos e industrias que reclaman los servicios de los ingenieros químicos son muy grandes. Los procesos descritos en los tratados de tecnología química e industrias de proceso permiten tener una idea bastante completa del campo que abarca la ingeniería química.

2.1. EJEMPLOS DE PROCESOS QUÍMICOS

Debido a la demanda de distintos productos se han creado nuevas técnicas para llevar a cabo procesos de una manera más rápida y eficiente, dichas técnicas incluyen procesos que tienen lugar a elevadas temperaturas y altas presiones. Por lo tanto, los equipos utilizados para llevar a cabo estos procesos no deben de sufrir ningún cambio de sus propiedades a estas temperaturas y presiones y el diseñador debe llevar a cabo la selección adecuada del material de construcción para los equipos. A continuación se presenta como ejemplo el proceso Pórtland para obtener cemento, el proceso de obtención de porcelana y las condiciones necesarias para que se puedan llevar a cabo los procesos de manera adecuada.

Métodos de fabricación de cementos

Las materias primas, arcilla y caliza, se trituran primero por separado (1), se secan (2) y se muelen a polvo fino (3). Después se llevan en las cantidades previamente calculadas a un silo (4) con dispositivo de mezclado en el que se consigue una mezcla íntima y homogénea.

Desde este silo, la mezcla llega a un depósito (5) del que se alimenta continuamente el horno rotatorio (7). Previamente, la mezcla pasa por una cámara de tostación. (6) a contracorriente con los gases calientes (unos 10000^o C) procedentes del horno, con lo que el polvo se transforma en granos. Estos penetran en el horno rotatorio donde, debido a la ligera inclinación, van avanzando lentamente en dirección a la llama del quemador de polvo de carbón (8)-(12), en cuyo final llegan a sinterizar formando el «clinker».

El «clinker» verde oscuro se refrigera en un segundo tambor (13) y se muele después, primero en trituradores y después en molinos (14) hasta polvo fino. Antes de la molienda fina se le adiciona un 2 a 3 % de yeso (15) para aumentar el poder de aglutinación.

El cemento así obtenido se envasa en sacos especiales o se transporta en silos sobre camiones o vagones.

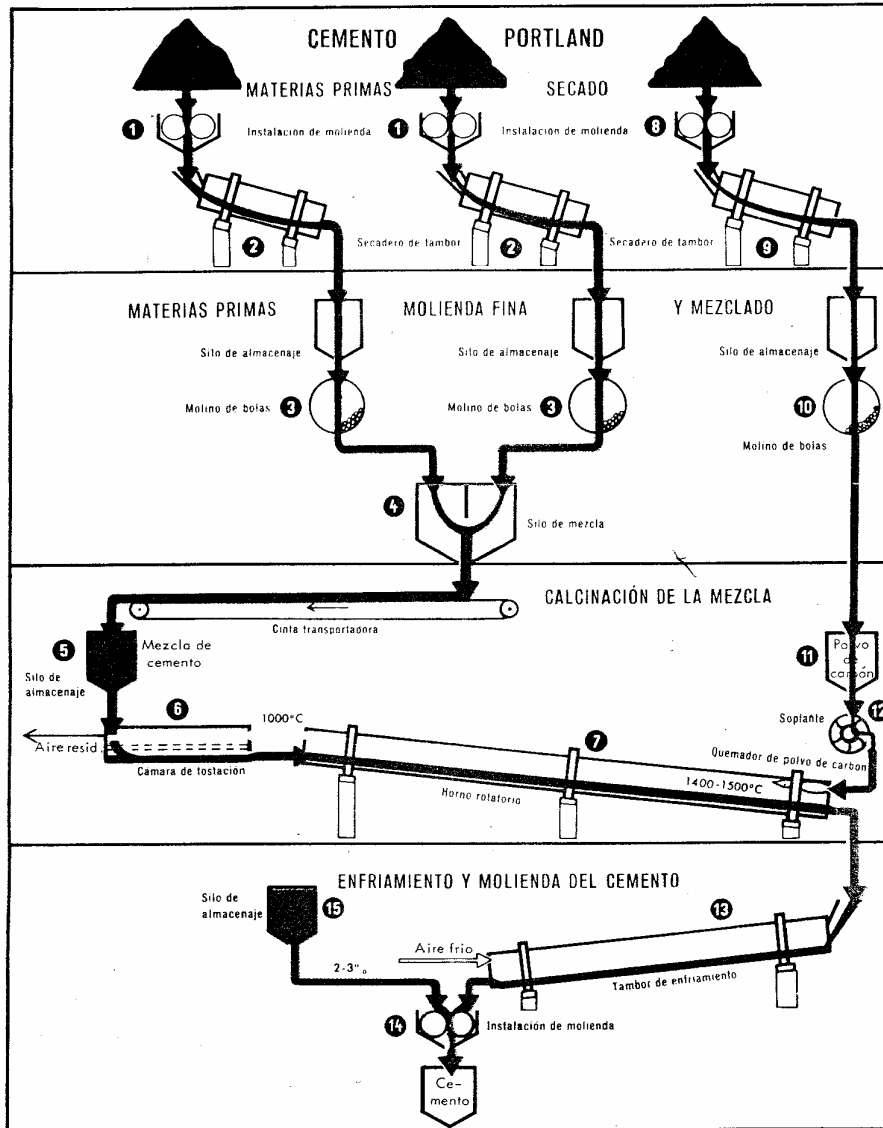


Figura 2.1. Diagrama de flujo de la preparación del cemento Pórtland (19).

Métodos de fabricación de cerámicas

De la misma manera, la producción de la porcelana tiene una etapa que es la más importante llamada Calcinación final que se describe a continuación.

Antes de la calcinación final la masa precalcina se somete a un vidriado (18), es decir, se sumergen los objetos en un líquido de vidriado, se secan (19) y se les pone de nuevo en cápsulas de chamota. En la subsiguiente calcinación en la parte inferior del horno de dos pisos a temperaturas de 1350^o a 1450^o C (20) la capa de vidriado funde y se vitrifica al enfriar. El objeto anteriormente poroso y mate obtiene de esta manera una superficie lisa y

brillante. Los objetos terminados se clasifican en calidades (21) y se eliminan por pulido las desigualdades que pudiesen tener (22).

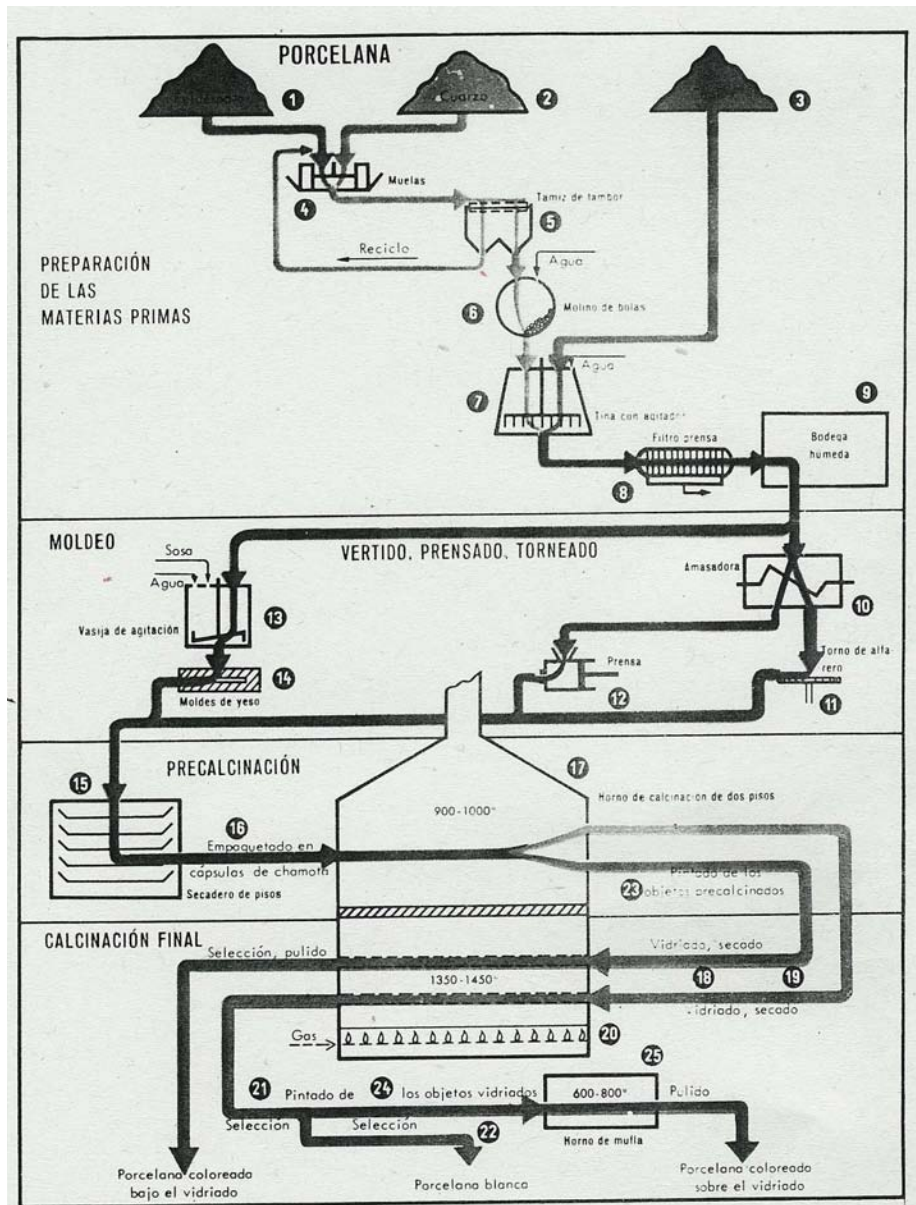


Figura 2.2. Diagrama de flujo de la preparación de la porcelana (19).

Otras de las técnicas modernas que también incluyen procesos a elevadas presiones y temperaturas son, por ejemplo, la síntesis del amoníaco, la hidrogenación del carbón y del monóxido de carbono, la polimerización a altas presiones, la síntesis de metanol, etc. Estas síntesis se llevan a cabo a temperaturas entre 200° a 600° C y presiones de hasta 1 000 atmósferas y frecuentemente en presencia de catalizadores.

2.2. MATERIALES RESISTENTES EN CONDICIONES SEVERAS DE PRESIÓN Y TEMPERATURA

Como ya se mencionó, los procesos son muy variados ya que se llevan a cabo en condiciones de trabajo de las cuales se puede mencionar algunas variables como temperatura, presión, concentración, etc. Y si se tiene las mismas operaciones unitarias en un proceso y otro, no se puede utilizar el mismo material sin antes saber si las condiciones de operación son similares y aunque esto sucediera, se debe de tomar en cuenta las sustancias con las cuales se tiene contacto durante el proceso, de manera que no se puede saber a ciencia cierta si se debe de llevar a cabo la selección del material de una manera tan simple.

Cuando se maneja un proceso se debe de recordar la figura del esquema general de un proceso químico que se muestra a continuación.

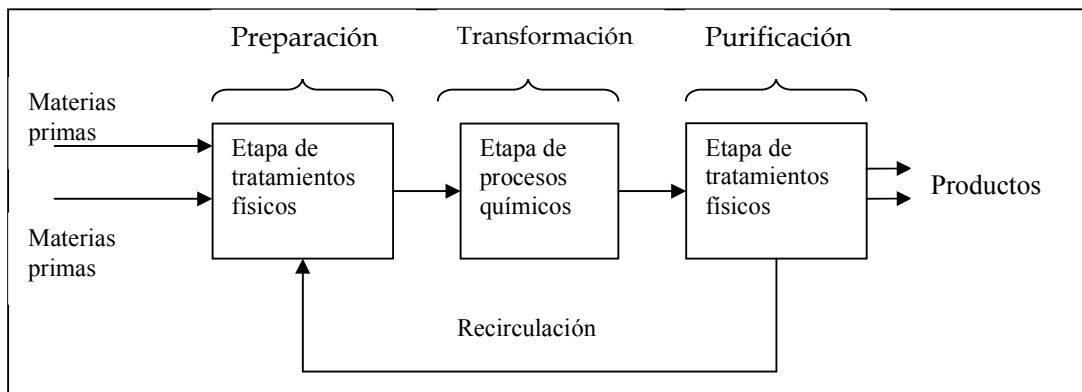


Figura 2.3. Esquema general de un proceso químico ⁽¹⁷⁾.

En la etapa de tratamientos físicos se llevan a cabo operaciones unitarias antes mencionadas, esto con la intención de que la etapa de procesos químicos sea de manera eficiente.

Los tratamientos físicos y químicos se llevan a cabo de manera que se obtenga un proceso eficiente y económico. Y con una serie de intercambios de materia y de energía durante los procesos.

Cuando se tiene un proceso a microescala o en el laboratorio, se hacen experimentos para la determinación de las presiones y temperaturas de operación de cada uno de los equipos para que de esta manera se lleve a una planta industrial.

El ingeniero de diseño junto con el ingeniero de proceso y el ingeniero de materiales establecerán los materiales a utilizar después de que se tengan todas las condiciones del proceso, las sustancias que intervienen en el proceso y una gran lista de materiales que se puedan utilizar. Los equipos tendrán que resistir todas las características de servicio que se tengan en el proceso.

La presión y la temperatura son de gran importancia ya que intervienen en el proceso de manera inequívoca. Juegan uno de los papeles más importante en la selección de materiales para conformar el proceso. Y tienen un efecto importante en la degradación del material por corrosión como se verá en la siguiente parte.

La temperatura interviene en todos los procesos químicos y físicos desde la licuefacción hasta la destilación, además de las reacciones químicas. Los cambios en la temperatura pueden causar alteraciones considerables de las propiedades de los materiales, debidos principalmente a:

- Reblandecimiento
- Degradación
- Transformaciones de fases
- Fragilización

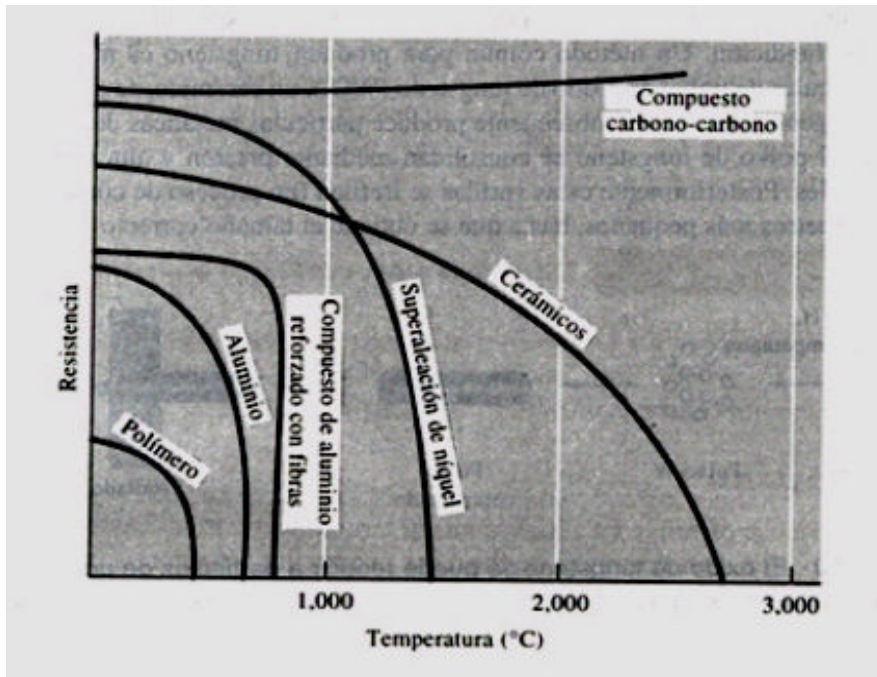


Figura 2.4. Efecto de la temperatura sobre la resistencia mecánica ⁽²²⁾.

La presión interviene en los procesos de manera simultánea a la temperatura, aunque en unos de manera más importante como ejemplo cuando tienen en el proceso gases, cambios de estado, etc. La presión afecta más cuando se tiene un material estructural, ya que éste se somete a fuerzas mecánicas (estas pueden superar la presión de diseño) y puede llegar a colapsar, tanto por el cambio de presión o por el cambio de temperatura debido a los cambios en sus propiedades ya expuesto con anterioridad.

La serie de aleaciones H señala los aceros a prueba de calor, que se pueden utilizar para los usos estructurales en las temperaturas del servicio entre 1.200 y 2,200°F.

Para la fabricación de los equipos se debe de tomar en cuenta las condiciones de operación (presión y temperatura de servicio), las condiciones en las cuales se lleva a cabo el diseño (presión y temperatura de servicio o en otros casos presión y temperatura máxima de operación), para lo cual se presentan las siguientes definiciones de ámbito técnico:

Presión de diseño (P_d): se entiende como el valor de la presión que se toma para el cálculo del espesor del aparato, a la temperatura de diseño. La presión de diseño no podrá ser menor que la presión máxima de servicio.

Presión máxima de servicio (P_{ms}): se entiende como la presión más alta que se puede dar en el aparato o sistema, en condiciones extremas de funcionamiento del proceso.

Presión de precinto (P_t): se entiende como la presión a la que están tarados los elementos de seguridad que protegen al aparato o al sistema.

Presión de servicio (P_s): se entiende como la presión normal de trabajo del aparato o sistema a la temperatura de servicio.

Presión de prueba (P_p): Se entiende como aquella presión a la que se somete el aparato o sistema para comprobar su resistencia en las condiciones estáticas para las que fue diseñado. Corresponde a la mayor presión efectiva que se ejerce en el punto más alto del aparato o sistema durante la prueba de presión.

Temperatura de diseño (T_d): es el valor de la temperatura que se toma para el cálculo del espesor del aparato.

Temperatura máxima de servicio (T_{ms}): es el máximo valor de la temperatura que se estima puede producirse en el interior del aparato o sistema, en condiciones extremas de funcionamiento.

Temperatura de servicio (T_s): Es el valor de la temperatura alcanzada en el interior del aparato o sistema en condiciones normales de funcionamiento a la presión de servicio.

2.3. MATERIALES RESISTENTES A LA AGRESIÓN QUÍMICA

La mayoría de los materiales se encuentran expuestos a diferentes cambios ambientales y climáticos como lo son: cambios en la temperatura, y cambios de las condiciones atmosféricas; pero en algunos caso las mismas condiciones de servicio requieren materiales expuestos a condiciones extremas que son capaces de provocar que el material se desgaste o se corroa de manera más rápida de lo planeado en el diseño.

Los ataques químicos en los materiales se dan por el ataque debido a la corrosión y otros factores no tan importantes. Como hemos visto, en el caso particular del acero han aparecido algunos nuevos conceptos que toman parte del proceso de corrosión, lo que nos lleva a una definición más específica.

La *corrosión* es la reacción de un material con el oxígeno u otros gases, particularmente a alta temperatura. Los líquidos corrosivos también atacan a algunos materiales. De todos los problemas metalúrgicos que conciernen a un ingeniero, el más importante desde el punto de vista económico es la corrosión. Los metales no se corroen en lugares donde no hay atmósferas corrosivas.

En la selección de los materiales de construcción dentro de la Ingeniería Química, es de vital importancia considerara características del sistema, poniendo especial atención a los factores extraños que pueden influir en la corrosión. Así como los materiales con los que se construirá el equipo; por lo que es necesario tener conocimientos sobre las características de los materiales cuando se exponen a determinados ambientes, que en muchas ocasiones reaccionan con ellos para formar productos indeseables y que debilitan el material.

La corrosión se tiene que tomar en cuenta de manera conjunta con las variables del proceso ya que estas pueden repercutir en la velocidad de corrosión. Por lo tanto, el estudio

sobre las características y el comportamiento general de los materiales cuando se exponen a determinados ambientes, que en bastantes ocasiones reaccionan con ellos para formar productos indeseables y que deshabilitan al material para este uso o proceso.

Formas de corrosión

La corrosión se manifiesta en formas que tienen ciertas similitudes y que, por lo tanto, se pueden clasificar en ciertos grupos específicos. La siguiente tabla muestra una clasificación de la corrosión de acuerdo con los mecanismos de ataque y los tipos de corrosión que se enumeran bajo cada mecanismo.

Corrosión general	Corrosión localizada	Corrosión con influencia metalúrgica	Degradación mecánica asistida	Daño asistido por el ambiente
Atmosférica	Filiforme	Ítergranular	Erosión	Corrosión bajo esfuerzo
Galvánica	De grietas	Desaleación	Estregado	Daño por hidrógeno
Por corrientes parásitas	Picadura		Cavitación	Fatiga por corrosión

Tabla 2.1. Formas y mecanismo s de corrosión ⁽²⁾.

Tipo de corrosión	Características
Ataque Uniforme	Es la corrosión más común. Generalmente se lleva a cabo por reacción química o electroquímica
Corrosión galvánica	Es común y se basa en la diferencia de potencial entre dos metales. Se ve muy influida por la pasividad y los inhibidores
Corrosión por grieta	También se le llama corrosión por depósito de ataque o célula de concentración de corrosión. Generalmente ocurren forma galvánica en ausencia de oxígeno
Corrosión por picadura	Se localiza por diferentes velocidades de corrosión y es extrema e intensa. Es la más destructiva. Usualmente requiere de un tiempo prolongado de iniciación antes de comenzar. Las causantes de este tipo de corrosión son el cloro y el bromo especialmente en medio ácido
Corrosión intergranular	Ataca a los límites de gránulos de la última capa, principalmente a los aceros inoxidable.
Lixiviación selectiva	En este se retiran uno a varios solutos de un sólido. Ataca principalmente al latón y al bronce
Corrosión-erosión	Para que se lleve a cabo se necesita tener un fluido en movimiento. No se encuentra en los sistemas en aerosol
Corrosión por tensión	Esta produce una delgada y profunda rendija. El acero y el aluminio son muy resistentes a este tipo de corrosión

Tabla 2.2. Tipos y características de la corrosión ⁽¹¹⁾.

La corrosión general es el ataque corrosivo que provoca el adelgazamiento uniforme del material, la corrosión atmosférica implica el aire natural, pero el componente del aire que causa la corrosión es la humedad (humedad relativa).

Otro inconveniente se presenta en el desgaste que se refiere a la remoción del material superficial como resultado de una acción metálica. Y hay cuatro tipos de desgaste:

- Desgaste adhesivo, éste se da cuando dos superficies suaves se deslizan una sobre otra y fragmentos son arrancados de una superficie para adherirse a la otra. E intervienen fuerzas adhesivas.
- Desgaste abrasivo, cuando una superficie dura y rugosa se desliza sobre una superficie suave y la formación resultante son las partículas de desgaste.
- Desgaste superficial por fatiga, se presenta durante el deslizamiento repetido o cuando se rueda sobre un riel. La formación de grietas en la superficie lleva a la ruptura de la misma.
- El desgaste corrosivo tiene lugar con el deslizamiento en un ambiente corrosivo y de hecho suma la degradación química a los efectos físicos del desgaste.

Además de estas cuatro formas de erosión pueden ocurrir otros mecanismos relacionados con las aplicaciones del material. Como la cavitación que comprende el daño de la superficie causada por el colapso de una burbuja en un líquido adyacente. El daño de la superficie resulta del choque mecánico asociado con el repentino colapso de la burbuja.

2.3.1. EL ATAQUE DEBIDO A LA CORROSIÓN

Se puede definir a la corrosión como el deterioro que sufre un material (habitualmente un metal) en sus propiedades debido a una reacción con el medio. Si se pretenden comprender los métodos de control de la corrosión, es necesario describir primero en un cierto grado de profundidad las reacciones y los factores que influyen en el fenómeno.

La mayoría de los metales se encuentran en estado natural formando parte de minerales, ya sea como óxido o metales. El mineral común de hierro se asemeja al herrumbre, éste es convertido a hierro metálico mediante el empleo de energía y esta misma energía es la que se libera cuando el hierro se convierte en herrumbre debido a la corrosión en efecto, es la energía que guarda el metal durante el proceso de refinación lo que hace posible el proceso de corrosión.

El fenómeno corrosión puede ser definido también como el deterioro de los materiales, a causa de alguna reacción con el medio ambiente en que son usados. Este fenómeno no siempre involucra un cambio de peso o un deterioro visible, ya que muchas formas de corrosión se manifiestan por un cambio de las propiedades de los materiales, disminuyendo su resistencia.

El caso de las aleaciones metálicas y particularmente la del acero es el más ampliamente difundido; en estos casos la corrosión se debe detallar con más precisión basándose en la estructura atómica de la materia.

En este caso el átomo está formado por un equilibrio de cargas positivas llamadas protones y de cargas negativas llamadas electrones; los materiales tienden a perder electrones o en otras palabras cierta energía, formando un ión positivo, la cual se separa del metal perdiendo masa. Esto sucede cuando normalmente al entrar un metal en contacto con un electrolito (medio conductor de corriente) se da lugar a reacciones electroquímicas de oxidación y reducción. Se dice entonces, que ha comenzado un proceso de corrosión en medio húmedo con una circulación simultánea de corriente eléctrica, normalmente denominada pila galvánica.

Naturaleza electroquímica de la corrosión

Los problemas de corrosión que ocurren en la producción industrial son debidos a la presencia de agua. Estando ésta presente en grandes o pequeñas cantidades siempre será necesaria para el proceso de corrosión. A causa de lo anterior, entonces la corrosión en presencia de agua es un proceso electroquímico, lo cual quiere decir que hay flujo de corriente eléctrica en el proceso de corrosión y para que esto fluya tiene que existir una fuerza impulsora, la cual actúa como una fuente potencial y con esto se completa el circuito eléctrico.

La fuente potencial en este proceso es la energía almacenada por el metal durante el proceso de refinación. Según el metal es la cantidad de energía en su refinación y por eso tendrán diferentes tendencias a corroerse. La magnitud de esta fuerza impulsora generada por el metal cuando está en contacto con una solución acuosa se llama potencial del metal. Este valor se relaciona con la energía que se libera cuando el metal se corroe. Circuito eléctrico de la corrosión.

En conjunto con la fuente de voltaje debe existir un circuito completo; éste consiste en dos partes:

A) **Ánodo.** Es aquella porción de la superficie del metal que se está corroyendo. Es el lugar donde el metal se disuelve y pasa a la solución; al momento de ocurrir esto es por que los átomos metálicos pierden electrones y pasan a la solución como iones. Los átomos contienen la misma cantidad de protones y electrones y al ocurrir una pérdida de electrones ocurre un exceso de carga positiva lo que resulta un ión positivo.

B) **Cátodo.** Es la cantidad de superficie metálica que no se disuelve y es el sitio de otra reacción química necesaria para que ocurra el proceso de corrosión. Los electrones que se liberan al dividir el metal en el ánodo viajan hasta la zona catódica en donde se consumen por la reacción de un agente oxidante presente en el agua. El consumo de electrones se llama reacción de reducción.

C) **Electrolito.** Para que se complete el circuito eléctrico en la superficie metálica, tanto como el cátodo como el ánodo deben estar cubiertos por una solución conductora de electricidad, es decir, de electrolito. El electrolito conduce la corriente del ánodo al cátodo y luego vuelve al ánodo a través del metal, completando el circuito.

La combinación de estos tres componentes es conocida como celdas de corrosión.

Composición del electrolito

Existen dos aspectos por los cuales la composición del electrolito afecta la corrosión; primero afecta la conductibilidad y segundo, el potencial de corrosión básico del sistema, este último se relaciona por la presencia o no de agentes oxidantes en la solución los cuales son importantes para construir la parte catódica de la celda de corrosión.

Por lo general, se tienen dos agentes oxidantes en la mayoría de los problemas, ellos son el ión hidrógeno y el óxido molecular. Las medidas para combatir la corrosión dependen del sistema que participe en la celda, por lo tanto lo primero que se debe hacer es definir las reacciones catódicas que participen.

2.3.2. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CORROSIÓN

Conductividad: Como ya se ha dicho anteriormente, la superficie metálica debe estar cubierta de una solución eléctricamente conductora para conducir corriente eléctrica desde el ánodo al cátodo en la celda de corrosión; entre mejor conductor sea el electrolito más fácil va

a fluir la corriente y ocurrirá mayor corrosión. En el caso de electrolitos poco conductores existe una gran resistencia al flujo de corriente minimizándose la reacción de disolución. Es importante recalcar que la cantidad de metal que se disuelve es directamente proporcional a la cantidad de corriente que fluye entre el ánodo y el cátodo.

pH: La velocidad de corrosión del acero aumenta a medida que disminuye el pH. La velocidad de corrosión con el pH está influenciada por la composición del electrolito. Al aumentar la concentración del ión hidrógeno es más ácida la solución y es menor el valor de pH. La magnitud de pH nos indica la intensidad de acidez o alcalinidad del medio. Esta magnitud se indica por medio de una escala es la cual el número siete indica que la solución es neutra; los números menores de siete indican que es ácida y los mayores alcalinidad.

CORROSION vs pH AGUA

El agua es el elemento más importante para que exista corrosión y mucho más importante es el pH.

- pH >7.0 Significa que no hay corrosión.
- pH 7.0 - 6.5 Posible corrosión menor.
- pH 6.5 - 6.0 Corrosión moderado con posible picadura.
- pH < 6.0 Significa corrosión con probable picadura.

Es también importante la velocidad del fluido, donde a mayores velocidades acelera más la corrosión debido a la erosión que provoca las velocidades altas del fluido.

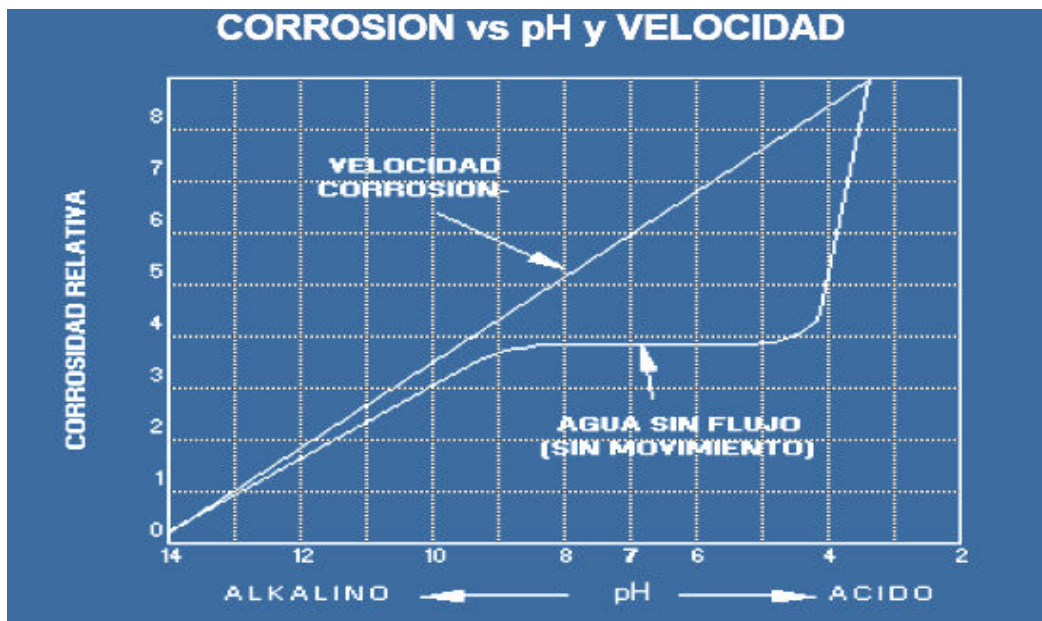


Figura 2.5. Relación que tiene la velocidad de flujo y el pH con la velocidad de corrosión ⁽¹³⁾.

GASES DISUELTOS

El oxígeno, el dióxido de carbono y el ácido sulfhídrico disueltos en agua aumentan la corrosividad de ésta; por lo tanto, los gases son la principal causa de los problemas de corrosión.

Oxígeno disuelto: De los gases disueltos es el peor de todos, basta con una pequeña concentración y puede producir una corrosión severa y si uno de los otros gases disueltos está presente aumenta la corrosión. El oxígeno siempre acelera la corrosión ya que es un oxidante fuerte y se reduce rápidamente en el cátodo, lo que significa que se combina muy fácil con los electrones del cátodo, con lo cual la velocidad de corrosión estará limitada con la rapidez con este gas se difunde desde el seno del electrolito a la superficie del metal.

Dióxido de carbono disuelto: Si el dióxido de carbono se disuelve en agua se forma ácido carbónico, disminuyendo el pH de la solución y aumentando su corrosividad. Tanto este como el oxígeno causan un picado y la corrosión causada por el dióxido de carbono se conoce como corrosión suave. En la figura 2.6. se muestra la relación que tiene la corrosión relativa y la concentración en partes por millón de CO₂.

Presión parcial (psi) y su relación con la corrosión
 P > 30 Corrosivo
 7 - 30 Posible corrosión
 0 - 7 No corrosivo

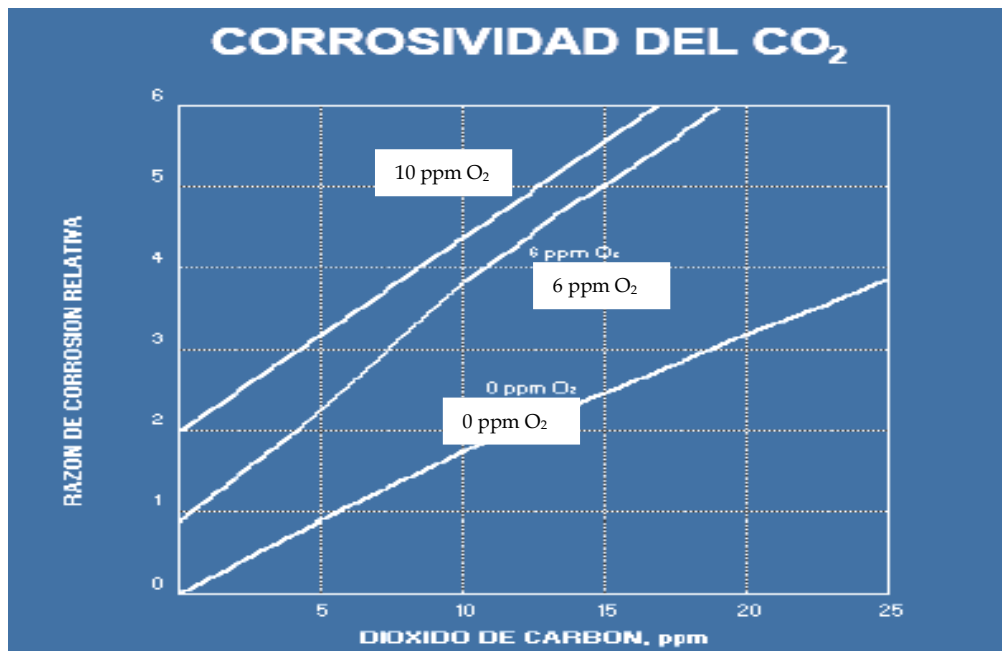


Figura 2.6. Corrosión relativa en función de la concentración del CO₂ (13).

Ácido sulfhídrico disuelto: El ácido sulfhídrico es muy soluble en agua y se comporta como un ácido débil y causa un picado. La presencia de éste se conoce como una corrosión ácida. La unión de este con el dióxido de carbono es más agresiva que el ácido sulfhídrico solo y esta combinación es la que se encuentra en los pozos petrolíferos. Si en estas condiciones se presenta una pequeña cantidad de oxígeno, el resultado es desastroso. En la figura 2.7. se muestra la relación que tiene la corrosión relativa y la concentración en partes por millón (ppm) de ácido sulfhídrico a distintos pH.

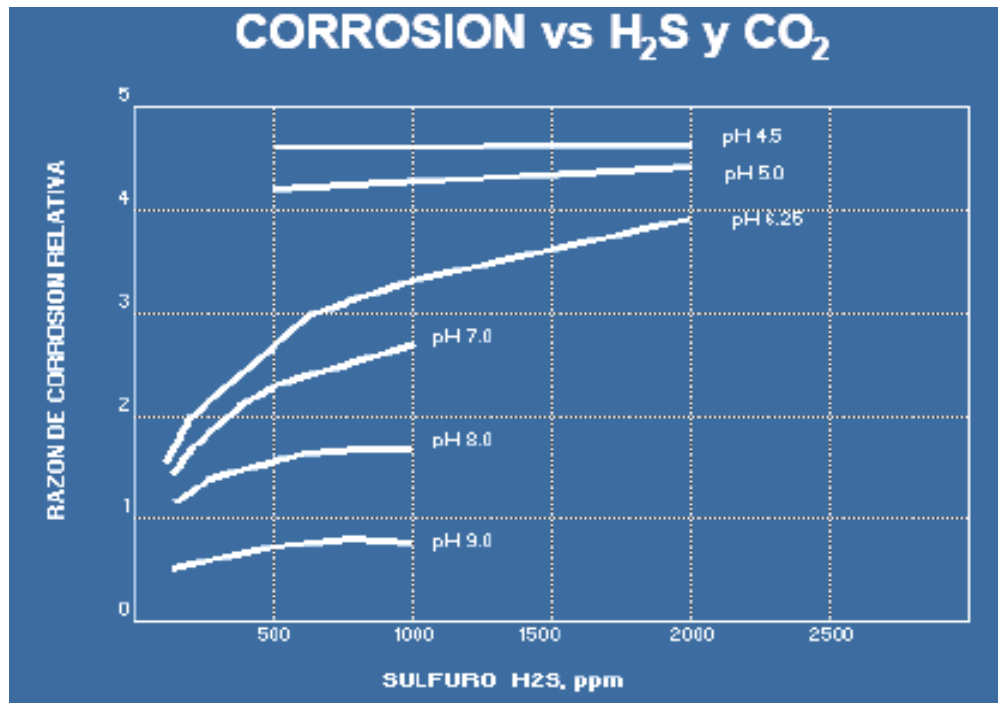


Figura 2.7. Corrosión relativa en función de la concentración y el pH impuesto por concentraciones de Ácido sulfhídrico ⁽¹³⁾.

VARIABLES FÍSICAS

Temperatura: Al igual que las reacciones químicas, la velocidad de corrosión aumenta generalmente con la temperatura; la velocidad se duplica por cada diez grados centígrados que aumenta la temperatura. Una excepción de esto podría ser en un sistema abierto a la atmósfera la velocidad de corrosión inicial aumenta disminuyendo posteriormente si la temperatura se aumenta. En la figura 2.8. se muestra la relación que tiene la corrosión relativa y la velocidad del flujo a distintas temperaturas.

Presión: La presión afecta la velocidad de las reacciones químicas en la que participan gases y por consiguiente las reacciones de corrosión no son una excepción. Debido a que los materiales están expuestos siempre a la corrosión se deben de tomar en cuenta como un parámetro para el diseño.

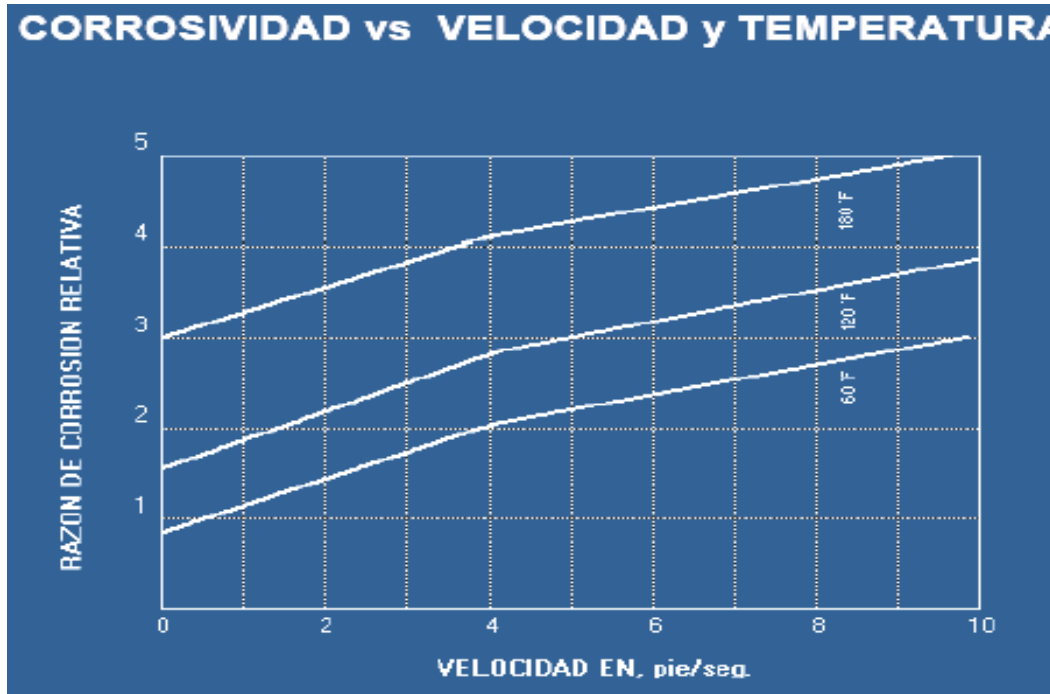


Figura 2.8. Corrosión relativa en función de la temperatura y de la velocidad de flujo ⁽¹³⁾.

2.4. OTROS FACTORES QUE INFLUYEN DE DEGRADACIÓN DEL MATERIAL

Acción solar: Todas las sustancias sólidas y gaseosas sobre la Tierra, mantienen una relación directa con la actividad solar, tanto para su desarrollo evolutivo como para el degradado involutivo. En realidad, si hacemos abstracción de los daños que pueden provocar en una realización arquitectónica o a un monumento, todo lo que resulta de la degradación solar va a formar parte de otras estructuras que lo asimilan.

Los rayos solares atacan inexorablemente a la materia expuesta al irradiar calor, radiación cósmica, rayos infrarrojos y ultravioletas. Por ejemplo, el calor irradiado por el sol sobre las superficies con capacidad de absorción, buenos o malos conductores, movilizan la actividad molecular dilatando las masas, creando pares de fuerza entre materiales de distinta estructura molecular, creando desplazamientos que se traducen en fisuramientos capilares estructurales.

Los materiales expuestos evaporan tanto el agua de interposición molecular como otros residuos volátiles que permiten el mantenimiento de su elasticidad o flexibilidad. Los materiales bituminosos y plásticos se oxidan o reducen, perdiendo vida útil. Morteros frescos evaporan rápidamente su agua de fragüe, provocando contracciones y despegues de su apoyo. Revestimientos de cerámicos oscuros absorben calor y dada su naturaleza rígida, se comprimen entre sí y despegan del sustrato.

Las cubiertas metálicas y las no ferrosas en general, sufren variaciones en su conformación cristalina, se hacen quebradizas y cristalinas. El plomo sólo se degrada combinado con agua y contaminantes. Todos los procesos degenerativos de óxido reducción se aceleran a mayor temperatura al perder estanqueidad sus pinturas protectoras.

3. FUNDAMENTOS DE LA SELECCIÓN DE MATERIALES

Las bases para la selección de materiales son el panorama general de lo que hace el material y su entorno en el que se lleva a cabo la función. Cada una de las condiciones que intervengan en el proceso, que pueden afectar la función del material, se deben tomar en cuenta por el ingeniero diseñador de equipos.

3.1. ETAPA DE DISEÑO Y LA RELACIÓN DE LA SELECCIÓN DE MATERIAL

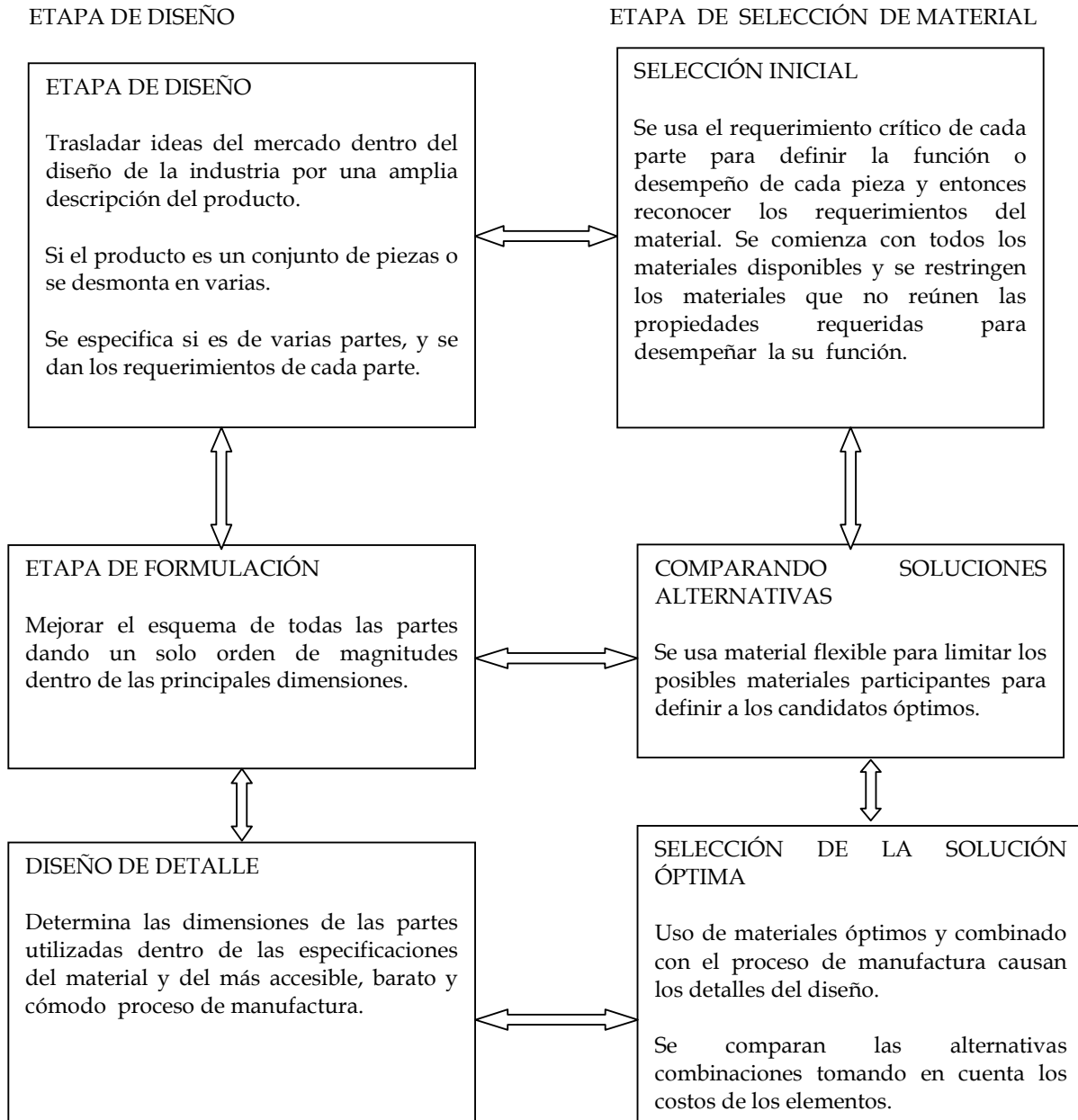


Figura 3.1. Relación existente entre las etapas de diseño y las etapas de la selección de materiales relacionadas entre sí⁽³⁾.

Al tomar en cuenta todos los parámetros, los materiales, ahora se debe de tomar en cuenta el proceso por el cual se obtiene el material ya que es una parte importante y tiene que ver con el costo y también con las propiedades químicas del material.

Lo esencial para una aplicación práctica de un material en la Ingeniería Química es siempre la selección del que reúne las mejores propiedades para el desempeño de la función como puede ser estructural o funcional según sea el caso.

No se debe olvidar que el material se refiere a la denominación de las materias, a partir de las cuales, por elaboración manual e industrial, se fabrica un aparato para el servicio de un último consumidor.

Se deben de tomar en cuenta todos los factores que rodean al ambiente y el uso específico del material. Son muchas las causas de las fallas de material, desde pequeña contaminación en su tratamiento, hasta fracasos provocados por la insuficiencia de datos facilitados para la construcción del objeto acerca de las exigencias impuestas al material.

El esquema de la figura 3.2. muestra el ciclo de elección para el inicio de un diseño de cualquier equipo o máquina.

Para un uso adecuado de los materiales en la ingeniería química son de interés no solo sus propiedades mecánicas, sino también su resistencia a la acción de las sustancias químicas empleadas en las reacciones químicas y en los procesos físicos.

La selección de materiales puede ser más que una consideración objetiva de los parámetros de diseño. El factor subjetivo del atractivo para el consumidor puede ser igualmente importante.

El proceso de fabricación de una pieza; tiene una importante trascendencia en las características de los materiales, esto se da debido a que, las variables del proceso tienen un amplio intervalo que provoca diferencias significativas entre carga y carga. Únicamente cuando se controlan con la máxima precisión todos los procesos de fusión, de enfriamiento, conformación, colada, tratamiento térmico, laminación, forja, etc. Puede contarse con materiales que se comporten del mismo modo bajo condiciones idénticas.

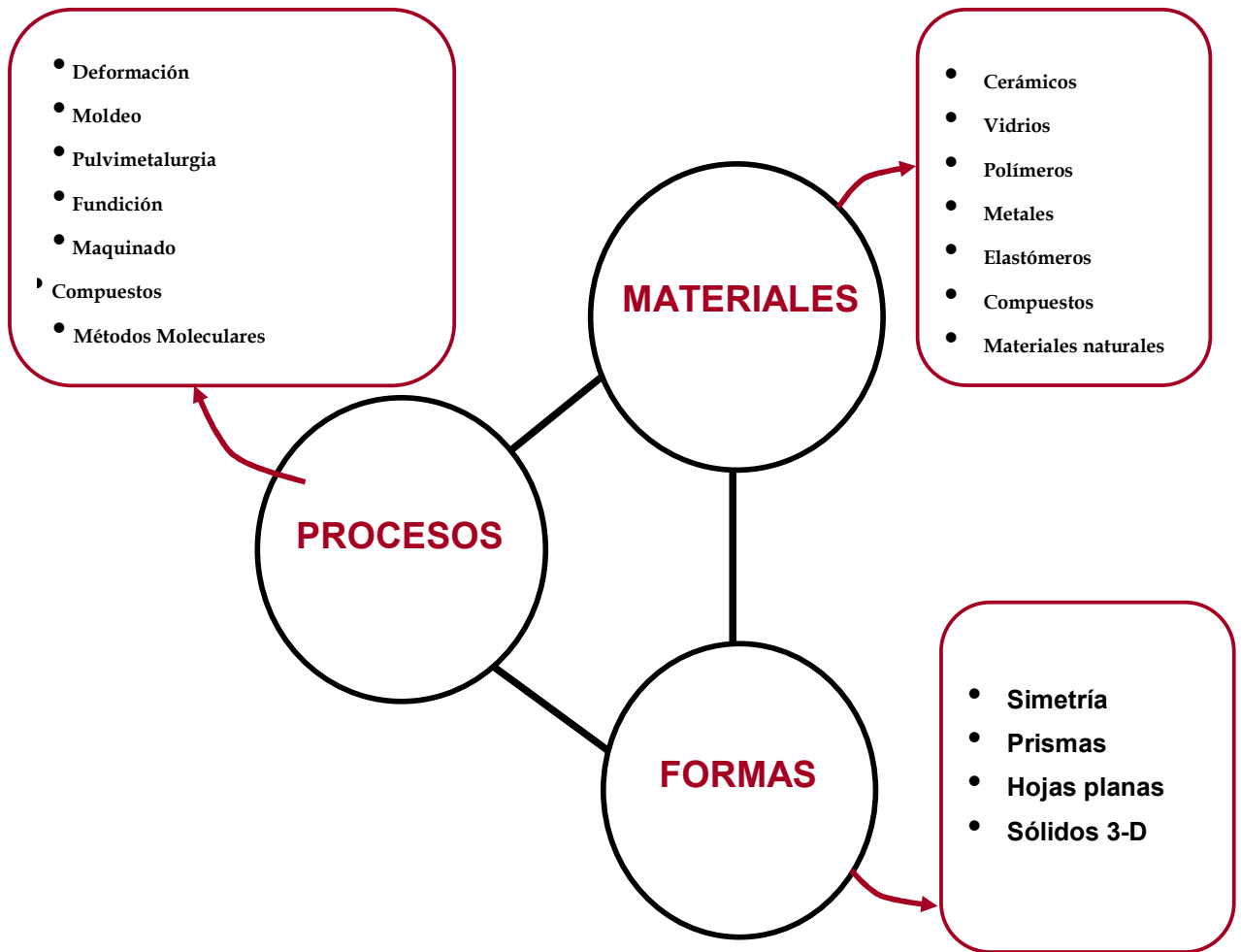


Figura 3.2. Los materiales, los procesos y las formas para el uso en ingeniería ⁽⁷⁾.

Debido a las fallas por contaminación o por que la materia prima no estaba en condiciones ideales para la manufactura del material, es realmente importante utilizar el material de la naturaleza y con las especificaciones exigidas.

3.2. EL PROBLEMA DE LA SELECCIÓN DE MATERIALES

Cuando se diseña un equipo de proceso se debe de tomar en cuenta una serie de factores para obtener el material óptimo que satisfaga de la mejor manera todas las propiedades que busca el diseñador.

Un aspecto muy importante que se debe de tomar en cuenta durante el diseño y la selección de materiales son tanto las funciones como los objetivos, ya que estos expresan lo que se necesita obtener del material y a qué tipo de material se debe utilizar: del material

estructural o del que se elige en base a sus propiedades. Para saber cuál de los dos materiales se debe utilizar se puede saber al contestar otra u otras preguntas como lo son ¿Para qué es? o ¿Para qué sirve? ¿Es un aislante térmico? ¿Es parte de una estructura que carga? además si ¿esta expuesto a qué fuerzas de torción, como la producida por el viento? ¿En qué condiciones ambientales? ¿A qué temperaturas se usa? ¿Cuáles son los reactivos, productos o subproductos que se obtienen y que se encuentran en contacto con el material?

Después de responder las preguntas anteriores se anexan todas las características de las propiedades que debe reunir el material, por ejemplo, si se usa un material muy resistente, pero no se puede moldear adecuadamente este no se puede utilizar. De donde además de las propiedades se obtenemos también las variables libres que representan las propiedades que no se encuentran dentro del perfil de propiedades del material que se va a seleccionar.

Al estudiar las respuestas ya podemos descartar a los materiales que no podrán cumplir este trabajo ya sea numéricamente solo extrayendo a los materiales que se encuentren dentro de los límites requeridos o por el desempeño.

En el siguiente esquema se presentan las preguntas que se debe hacer el diseñador para ubicarse en el entorno ideal para seleccionar el material de una manera adecuada.



Figura 3.3. Requerimientos del diseño-especificación del material (7).

3.2.1. FUNCIÓN DEL MATERIAL

Para resolver el problema de la selección de materiales se deben de plantear varias cuestiones como las anteriores, ya que es indispensable saber todas las condiciones y las variaciones del proceso en el cual se van a utilizar los materiales en la industria tienen y, por lo general, pueden tener varias funciones como lo son formar una estructura (fuerzas de torsión, compresión y corte), almacenar o ser parte de una estructura de un equipo de proceso (estar en contacto con los flujos del proceso a las temperaturas del proceso), las dos opciones anteriores juntas y /ó con movimiento.

3.2.2. OBJETIVOS DE LA SELECCIÓN DEL MATERIAL

Para las funciones distintas del material se pueden tomar en cuenta los principales aspectos a cubrir. Como en el esquema de la figura 3.5. se da el ejemplo de un material estructural del cual su principal función es soportar una carga. De esta manera se analiza y en el caso de materiales que se encuentran en contacto con los flujos de proceso, se analiza por el caso de la corrosión, su tipo y cuales son los factores que pueden influir en ésta. Además se debe de tomar en cuenta que lo principal es reducir siempre los costos:

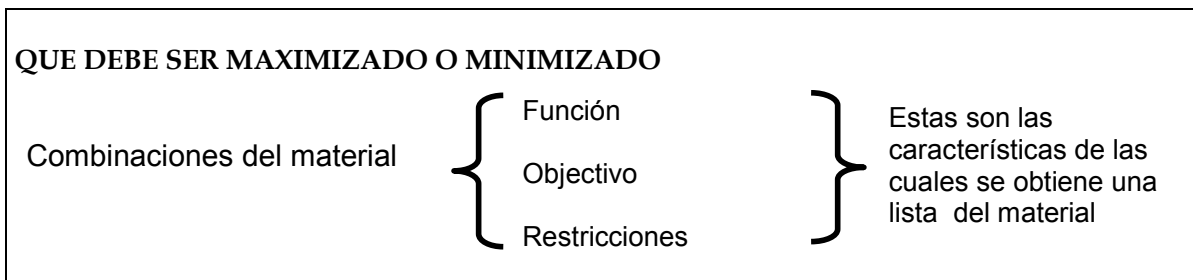


Figura 3.4. Inicio del seguimiento para la caracterización del material (7).

3.2.3. RESTRICCIONES EN LA SELECCIÓN DEL MATERIAL

Al encontrar todas las condiciones esenciales que deben reunirse, se hace un recorte de los materiales que no cumplen con las propiedades que el diseñador desea y que son similares a las que el proceso requiere. En la figura 3.6. se muestra un ejemplo para tubos de intercambio de calor en el cual el problema se soluciona restringiendo por las propiedades térmicas de los materiales (si no las tiene, no es un candidato a seleccionar) , ya que se necesita poca resistencia térmica, se tiene la temperatura de servicio (que debe resistir el material) y con esto solo se enlistan los materiales que tienen estas características y el siguiente paso es saber cuales materiales son atacados por los fluidos que intercambian calor.

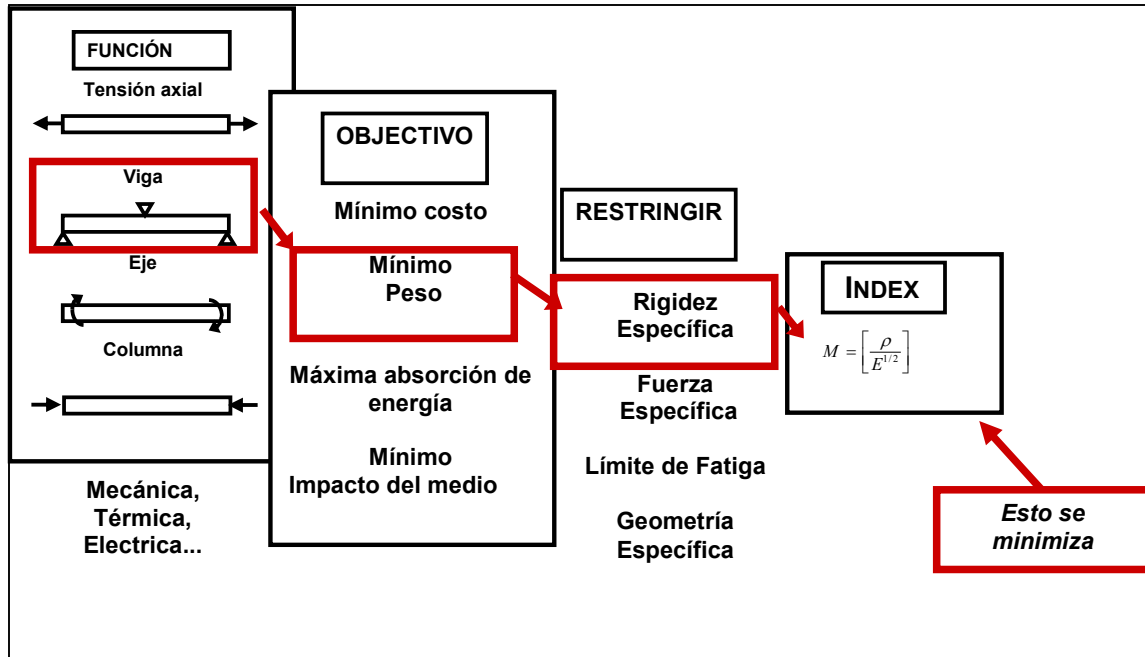


Figura 3.5. Seguimiento para la selección del material según sus propiedades (7).

Otra restricción es por el proceso de manufactura ya que quizás se tiene la maquinaria y solo se aceptan los materiales que se puedan fabricar con esta maquinaria o proceso.

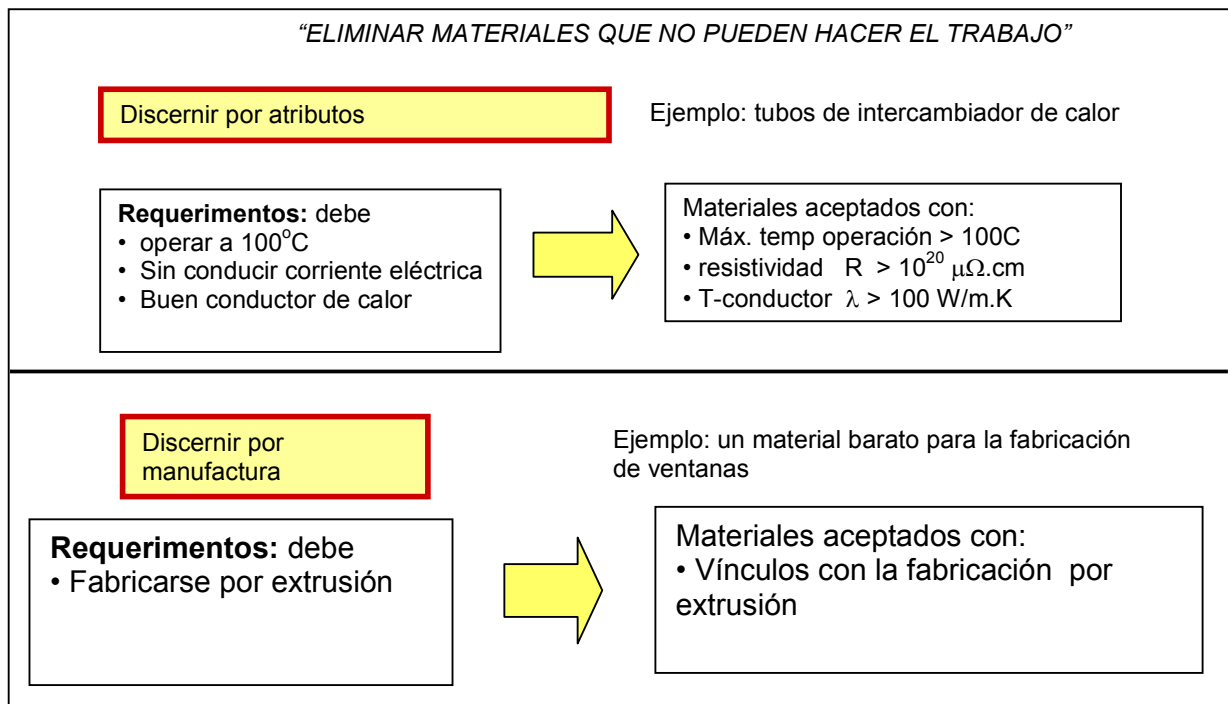


Figura 3.6. Discernimiento de materiales con el uso de restricciones (7).

Al conocer las propiedades esenciales, deben reunirse factores físicos, mecánicos, de procesamiento, factores de duración de los componentes, costo y disponibilidad, además de los requisitos técnicos se deben de decidir cuales son las propiedades que no tienen restricciones llamadas para este caso las variables libres, estas no se les tomó tanto en cuenta, por ejemplo, en las naves espaciales importan todas las propiedades, y se deja de lado el costo, esta seria una variable libre.

4. CRITERIOS UTILIZADOS PARA UNA ADECUADA SELECCIÓN DE MATERIALES

Los criterios son las estimaciones de las propiedades que debe reunir el material, el diseñador debe reunir y conocer los diferentes códigos y propiedades de los materiales que interviene en la fabricación y saber cuales son los objetivos adecuados en la selección de materiales según su función y su interacción, tanto con las sustancias químicas y con el ambiente.

4.1. ¿QUE BUSCA EL DISEÑADOR?

El diseñador no busca un material, sino un perfil de propiedades (una combinación específica), por eso “piensa al material” como un conjunto de atributos: sus propiedades.

Toda la selección de materiales se hace para determinar un material específico como una selección óptima. Debe encontrarse el balance de todas y cada una de las propiedades, además, de que según sea el caso o su importancia (si es para un componente crítico) se exige una calidad elevada del material.

La calidad de un material es un conjunto de propiedades que sean óptimas o deseables frente a la acción exterior que se podrán considerar.

4.2. SELECCIÓN DEL MATERIAL EN BASE A SUS PROPIEDADES

Hay un número enorme de materiales para escoger en la industria, además de los que se tienen ahora, se pueden combinar gracias al enorme avance científico experimentado en el últimos años en el área de la física, la química y las ciencias de los materiales. Por primera vez es posible diseñar y construir materiales con propiedades determinadas para fines específicos. Por este motivo se tiene un amplio campo para escoger distintos materiales como lo son metales, polímeros, cerámicos, materiales compuestos y semiconductores; por lo tanto, después de saber cuales son las condiciones a las que se enfrentará el material, debemos de tomar en cuenta cual es el material capaz de satisfacer de mejor manera los objetivos planteados para la función que desempeña éste material. Una manera de saber cuales materiales son aptos para cada función desempeñada tanto estructural como funcional es evaluando y comparando sus propiedades.

4.2.1. PROPIEDADES FÍSICAS

Determinan el color, el olor, el sabor, el estado físico y la textura que se pueden identificar a través de los sentidos (a pesar de no ser muy confiable). Otras necesitan de un procedimiento serio y científico de identificación como la dureza, la maleabilidad, la conductividad eléctrica y térmica, puntos de ebullición y de fusión, la densidad y la capacidad térmica o calorífica específica.

Las propiedades físicas en la selección de los materiales son el tamaño, la forma y el peso del material que se necesita, así como el espacio disponible para el componente.

- El tamaño y la forma del material pueden restringir el tratamiento térmico del material.
- El peso del material tiene implicaciones no solo en el costo inicial además en su aplicación.
- El espacio disponible para el componente determina si se considera la posibilidad de usar otros materiales.

Las propiedades físicas más importantes en la selección de los materiales son:

Cohesión: fuerza que ocasiona la unión entre las partículas del material, está relacionada con las fuerzas atómicas.

Densidad: relación de la masa entre el volumen.

Porosidad: relación entre el volumen de poros y el volumen total.

Absorción: porcentaje de agua absorbida expresada en porcentaje del peso de la materia seca; depende de la porosidad y de las condiciones, ya que no todos los poros son accesibles. La absorción máxima se obtiene en laboratorio mediante ebullición o haciendo el vacío.

Coefficiente de saturación: es el volumen absorbido de agua en condiciones normales dividido por el volumen absorbido en condiciones de laboratorio. Influye en el comportamiento del material frente a agresiones químicas y agentes exteriores sobre todo en materiales granulares.

Permeabilidad: facilidad que tiene un material para ser atravesado por un fluido cuando actúa una presión diferencial a ambos lados del material, es importante en obras hidráulicas.

Capilaridad: es la mayor o menor facilidad que tiene un líquido de ascender o descender a lo largo de un poro accesible.

Solubilidad: determina el comportamiento de los materiales de construcción, como la cantidad máxima de soluto (material) que puede existir en un volumen dado de disolvente en unas condiciones determinadas de temperatura. De manera similar la presión interviene cuando las sustancias se encuentran en estado gaseoso, ya que ésta determina también la cantidad máxima de soluto que puede existir en el disolvente a determinada temperatura.

Finura: es importante en los conglomerantes. Se refiere al mayor o menor grado de fragmentación del material. Antiguamente se medía mediante el tanto por ciento en peso que quedaba en unos tamices, hoy se utiliza el concepto de superficie específica que es el área de la superficie correspondiente a la unidad de masa del material.

4.2.2. PROPIEDADES MECÁNICAS

En ingeniería se necesita saber cómo responden los materiales sólidos a fuerzas externas como la tensión, la compresión, la torsión, la flexión o la cizalladura. Los materiales sólidos responden a dichas fuerzas con una deformación elástica (en la que el material vuelve a su tamaño y forma originales cuando se elimina la fuerza externa), una deformación permanente o una fractura. Los efectos de una fuerza externa dependientes del tiempo son la plastodeformación y la fatiga, que se definen más adelante. Las propiedades mecánicas que se tienen que tomar en cuenta en la selección de materiales tienen que ver con la capacidad del material para soportar los tipos de esfuerzos que le imponen. La resistencia, el módulo de elasticidad, la tenacidad a la fractura, la resistencia a la fatiga, la termofluencia, etc.

La tensión: es una fuerza que tira; por ejemplo, la fuerza que actúa sobre un cable que sostiene un peso. Bajo tensión, un material suele estirarse, y recupera su longitud original si la fuerza no supera el límite elástico del material. Bajo tensiones mayores, el material no vuelve completamente a su situación original, y cuando la fuerza es aún mayor, se produce la ruptura del material.

La compresión: es una presión que tiende a causar una reducción de volumen.

Cuando se somete un material a una fuerza de flexión, cizalladura o torsión, actúan simultáneamente fuerzas de tensión y de compresión. Por ejemplo, cuando se flexiona una varilla, uno de sus lados se estira y el otro se comprime.

La plastodeformación: es una deformación permanente gradual causada por una fuerza continuada sobre un material. Los materiales sometidos a altas temperaturas son especialmente vulnerables a esta deformación. La pérdida de presión gradual de las tuercas, la combadura de cables tendidos sobre distancias largas o la deformación de los componentes de máquinas y motores son ejemplos visibles de plastodeformación. En muchos casos, esta deformación lenta cesa porque la fuerza que la produce desaparece a causa de la propia deformación. Cuando la plastodeformación se prolonga durante mucho tiempo, el material acaba rompiéndose.

La fatiga: se puede definir como una fractura progresiva. Se produce cuando una pieza mecánica está sometida a un esfuerzo repetido o cíclico, por ejemplo una vibración. Aunque el esfuerzo máximo nunca supere el límite elástico, el material puede romperse incluso después de poco tiempo. En algunos metales, como las aleaciones de titanio, puede evitarse la fatiga manteniendo la fuerza cíclica por debajo de un nivel determinado. En la fatiga no se observa ninguna deformación aparente, pero se desarrollan pequeñas grietas localizadas que se propagan por el material hasta que la superficie eficaz que queda no puede aguantar el esfuerzo máximo de la fuerza cíclica.

El conocimiento del esfuerzo de tensión, los límites elásticos y la resistencia de los materiales a la plastodeformación y la fatiga son extremadamente importantes en ingeniería.

Además de las propiedades anteriores se debe hacer un estudio de cuál o cuáles serían las principales aplicaciones de la carga. En la siguiente lista se enumeran estas aplicaciones de la carga:

- Por tensión
- Por compresión
- Por flexión o cíclica

El ambiente al cual los materiales están expuestos también afecta las propiedades mecánicas.

Resistencia a rotura: (tracción, compresión): la resistencia a rotura de un material es la oposición que presenta el material a ser roto por la acción de esfuerzos mecánicos exteriores.

Tracción: por ejemplo, se tiene una pieza prismática de un material sometido en sus extremos a dos fuerzas iguales y opuestas. La pieza está en equilibrio. Se supone una sección de la pieza y también que el material no tiene cohesión, luego se romperá. Lo que mantiene rígida a la pieza a pesar de tener dos fuerzas opuestas, es la cohesión, que son fuerzas intermoleculares. Estas fuerzas se oponen a las fuerzas de tracción (dos fuerzas iguales y opuestas situadas en el eje de la pieza). Si la fuerza crece y es mayor que las fuerzas de cohesión se produce la ruptura del material, la tracción es el valor máximo que es capaz de aguantar el material.

Si ahora se quita una parte de la pieza, para que siga en equilibrio habría que introducir unas fuerzas equivalentes a la fuerza que se tiene antes al otro lado de la pieza. Estas fuerzas son muy numerosas, si en este conjunto de fuerzas se puede considerar un elemento que tenga una unidad de área, la resultante de las fuerzas que actúan dentro de ese elemento de área unidad son las fuerzas de tensión a la que está sometida la pieza. Cuando actúa la tracción aparecen unas fuerzas de tensión, cuando la tracción es mayor que las fuerzas de tensión se produce la ruptura; al valor máximo de tensión a la cual se rompe la pieza es la resistencia de tracción.

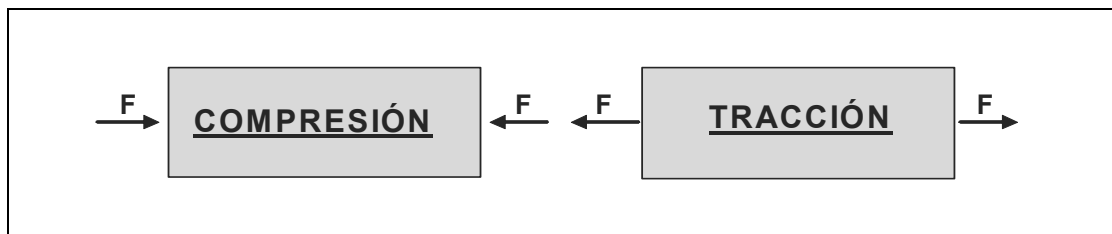


Figura 4.1. Fuerzas que actúan en la compresión y en la tracción.

Compresión: Ejemplo, dos fuerzas iguales y opuestas a lo largo del eje de simetría, ejercen tensiones y un valor máximo de tensión que es el valor límite de la resistencia a compresión. Los materiales pétreos tienen una mayor compresión y menor tracción. Los metales son isorresistentes (igual compresión que tracción).

Resistencia a cortadura: Es similar al anterior. A ambos lados de una sección se tienen esfuerzos que actúan con sentido contrario. La pieza está sometida a un esfuerzo de cizalladura.



Figura 4.2. Fuerzas que actúan sobre una pieza para lograr la fractura por tensión cortante.

Los materiales se mantienen unidos (partículas) a través de las fuerzas de cohesión. Estas son paralelas a la superficie. Si se considera un elemento de área unitaria se obtienen unas fuerzas interiores derivadas de la cohesión, la resultante es la tensión cortante. La resistencia a cortadura del material viene definida por la máxima tensión cortante que puede soportar el material.

Resistencia a flexión: En una sección del material se introducen unos esfuerzos de tracción que alargan la fibra del material y en otra sección de la pieza se introducen unos esfuerzos de compresión. En la parte de la tracción se produce un alargamiento mientras que en la parte de la compresión se produce un acortamiento. En la parte media está la fibra neutra que ni se alarga ni se acorta. En consecuencia, cuando supera a la capacidad de cohesión se produce la ruptura del material.

Dureza: Es la capacidad que tiene un material para oponerse a ser deformado en su superficie por la acción física de otro. Depende de las características del material (átomos, moléculas). La dureza es mayor cuando mayores son las fuerzas de cohesión de los átomos.

Dureza al rallado: Mide la resistencia a ser rallado por otros.

Dureza a penetración: Resistencia de un material a ser penetrado en su superficie por la acción de otro, depende del tipo y forma del material (cónica, cilíndrica, etc).

Dureza elástica: Comportamiento del material al ser sometido a un impacto de otro material que choca con él. Se mide por la acción de una barrena fijada, midiendo el tiempo que tarda en hacer una huella definida.

4.2.3. PROPIEDADES QUÍMICAS Y SUPERFICIALES

Las propiedades químicas y superficiales son las encargadas de mantener el material en buen estado. Mediante procesos se puede hacer que el material sea inatacable por algunas sustancias, por lo tanto, solo interviene la superficie de este, pero todas sus propiedades restantes (mecánicas, físicas) se aprovechan. Un ejemplo es el galvanizado.

Resistencia a la corrosión: esta se refiere a la resistencia a los ambientes corrosivos. Ya que para todos los procesos químicos se tienen condiciones de operación o de servicio diferentes; por lo tanto, en general, se busca el material que no reaccione de ninguna manera con los flujos del proceso, y que además sea resistente al medio ambiente.

Aleabilidad: esta se refiere a la capacidad del material de unirse con algún otro material de manera que cambien las propiedades del material resultante, pero sin cambiar los tipos de enlace químico.

Toxicidad: en la naturaleza se distinguen varias clases de materiales de los cuales hay unos que al contacto con los seres vivos causan daños en su salud, de manera directa o indirecta.

4.2.4. PROPIEDADES TÉRMICAS DE LOS MATERIALES

Se sabe que los materiales cambian sus propiedades con la temperatura. En la mayoría de los casos las propiedades mecánicas y físicas dependen de la temperatura a la cual el material se usa o de la temperatura a la cual se somete el material durante su procedimiento.

Capacidad calorífica: un material sólido cuando se calienta, experimenta un incremento en la temperatura, lo que significa que algo de energía ha sido absorbida. La capacidad calorífica es una propiedad que es indicativa de la habilidad de un material para absorber calor de los alrededores. Esta representa la cantidad de energía requerida para producir un aumento de la unidad de temperatura (1°C ó 1°K).

Normalmente la capacidad calorífica se expresa por mol de material ($\text{J/mol}^{\circ}\text{K}$) ó ($\text{cal/mol}^{\circ}\text{K}$). También se usa el término calor específico. Una es la capacidad calorífica mientras se mantiene el volumen constante, C_v , y el otro es manteniendo la presión exterior

constante, denotada por C_p . La magnitud de C_p es mayor que la de C_v , pero esta diferencia es muy pequeña para la mayoría de sólidos a temperatura ambiental y por debajo.

Expansión térmica: La mayoría de los sólidos se expanden cuando se calientan y se contraen cuando se enfrían. El cambio en longitud con la temperatura para un material sólido se expresa como:

$$\frac{l_f - l_0}{l_0} = \alpha_l (T_f - T_0)$$

$$\frac{\Delta l}{l_0} = \alpha_l \Delta T$$

Donde

l_f : longitud final,
 l_0 : longitud inicial,
 T_0 : temperatura inicial,
 T_f : temperatura final,
 α_l : coeficiente de expansión térmica lineal,
 ΔT : diferencia de temperatura resultante.

Esta es una propiedad del material que es indicativa de la magnitud a la cual un material se expande bajo calentamiento y tiene unidades de inverso de la temperatura $(^\circ\text{C})^{-1}$ ó $(^\circ\text{F})^{-1}$.

Por supuesto el calentamiento ó el enfriamiento afectan todas las dimensiones de un cuerpo con un cambio en el volumen resultante. Los cambios de volumen con la temperatura se calculan de la siguiente forma:

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \alpha_v \Delta T$$

$$\frac{(V_f - V_0)}{V_0} = \alpha_v (T_f - T_0)$$

α_v : coeficiente de expansión térmica volumétrico.

Desde el punto de vista atómico, la expansión térmica se refleja por un incremento en el promedio de la distancia entre los átomos. Este fenómeno se puede entender mejor observando la curva de energía potencial versus espaciado interatómico para un material sólido.

Conductividad térmica: La conducción térmica es el fenómeno por medio del cual el calor se transporta de una región de alta temperatura a una de baja temperatura en una sustancia.

La propiedad que caracteriza la habilidad de un material de transferir calor es la conductividad térmica. Se define como:

$$q = \frac{-kdT}{dx}$$

q: flujo de calor por unidad de tiempo, por unidad de área,

k: conductividad térmica,

dT/dx: gradiente de temperatura a través del medio conductor en la dirección x,

La unidad de q: $W/m^2 = kg.m^2/s^3m^2$

La unidad de k: $W/m^{\circ}K = kg.m^2/s^3.m.^{\circ}K$

Esfuerzos térmicos ó tensiones: Las tensiones térmicas son tensiones inducidas en un cuerpo como resultado de cambios en la temperatura, son las tensiones resultantes de la expansión y contracción térmicas confinadas. Considérese una varilla de un sólido homogéneo e isotrópico que se calienta o enfría uniformemente. Si, por ejemplo, el movimiento axial de la varilla se restringe, serán introducidas tensiones térmicas. La magnitud de esa tensión que resulta de un de ΔT .

$$\sigma = E\alpha_1(T_0 - T_f) = E\alpha_1\Delta T$$

σ : esfuerzos térmicos generados,

E: módulo de elasticidad,

α_1 : coeficiente deformación lineal,

ΔT : $(T_0 - T_f)$,

Si α es < 0 porque el proceso es de calentamiento,

Si el espécimen se enfría, $T_f < T_0$, $(T_0 - T_f) > 0$, se genera un esfuerzo de tensión.

Esfuerzos resultantes de gradientes de temperatura: cuando un sólido se calienta ó enfría, la distribución interna de la temperatura dependerá de su tamaño y forma, la conductividad térmica del material y la velocidad del cambio de temperatura. Los esfuerzos térmicos se pueden establecer como resultado de gradientes de temperatura a través del cuerpo, los cuales son frecuentemente causados por calentamiento rápido ó enfriamiento rápido en el que la temperatura cambia mas rápidamente afuera que adentro del material.

Por ejemplo, bajo calentamiento, el exterior de un espécimen está mas caliente y por lo tanto, se expandirá más que en el interior, por lo que la superficie del material está sometida a un tipo de esfuerzos y el interior a otro tipo.

Choque térmico de materiales frágiles: Para materiales dúctiles y polímeros la mitigación de esfuerzos inducidos térmicamente puede estar acompañada de deformación plástica. Sin embargo, la no ductilidad de la mayoría de los cerámicos aumenta la posibilidad de fractura frágil por estos esfuerzos pudiendo dar lugar a la formación de grietas ó a la propagación de las mismas a través del material.

La capacidad de un material de soportar esta clase de falla se llama resistencia al choque térmico. Para un cuerpo cerámico que es rápidamente enfriado, la resistencia al choque térmico depende no solo de la magnitud del cambio de la temperatura sino también de las propiedades mecánicas y térmicas del material. La resistencia al choque térmico es mejor para cerámicos que tienen alta resistencia a la fractura y alta conductividad térmica así como bajo módulo de elasticidad y bajo coeficiente de expansión térmica.

4.2.5. PROPIEDADES DE MANUFACTURA Y TECNOLÓGICAS

Las propiedades de manufactura y tecnológicas son aquellas que definen el comportamiento de un material frente a diversos métodos de trabajo y a determinadas aplicaciones. Existen varias propiedades que entran en esta categoría, destacándose la templabilidad, la soldabilidad y la dureza entre otras. Estas son:

Ductilidad: es la capacidad del metal para dejarse deformar o trabajar en frío; aumenta con la tenacidad y disminuye al aumentar la dureza. Los metales más dúctiles son el oro, plata, cobre, hierro, plomo y aluminio.

Fusibilidad: es la propiedad que permite obtener piezas fundidas o coladas.

Colabilidad: propiedad que tiene relación con la fluidez que adquiere un material una vez alcanzada la temperatura de fusión. Tiene gran importancia en procesos de fundición, en los cuales a través del vertido de metal fundido sobre un molde hueco, por lo general hecho de arena, se obtienen piezas metálicas. La fundición implica tres procesos diferentes: en primer lugar se construye un modelo de madera, plástico o metal con la forma del objeto terminado; más tarde se realiza un molde hueco rodeando el modelo con arena y retirándolo después; y a continuación se vierte metal fundido en el molde (este último proceso se conoce como colada).

Para que un material logre una fluidez adecuada para que el proceso de fundición se lleve a cabo con éxito, es necesario que la temperatura de colada sobrepase unos 110°C la temperatura de fusión, para evitar problemas de endurecimiento precoz del material.

Existen diversos métodos de fundición como la colada centrífuga, la cual permite fundir objetos de forma circular, o la fundición inversa, especial para la fabricación de piezas fundidas ornamentales. Además de la fundición, existen otros procesos que han ido sustituyendo a la fundición como el laminado, el mecanizado, la extrusión, la forja y el fundido a presión.

Soldabilidad: en ingeniería, procedimiento por el cual dos o más piezas de metal se unen por aplicación de calor, presión o una combinación de ambos, con o sin el aporte de otro metal, llamado metal de aportación, cuya temperatura de fusión es inferior a la de las piezas que han de soldarse. La mayor parte de procesos de soldadura se pueden separar en dos categorías: soldadura por presión, que se realiza sin la aportación de otro material mediante la aplicación de la presión suficiente y normalmente ayudada con calor, y soldadura por fusión, realizada mediante la aplicación de calor a las superficies que se funden en la zona de contacto, con o sin aportación de otro metal. En cuanto a la utilización de metal de aportación, se distingue entre soldadura ordinaria y soldadura autógena. Esta última se realiza sin añadir ningún material. La soldadura ordinaria o de aleación se lleva a cabo añadiendo un metal de aportación que se funde y adhiere a las piezas base, por lo que realmente éstas no participan por fusión en la soldadura. Se distingue también entre soldadura blanda y soldadura dura, según sea la temperatura de fusión del metal de aportación empleado; la soldadura blanda utiliza metales de aportación cuyo punto de fusión es inferior a los 450 °C, y la dura, metales con temperaturas superiores. Gracias al desarrollo de nuevas técnicas durante la primera mitad del siglo XX, la soldadura sustituyó al atornillado y al remachado en la construcción de muchas estructuras, como puentes, edificios y barcos. Es una técnica fundamental en la industria del motor, en la aeroespacial, en la fabricación de maquinaria y en la de cualquier producto hecho con metales.

El tipo de soldadura más adecuado para unir dos piezas de metal depende de las propiedades físicas de los metales, de la utilización a la que está destinada la pieza y de las instalaciones disponibles. Los procesos de soldadura se clasifican según las fuentes de presión y calor utilizadas.

El procedimiento de soldadura por presión original es el de soldadura de fragua, practicado durante siglos por herreros y artesanos. Los metales se calientan en un horno y se unen a golpes de martillo. Esta técnica se utiliza cada vez menos en la industria moderna.

Soldadura ordinaria o de aleación

Método utilizado para unir metales con aleaciones metálicas que se funden a temperaturas relativamente bajas. Se suele diferenciar entre soldaduras duras y blandas, según el punto de fusión y resistencia de la aleación utilizada. Los metales de aportación de las soldaduras blandas son aleaciones de plomo y estaño y, en ocasiones, pequeñas cantidades de bismuto. En las soldaduras duras se emplean aleaciones de plata, cobre y zinc (soldadura de plata) o de cobre y zinc (latón soldadura).

Para unir dos piezas de metal con aleación, primero hay que limpiar su superficie mecánicamente y recubrirla con una capa de fundente, por lo general resina o bórax. Esta limpieza química ayuda a que las piezas se unan con más fuerza, ya que elimina el óxido de los metales. A continuación se calientan las superficies con un soldador o soplete, y cuando alcanzan la temperatura de fusión del metal de aportación se aplica éste, que corre libremente y se endurece cuando se enfría. En el proceso llamado de resudación se aplica el metal de aportación a las piezas por separado, después se colocan juntas y se calientan. En los procesos industriales se suelen emplear hornos para calentar las piezas.

Este tipo de soldadura la practicaban ya hace más de 2 000 años los fenicios y los chinos. En el siglo I d.C., Plinio habla de la soldadura con estaño como procedimiento habitual de los artesanos en la elaboración de ornamentos con metales preciosos; en el siglo XV se conoce la utilización del bórax como fundente.

Soldadura por fusión

Agrupación muchos procedimientos de soldadura en los que tiene lugar una fusión entre los metales a unir, con o sin la aportación de un metal, por lo general sin aplicar presión y a temperaturas superiores a las que se trabaja en las soldaduras ordinarias. Hay muchos procedimientos, entre los que destacan la soldadura por gas, la soldadura por arco y la aluminotérmica. Otras más específicas son la soldadura por haz de partículas, que se realiza en el vacío mediante un haz de electrones o de iones, y la soldadura por haz luminoso, que suele emplear un rayo láser como fuente de energía.

Soldadura por gas

La soldadura por gas o con soplete utiliza el calor de la combustión de un gas o una mezcla gaseosa, que se aplica a las superficies de las piezas y a la varilla de metal de aportación. Este sistema tiene la ventaja de ser portátil ya que no necesita conectarse a la corriente eléctrica. Según la mezcla gaseosa utilizada se distingue entre soldadura oxiacetilénica (oxígeno / acetileno) y oxihídrica (oxígeno / hidrógeno), entre otras.

Soldadura por arco

Los procedimientos de soldadura por arco son los más utilizados, sobre todo para soldar acero, y requieren corriente eléctrica. Esta corriente se utiliza para crear un arco eléctrico entre uno o varios electrodos aplicados a la pieza, lo que genera el calor suficiente para fundir el metal y crear la unión.

La soldadura por arco tiene ciertas ventajas con respecto a otros métodos. Es más rápida debido a la alta concentración de calor que se genera y por lo tanto produce menos distorsión en la unión. En algunos casos se utilizan electrodos fusibles, que son los metales de aportación, en forma de varillas recubiertas de fundente o desnudas; en otros casos se utiliza un electrodo refractario de wolframio y el metal de aportación se añade aparte. Los procedimientos más importantes de soldadura por arco son con electrodo recubierto, con protección gaseosa y con fundente en polvo.

Soldadura por arco con electrodo recubierto

En este tipo de soldadura el electrodo metálico, que es conductor de electricidad, está recubierto de fundente y conectado a la fuente de corriente. El metal a soldar está conectado al otro borne de la fuente eléctrica. Al tocar con la punta del electrodo la pieza de metal se forma el arco eléctrico. El intenso calor del arco funde las dos partes a unir y la punta del electrodo, que constituye el metal de aportación. Este procedimiento, desarrollado a principios del siglo XX, se utiliza sobre todo para soldar acero.

Soldadura por arco con protección gaseosa

Es la que utiliza un gas para proteger la fusión del aire de la atmósfera. Según la naturaleza del gas utilizado se distingue entre soldadura MIG, si utiliza gas inerte, y soldadura MAG si utiliza un gas activo. Los gases inertes utilizados como protección suelen ser argón y helio; los gases activos suelen ser mezclas con dióxido de carbono. En ambos

casos el electrodo, una varilla desnuda o recubierta con fundente, se funde para rellenar la unión.

Otro tipo de soldadura con protección gaseosa es la soldadura TIG, que utiliza un gas inerte para proteger los metales del oxígeno, como la MIG, pero se diferencia en que el electrodo no es fusible; se utiliza una varilla refractaria de volframio. El metal de aportación puede suministrarse acercando una varilla desnuda al electrodo.

Soldadura por arco con fundente en polvo

Este procedimiento, en vez de utilizar un gas o el recubrimiento fundente del electrodo para proteger la unión del aire, usa un baño de material fundente en polvo donde se sumergen las piezas a soldar. Se pueden emplear varios electrodos de alambre desnudo y el polvo sobrante se utiliza de nuevo, por lo que es un procedimiento muy eficaz.

Soldadura aluminotérmica

El calor necesario para este tipo de soldadura se obtiene de la reacción química de una mezcla de óxido de hierro con partículas de aluminio muy finas. El metal líquido resultante constituye el metal de aportación. Se emplea para soldar roturas y cortes en piezas pesadas de hierro y acero, y es el método utilizado para soldar los raíles o rieles de los trenes.

Soldadura por presión

Agrupar todos los procesos de soldadura en los que se aplica presión sin aportación de metales para realizar la unión. Algunos métodos coinciden con los de fusión, como la soldadura con gases por presión, donde se calientan las piezas con una llama, pero difieren en que la unión se hace por presión y sin añadir ningún metal. El procedimiento más utilizado es el de soldadura por resistencia; otros son la soldadura por fragua (descrita más arriba), la soldadura por fricción y otros métodos más recientes como la soldadura por ultrasonidos.

Soldadura por resistencia

Se realiza por el calentamiento que experimentan los metales debido a su resistencia al flujo de una corriente eléctrica (efecto Joule). Los electrodos se aplican a los extremos de las piezas, se colocan juntas a presión y se hace pasar por ellas una fuerte corriente eléctrica durante un instante. La zona de unión de las dos piezas, como es la que mayor resistencia

eléctrica ofrece, se calienta y funde los metales. Este procedimiento se utiliza mucho en la industria para la fabricación de láminas y alambres de metal, y se adapta muy bien a la automatización.

Facilidad de mecanizado: Es la propiedad de un metal de dejarse mecanizar con arranque de viruta, mediante una herramienta cortante apropiada. Son muy mecanizables la fundición gris y el bronce, con virutas cortadas en forma de escamas. El acero dulce y las aleaciones ligeras de alta tenacidad, producen virutas largas.

Resiliencia: Resistencia de un metal a su rotura por choque.

Fluencia: Propiedad de algunos metales de deformarse lenta y espontáneamente bajo la acción de su propio peso o de cargas muy pequeñas. Esta deformación lenta, se denomina también creep.

Fatiga: Si se somete una pieza a la acción de cargas periódicas (alternativas o intermitentes), se puede llegar a producir su rotura con cargas menores a las que producirían deformaciones.

Conformabilidad: Propiedad del material que determina su moldeabilidad. En estado líquido tiene relación con el tipo de fundición que se emplee (molde-vaciado, prensa fundida, etc.). En estado sólido está relacionada con procesos de deformación plástica del material (trefilado, laminado, etc.). En estado granular, está ligada a la presión y a la temperatura que se apliquen a los granos o polvo del material.

La conformabilidad en estado sólido se presenta en 3 casos. Existe conformabilidad con conservación de masa (deformación plástica para materiales dúctiles y maleables), con reducción de masa (torneado, cepillado, rectificado, taladrado, etc.) y de unión (remaches, soldaduras, pegamentos, presión).

Esta propiedad es de vital importancia a la hora de decidir el proceso para lograr la pieza final proyectada, debido a su amplio espectro de posibilidades que influyen en los costos y facilidades de producción.

Isotropía: Un material o pieza es isotrópico cuando presenta exactamente las mismas propiedades en todas las direcciones. Lo contrario es que sea anisotrópico, o sea, que tenga propiedades distintas para cada dirección (propiedades direccionales).

Maquinabilidad: Propiedad que determina la capacidad de mecanización de un material. Está relacionada con los procesos en los cuales existe arranque de material o viruta.

Cizallado: proceso por el cual se corta una plancha o una pieza metálica en frío por medio de tijeras o cizallas.

Torneado: operación que consiste en trabajar una pieza en un torno, máquina-herramienta en la que se asegura y se hace girar la pieza a trabajar, para pulirla o labrarla. Existen varios tipos de torneado como el simple o recto y el cónico y horadado.

Taladrado: operación que consiste principalmente en la abertura, agrandamiento, corte y acabado de agujeros en una pieza.

También están el fresado, el cepillado y el rectificado entre otros procesos que involucran maquinabilidad.

Recocido: Proceso de tratamiento térmico por el que el vidrio y ciertos metales y aleaciones se hacen menos quebradizos y más resistentes a la fractura. El recocido minimiza los defectos internos en la estructura atómica del material y elimina posibles tensiones internas provocadas en las etapas anteriores de su procesado.

Los metales ferrosos y el vidrio se recuecen calentándolos a alta temperatura y enfriándolos lentamente; en cambio, la mejor forma de recocer el cobre y la plata es calentarlos y enfriarlos enseguida sumergiéndolos en agua. Cuando el volumen de metal o vidrio es grande suele enfriarse dentro del horno de calentamiento; las láminas suelen recocerse en un horno de proceso continuo. El material a recocer se traslada sobre un tablero móvil a través de una cámara de gran longitud con un gradiente (diferencia gradual) de temperaturas cuidadosamente fijado, desde un valor inicial justo por debajo del punto de ablandado hasta la temperatura ambiente en el extremo final. El tiempo de recocido, sobre todo en el caso del vidrio, varía mucho según el espesor de cada pieza; el vidrio de ventana,

por ejemplo, requiere varias horas; el vidrio cilindrado necesita varios días, y los espejos de vidrio para telescopios reflectores, varios meses. El recocido es necesario como paso intermedio en procesos de manipulación de metales, como la fabricación de alambre o el estampado en latón, para recuperar la ductilidad que el metal a tratar pierde debido al endurecimiento producido durante la operación de modelado, y para obtener los más bajos valores de resistencia a la deformación.

Templabilidad: Proceso de baja temperatura en el tratamiento térmico del material, especialmente el acero, con el que se obtiene el equilibrio deseado entre la dureza y la tenacidad del producto final. Las piezas de acero endurecidas se calientan a una temperatura elevada, pero bajo el punto de fusión del material. Luego se enfrían rápidamente en aceite o en agua para lograr un material más duro, con menos estrés interno, pero más frágil. Para reducir la fragilidad, el material pasa por un recocido que aumenta la tenacidad y disminuye su dureza, para obtener el equilibrio adecuado entre dureza y tenacidad, deben controlar la temperatura de recalentamiento y la duración de este. La templabilidad depende de la facilidad del acero para evitar la transformación de la perlita (constituyente microscópico de las aleaciones férricas, formado por ferrita y cementita) o de la barra de modo que pueda producirse martensita (hierro tetragonal de cuerpo centrado con carbono en solución sólida sobresaturada).

La templabilidad no es sinónimo de dureza. La máxima dureza que se puede obtener es una función del contenido de carbono.

4.3. NORMAS Y ESPECIFICACIONES DE MATERIALES

Son obvios los beneficios que se derivan del consenso establecido como normas que definen las propiedades y la química de los materiales específicos. Dichas normas permiten tanto a los diseñadores como a los usuarios que trabajen con confianza y obtengan como mínimo las propiedades de los materiales especificados. Los diseñadores y los usuarios tendrán también la certidumbre de que los materiales serán comparativamente iguales aunque se compren con diferentes proveedores. A su vez los productores de materiales podrán también confiar en que los materiales que producen están dentro de las normas aceptadas, tendrán un mercado disponible y por esto mismo los producen con eficiencia en grandes empresas.

4.3.1. NORMAS DE LA INDUSTRIA

La calidad, en este contexto, está basada en las normas de la industria. La industria química como en otras, y se encuentra tanto en México como en muchos otros países. El perfeccionamiento de la mayor parte de los equipos de proceso en uso actual tuvo lugar hace décadas y, al igual que muchos otros productos manufacturados, se han establecido normas para asegurar la uniformidad entre los diversos fabricantes.

Para especificar los equipos, se acostumbra mencionar que deben cumplir con los requisitos de materiales, diseño, manufactura, pruebas e inspección de una norma determinada.

Esto asegura cierta calidad dentro de la uniformidad establecida por la industria. Sin embargo, es posible obtener una calidad mejor que la incluida en la norma.

Se pueden utilizar piezas forjadas en vez de fundidas y los componentes pueden ser más fuertes. Además, la mano de obra puede ser mucho mejor que la requerida por las normas. La calidad se relaciona con las características que deben ofrecer los fabricantes y todos deben cumplir con las normas mínimas.

A continuación se da la lista de algunas de las organizaciones encargadas de emitir las normas de mayor importancia para la industria química en Estados Unidos de América y que también rigen en México.

- i. American National Standards Institute (ANSI), que originalmente fue la American Standards Association (ASA). El ANSI es el que promulga los códigos de tubería utilizados en las industrias de procesos químicos.
- ii. American Society of Mechanical Engineers (ASME). Esta sociedad genera los códigos de calderas y recipientes a presión (Boiler and Pressure Vessel Codes).
- iii. American Society for Testing and Materials (ASTM). Esta sociedad genera las especificaciones para la mayor parte de los materiales utilizados de acuerdo con el Código para tuberías de ANSI, Piping Codes y para el Código de calderas y recipientes a presión de ASME, Boiler and Pressure Vessel Codes.
- iv. International Organization for Standardization (ISO). Este organismo contribuye a la generación de normas en todo el mundo. Cuenta con 80 naciones afiliadas.

- v. American Petroleum Institute (API).
- vi. Aluminium Association (AA).
- vii. American Gear Manufactures Association (AGMA).
- viii. American Institute of Steel Constructuion (AISC).
- ix. American Iron an Steel Institute (AISI).
- x. American Society of Metals (ASM).
- xi. American Welding Society (AWS).
- xii. Anti-Friction Bearing Manufactures Association (AFBMA).
- xiii. Industrial Fasteners Institute (IFI).
- xiv. National Bureau of Standards (NBS).
- xv. Society of Automotive Engineers (SAE).

4.3.2. LAS NORMAS ISO 14 000, REGULACIONES AMBIENTALES

Las normas ISO 14 000 configurarán un sistema que esencialmente privatiza las regulaciones ambientales, ya que las exigencias ambientales del comercio internacional serán una prioridad aun mayor que el cumplimiento de las regulaciones legales locales. Como consecuencia de ello, se potenciará el auto control de los establecimiento industriales en el cuidado del medio ambiente y se valorizará la figura de la Auditoria Ambiental ya sea interna como externa. En otras palabras, puede considerarse a las normas ISO 14 000 como un sustituto de los tradicionales programas de regulación ambiental. Por ahora, los estándares no reemplazan los objetivos de política ambiental previstos en las regulaciones federales y provinciales.

Las Normas Internacionales sobre gestión medioambiental tienen como finalidad proporcionar a las organizaciones los elementos de un sistema de gestión efectiva, para ayudar a las organizaciones a conseguir objetivos medioambientales y económicos.

Esta Norma Internacional especifica los requisitos de dicho sistema de gestión medioambiental. Se ha escrito para ser aplicable a todos los tipos de y tamaños de las organizaciones y para ajustarse a diversas condiciones geográficas, culturales y sociales. El objetivo final de esta Norma Internacional es apoyar la protección del ambiente y la prevención de la contaminación en equilibrio con las necesidades socioeconómicas. Debería resaltarse que muchos de los requisitos pueden aplicarse simultáneamente, o se puede volver sobre ellos en cualquier momento.

Objetivo y campo de aplicación

Esta Norma Internacional especifica los requisitos para que se capacite a una organización para formular una política y unos objetivos, teniendo en cuenta los requisitos legales y la información acerca de los impactos medioambientales significativos. Se aplica a aquellos aspectos medioambientales que la organización puede controlar y sobre los que puede esperarse que tenga influencia.

Esta Norma Internacional se aplica a cualquier organización que desee:

- Implantar, mantener al día y mejorar un sistema de gestión medioambiental.
- Asegurarse de su conformidad con su política medioambiental declarada.
- Demostrar a terceros tal conformidad.
- Procurar la certificación/registro de su sistema de gestión medioambiental por una organización externa.
- Llevar a cabo una autoevaluación y una autodeclaración de conformidad con esta Norma Internacional.

Razones de aplicación

Aún cuando esta Norma Internacional ofrece un sistema para que las empresas se adhieran al mismo con carácter voluntario, no cabe la menor duda de que el sistema tendrá precisamente la fuerza vinculante de las actuaciones asumidas desde la reflexión y evaluando sus ventajas sin necesidad de la imposición a que tan acostumbrados vamos estando.

Ambientales: aún cuando no suele ser el motivador principal o inicial, es sin duda el que será el auténtico motor del futuro cuando la formación y la sensibilización en estas materias hallan calado en los órganos directivos de máxima responsabilidad de las empresas y en toda su estructura. Minimizar los impactos ambientales y reducir con ello la contaminación puede constituir en sí mismo un fin que impulse la puesta en marcha de una serie de acciones que bien encajadas en un Plan de Gestión Medioambiental proporcionarán ventajas competitivas a la empresa, evitarán riesgos y daños y satisfacerán las conductas éticas establecidas por los responsables de las empresas cuando esos comportamientos tengan la valoración que merecen y que tan lejos se nos antojan en estos momentos.

Legales: cumplir con la normativa existente no es tan fácil porque la legislación medioambiental se considera en estos momentos como "confusa, profusa y difusa". Naturalmente el no cumplirla conlleva la posibilidad de incurrir en graves riesgos para la empresa y posiciona a esta en situación de indefensión ante cualquier acontecimiento que la involucre.

Económicas: en ocasiones el evitar o terminar con una repetición incesante de sanciones económicas por incumplimiento de la normativa medioambiental puede ser el factor decisivo para empezar a actuar y también lo puede ser la reducción de costes de producción que se producen por ahorro/sustitución de materias primas, ahorro energético, de agua, reducción de residuos y vertidos, reutilización reciclado, etc. Muchas empresas han encontrado significativas ventajas competitivas, cuando se han adaptado y podido demostrar su adecuado comportamiento medioambiental tanto para mantener como para ganar nuevos mercados.

Técnicas: la mejora de procesos que se introducen para disminuir los impactos contaminantes como alternativa o complemento de las soluciones de "final de línea", suele proporcionar el grato dividendo de reducciones de costes y significativos incrementos de la eficiencia técnica productiva. Ello conlleva también una ventaja competitiva de consideración respecto a competidores menos sensibilizados.

4.3.3. PLIEGO DE CONDICIONES CREADAS POR EL DISEÑADOR DEL PROCESO

El objetivo del pliego de condiciones es definir el conjunto de directrices, requisitos y normas aplicables al desarrollo de las obras a las que se refiere el proyecto del que forma parte. Contiene las condiciones técnicas normalizadas referentes a los materiales y equipos, el modo de ejecución, medición de las unidades de obra y, en general, cuantos aspectos han de regir en las obras comprendidas en el proyecto. El pliego de condiciones constituye el documento más importante desde el punto de vista contractual.

El contratista está obligado a ejecutar el proyecto según se especifica en el pliego de condiciones. Del mismo modo, la administración podrá conocer de forma detallada las diferentes tareas que se desarrollarán durante la ejecución del proyecto.

Materiales

Todos los materiales que se utilicen en las obras deberán cumplir las condiciones que se establecen en el pliego de condiciones, pudiendo ser rechazados en caso contrario por el ingeniero director (gerente de proyecto). Por ello, todos los materiales que se propongan ser utilizados en obra deben ser examinados y ensayados antes de su aceptación en primera instancia mediante el autocontrol del contratista y, eventualmente, con el control de dirección de obra.

Condiciones Generales Para Los Materiales

Todos los materiales tendrán las condiciones técnicas que dictan las normas citadas en el subapartado “referencias y normativas” del presente apartado del pliego de condiciones.

Las características de los mismos serán las expresadas en los subapartados que siguen, pudiendo la dirección técnica desechar aquellos que a su juicio no las reúnan.

No podrán ser en ningún caso distintos en sus características a los tipos proyectados. Si hubiese que variar la clase de algunos inicialmente aprobados, los nuevos no podrán ser instalados sin la previa autorización de la dirección de obra, la cual podrá someterlos a cuantas pruebas estime oportunas.

4.4. OTROS FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA SELECCIÓN DE MATERIALES

Procesamiento y fabricación

Estos factores se relacionan con la capacidad de dar forma al material. Habitualmente se tienen que dar formas muy complicadas a diversos materiales. A los materiales dúctiles y termoplásticos se les da forma normalmente con procesos de deformación, ya que son rápidos y apropiados para la producción en masa.

A los materiales cerámicos frágiles y de alto punto de fusión se les da forma, por lo general, mediante un proceso de sinterizado o de metalurgia de polvos.

En los materiales compuestos se utilizan técnicas de formación por aspersión y de almacenamiento

La fabricabilidad abarca los procedimientos de unión como lo son todos los tipos de soldadura además del deformado y de maquinado.

En los procesos anteriores se pueden alterar las propiedades básicas del material, que son las propiedades que tiene el material antes de someterse a soldadura. Los procesamientos térmicos y su terminado son los últimos procesos.

Rendimiento y costos

En la selección del material se consideran de manera muy importante el rendimiento y el costo del material.

Las consideraciones principales en el diseño para la selección del material son:

- La propiedad del material que determina en primer lugar su rendimiento a través de la combinación de propiedades.
- Su tratamiento capaz de determinar el costo del componente o estructura.

Para la selección de materiales se tiene en primer lugar las industrias que se inclinan por el rendimiento y las segundas motivadas por el costo.

Hay ocasiones en las que el material juega un papel tan importante que lo único que importa es obtener el mejor desempeño posible, y el costo del material y del tratamiento tiene una menor importancia. También se encuentran ocasiones en las que las industrias deben elegir al mismo tiempo el tratamiento y el material con el fin de reducir los costos.

5. HERRAMIENTAS PARA SELECCIONAR LOS MATERIALES

Este capítulo se refiere a las herramientas como los procedimientos que ayudan al ingeniero de diseño a seleccionar el material más adecuado para cada uno de las funciones que de éste se requieran.

5.1. FUENTES DE INFORMACIÓN Y ESPECIFICACIONES

Debido a las condiciones tan variadas que existen en los procesos químicos, los materiales tienen aplicaciones en elevadas temperaturas y muchas veces también en altas presiones y estas representan una fatiga adicional del material, y lo anterior provoca que se sobrepase a menudo las exigencias mecánicas del material, al mismo tiempo hay que tener en cuenta el aspecto económico no solo en la adquisición sino también de la vida útil del equipo.

Entonces tomando en cuenta lo anterior se debe de tomar en cuenta muchos datos sobre el material para el diseño, ya que hasta su estructura física tiene importancia. En la siguiente figura se muestra la información que se requiere de los materiales para el diseño de un equipo o estructura.

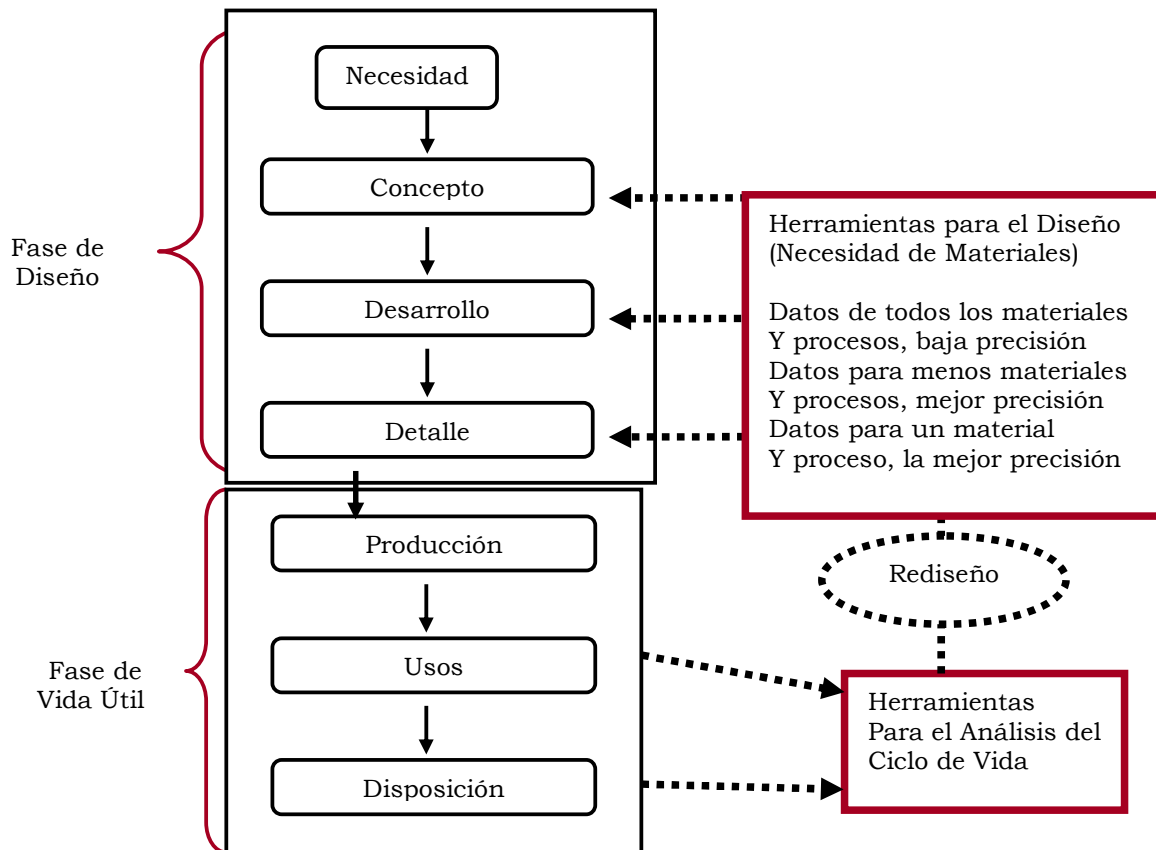


Figura 5.1. Ilustración del proceso de diseño y los datos necesarios (7).

Para caracterizar el material es necesario organizar sus datos, estos datos pueden ser tomados de:

- Búsqueda en bibliotecas.
- Fuentes de compilación de datos (Libros, manuales, etc.).
- Localizar un material candidato, y /o el proceso de manufactura disponible.
- Programas (software) de búsqueda. El software se refiere apropiadamente a los programas de búsqueda con los datos de ASM Handbooks (manuales), B&H Handbooks (manuales), etc.

5.2. PROCEDIMIENTO PARA DEDUCIR EL ÍNDICE DE DESEMPEÑO (PERFORMANCE)

A continuación se muestran los pasos a seguir para deducir el desempeño que puede lograr un material en una aplicación específica:

- Identificar el atributo a ser optimizado (peso, costo energía, resistencia, rigidez...).
- Desarrollar una ecuación para ese atributo en términos de los requerimientos funcionales, geometría y propiedades del material (función objetivo).
- Identificar las variables libre (no especificadas).
- Identificar las restricciones, en orden de importancia.
- Desarrollar ecuaciones para las restricciones (no pandeo, no fluencia, no fractura, costo por debajo de un límite).
- Eliminar las variables libres entre estas ecuaciones y la función objetivo.
- Agrupar las variables en tres grupos: requerimientos funcionales (F), geometría (G) y propiedades materiales (M), de modo que los atributos = f (F, G, M).
- Interpretar M como el índice de desempeño (performance) a ser optimizado.

5.3. ORGANIZACIÓN DE LOS DATOS DE MATERIALES

Para obtener los aspectos a tomar en cuenta a la hora de seleccionar el material para cada aplicación dada en Ingeniería, se necesitan todos los datos del material (los datos del material se refieren a los datos de las propiedades que se pueden emplear para el diseño). A continuación se muestra un diagrama para saber cuáles son los datos estructurados (datos que se manejan de una manera específica en la bibliografía y que no cambian) y los no estructurados (datos que se obtienen de la experimentación con material en condiciones de servicio similares a las que se requieren en el proceso).

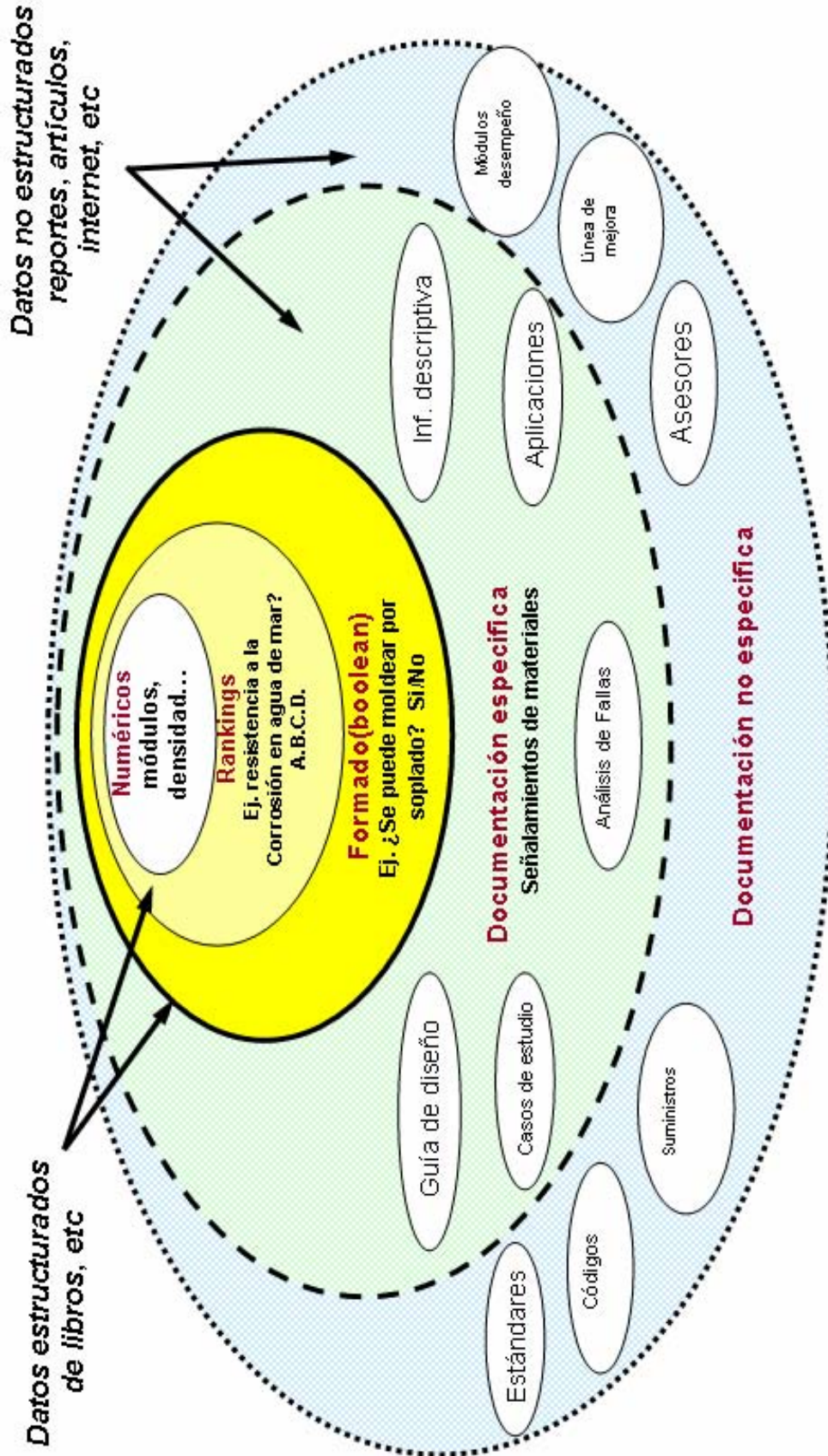


Figura 5.2. Clasificación de los datos de los materiales (o procesos) [7].

En el siguiente cuadro se muestra el seguimiento de cada uno de los materiales para que se agreguen a los datos que soportan al material de los posibles candidatos.

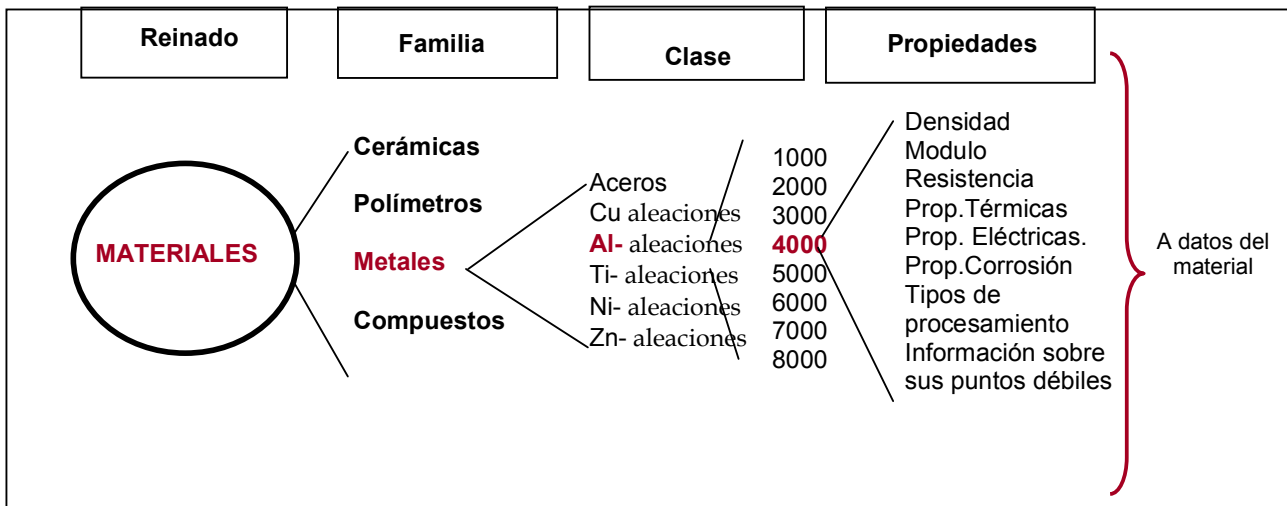


Figura 5.3. Organización de los datos para la selección de materiales (7).

5.4. RENDIMIENTO Y EFICIENCIA DE MATERIALES

Uno de los factores en la selección de un material con base en un perfil de propiedades es su índice de rendimiento o de eficiencia. De los materiales se espera cierto comportamiento con base a sus propiedades, como lo son la termofluencia, la resistencia a la fatiga, la resistencia mecánica, la corrosión, el costo y otras que se incluyen en la tabla siguiente.

Insensibles a la microestructura	Sensibles a la microestructura
Densidad, ρ	Resistencia, σ (diferentes criterios)
Modulo de elasticidad, E	Ductilidad
Conductividad térmica, k	Tenacidad a la fractura, K_I
Coefficiente de expansión lineal, α	Fatiga y propiedades cíclicas; fatiga por corrosión
Punto de fusión, T_f	Termofluencia
Temperatura de transición vítrea, T_v	Impacto
Corrosión uniforme, mm/año	Dureza
Costo	

Tabla 5.1. Propiedades de los materiales de uso más frecuentes en el diseño de estructuras y componentes (2).

Con mucha frecuencia, la mejor opción para un componente no se basa en propiedades específicas, sino en una combinación de propiedades, en un esfuerzo por reducir al mínimo el peso y el costo.

Un componente se proyecta para desempeñar funciones específicas (requisitos funcionales) con una geometría especificada (requisitos geométricos) en cuanto a tamaño y

forma en razón de restricciones de espacio. Su rendimiento puede ser mejor que el de los materiales elegidos. Se puede definir el rendimiento de un material estructural como su eficiencia para desempeñar la función para la que fue proyectado. En términos de cargas mecánicas, se puede definir esta eficiencia como el cociente de la carga que un material puede soportar entre la masa o peso del material, para una geometría estructural definida; es decir,

$$\text{eficiencia} = \frac{\text{carga sobre el elemento estructura l}}{\text{peso del material}} = \frac{P}{m}$$

La carga P es la máxima que el material debe soportar con base al criterio de falla del material que se ha elegido y en la modalidad de carga. Por lo regular, la carga que afecta al componente o estructura se puede desglosar en cuatro modalidades: tensión axial, compresión y pandeo, flexión y torsión o torcedura como se muestra en la figura 5.4.

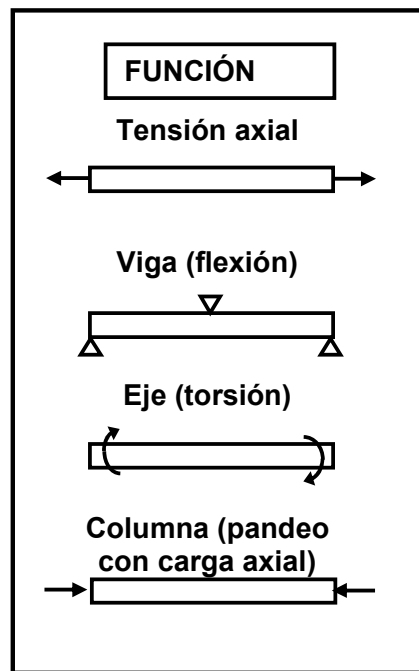


Figura 5.4. Modalidades fundamentales de carga en una barra ⁽²⁾.

Eficiencia de tensión axial, resistencia máxima por unidad masa. Cuando se tira de un material por tensión o tracción, el material se alarga mientras soporta la carga. En este caso, el criterio de falla es el esfuerzo de fluencia después de la cual el material sufre una deformación plástica o un cambio permanente de forma. Son dos las medidas que permiten juzgar el rendimiento del material: (1) soporta la carga máxima por unidad de masa; y (2)

sufre la mínima elongación por unidad de masa. Para ambas, considérese la barra de la figura 5.5, la cual tiene una longitud original L_0 y sufre una elongación ΔL cuando se aplica la carga P . La masa del material es $m = AL_0\rho$, donde A es el área de la sección transversal de la barra y ρ es la densidad del material. Con la carga máxima por unidad de masa, la eficiencia, o rendimiento es, por tanto,

$$Eficiencia = \frac{P}{AL_0\rho} = \frac{\sigma_{dis} A}{AL_0\rho} = \frac{1}{S_f L_0} * \frac{\sigma_{ef}}{\rho}$$

Donde

σ_{dis} : esfuerzo de diseño,

σ_{ef} : esfuerzo de fluencia del material,

S_f : factor de seguridad elegido.

Puesto que S_f y L_0 son constantes para el diseño, σ_{ef} / ρ es la propiedad combinada del material que se emplea para maximizar la carga que el material puede soportar por unidad de masa. Este cociente se conoce como la resistencia específica del material.

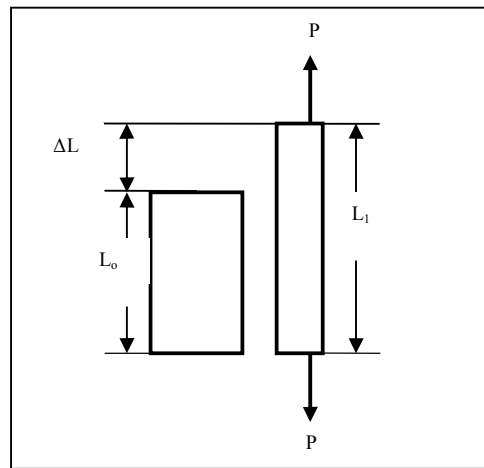


Figura 5.5. Carga uniaxial P y extensión ΔL en la tensión axial (2).

La propiedad combinada del material que da la rigidez máxima es el cociente E / ρ , que recibe el nombre de módulo específico, del cual E es el módulo de elasticidad. Cuando la resistencia específica es máxima se tiene un material resistente y ligero; en cambio, cuando el módulo específico es máximo, el material es rígido y ligero.

También se pueden obtener los factores de eficiencia y de economía para todas las modalidades de carga y para diferentes formas de estructuras o componentes. En la tabla 5.2

se encuentran los resultados de modalidades de carga y formas de componentes, el propósito es de mostrar los factores para alcanzar la máxima rigidez y la máxima resistencia con el peso mínimo de un material.

Forma del componente y modalidad de carga	Para rigidez	Para resistencia
<i>Barra-carga axial de tensión</i> , se especifican carga, rigidez, longitud; área de sección variable	$\frac{E}{\rho}$	$\frac{\sigma_{cf}}{\rho}$
<i>Barra o tubo con torsión</i> , se especifican momento de torsión, rigidez, longitud; área de sección variable	$\frac{G^{1/2}}{\rho}$	$\frac{\sigma_{cf}^{2/3}}{\rho}$
<i>Viga</i> , con carga externa o por peso propio con flexión; se especifican rigidez, longitud; área de sección variable	$\frac{E^{1/2}}{\rho}$	$\frac{\sigma_{cf}^{2/3}}{\rho}$
<i>Columna-compresión axial</i> , pandeo elástico o compresión plástica; se especifican carga de compresión y longitud; área de sección variable	$\frac{E^{1/2}}{\rho}$	$\frac{\sigma_c}{\rho}$
<i>Plancha</i> , con carga externa o por peso propio con flexión; se especifican rigidez, longitud y anchura; el espesor es variable	$\frac{E^{1/3}}{\rho}$	$\frac{\sigma_{cf}^{1/2}}{\rho}$

Tabla 5.2. Propiedades combinadas para maximizar los índices de eficiencia o rendimiento ⁽²⁾.

5.5. ÍNDICES DE MATERIALES

Los índices de materiales especifican una función derivada de las ecuaciones de diseño que envuelven unas determinadas propiedades del material que se usan en conjunto para el uso de las cartas de materiales.

La determinación de los índices que miden las cualidades, o características de respuesta de los materiales ante un determinado requisito, se realiza por medio de ensayos estandarizados. Estos deben suministrar los parámetros de respuesta de los materiales que permitan seleccionarlos; bien a través de valores absolutos, que permiten el dimensionamiento, o bien por valores relativos, que definen niveles de aceptación. La tabla anterior muestra las propiedades combinadas para maximizar los índices de eficiencia o rendimiento.

5.6. DIAGRAMAS DE MATERIALES

Quizás la tarea que más tiempo consume en la selección de materiales es la recopilación de sus propiedades a fin de cumplir con los requisitos y restricciones del diseño. Este es el procedimiento de relacionar el perfil de propiedades del material. Como se señaló, ahora la mayor parte de los datos están disponibles en forma de software, lo cual facilita enormemente el procedimiento de selección, al menos en la etapa de diseño conceptual. Parte de esta información se sintetiza de manera compacta en los diagramas de materiales,

que son gráficas de las propiedades que constituyen los factores de maximización que se estudia en la sección de rendimiento y eficiencia de los materiales. Estos diagramas son obra de Ashby (7), y fueron ideados para emplearse exclusivamente en la etapa conceptual de la selección de materiales.

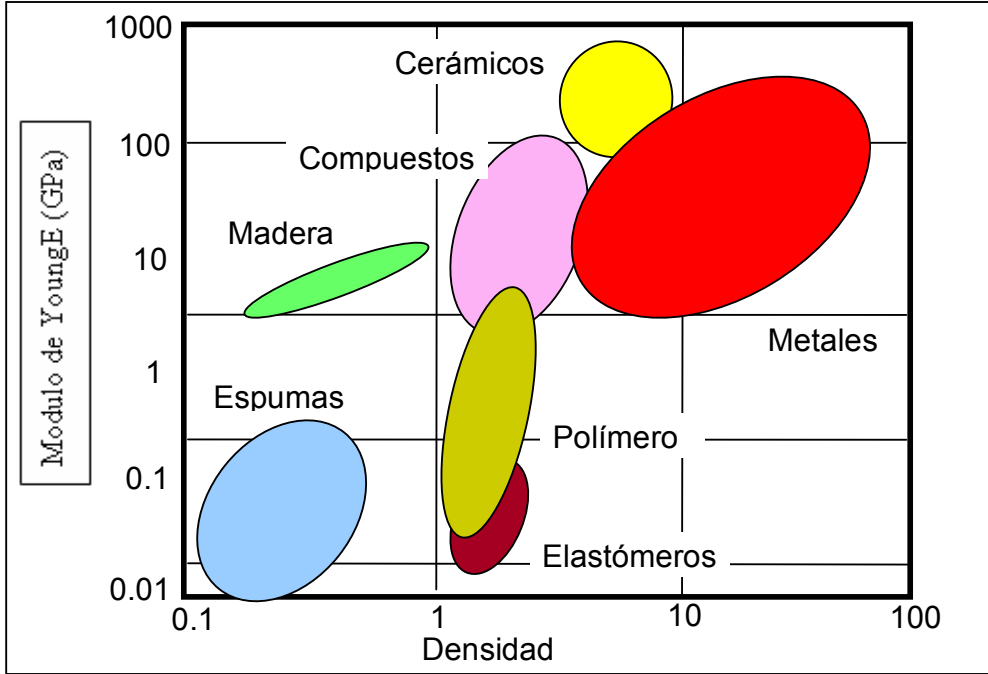


Figura 5.6. Cartas usadas para la selección de materiales (7).

La figura 5.6. es una versión simplificada de los diagramas de materiales de Ashby, que son gráficas de resistencia en función de la densidad para la selección de materiales ligeros y resistentes, y del módulo en función de la densidad para la selección de materiales ligeros y rígidos, respectivamente. A fin de incluir la inmensa gama de propiedades (aproximadamente de cinco órdenes de magnitud) de los diferentes grupos de materiales, las gráficas han sido trazadas en escalas logarítmicas.

Los diagramas muestran que las propiedades de cada una de las diferentes clases de materiales forman grupos, los cuales se muestran dentro de zonas o campos en los diagramas. Los campos representan las diferentes clases de materiales, y dentro de cada una de ellas hay zonas más pequeñas que representan la variación de las propiedades de materiales específicos dentro de cada clase, las cuales se muestran en la figura aquí. Pese a la amplia gama de resistencias y densidades asociadas con los metales, las zonas ocupan un campo que es distinto para cada clase de materiales, por ejemplo, polímeros y las cerámicas o materiales compuestos. Esta aseveración también es aplicable a los módulos (de Young y de

las propiedades combinadas dados en la tabla 5.2.); a las tenacidades y a otras propiedades. A veces hay cierto traslape de las zonas o campos, pero cada clase de materiales tiene su propio campo en el diagrama.

La posición de las zonas o campos así como la relación entre las propiedades (por ejemplo el módulo en función de la densidad), se basan en los principios como el de la estructura cristalina, los enlaces atómicos y el tratamiento de los materiales. Las grandes diferencias que se observan en las propiedades o campos de las diferentes clases de materiales surgen principalmente de diferencias en la masa de los átomos, la naturaleza de sus fuerzas o enlaces interatómicos y la geometría (estructura cristalina) de su empaquetamiento. La aleación (composición), el tratamiento térmico y el trabajado (tratamiento) mecánico influyen en la microestructura y, a través de ella, en la variación de las propiedades de cada uno de los materiales encerrados en la envoltura, en partículas en las de los metales.

Ahora se ilustrará la aplicación de estas gráficas a la selección de materiales, mediante la figura 5.7. Consideraremos el primer término el factor de maximización, correspondiente, a la rigidez máxima con tensión axial y se le asigna un valor de C (i). Por lo tanto, tomando el logaritmos en ambos lados (ii).

$$E = \rho C \quad (i)$$

$$\log E = \log \rho + \log C \quad (ii)$$

Relación que fácilmente se reconoce como la ecuación de una familia de líneas rectas, $y=mx+b$, con una pendiente de 1. Se obtiene el valor de C cuando $\rho = 1$, y es igual a E en la figura 5.7. Este valor determina la ubicación de la línea que se conoce como línea guía. Los materiales interceptados por esta línea guía tienen el mismo E/ρ , o módulo específico. Los materiales que están por encima de esta línea tienen valores de E/ρ mayores que C, y los que están por debajo de ella tienen valores más pequeños. Por lo tanto, si se desplaza la línea guía, $E/\rho=C$ de la parte inferior derecha a la parte superior izquierda, se intercepta más materiales con módulos específicos mayores y se observa que los materiales compuestos y las cerámicas tienen los módulos específicos más grandes.

Los valores que aparecen sobre las líneas, sin embargo, no son E/ρ , sino $(E/P)^{1/2}$. La razón del módulo de Young (esfuerzo por deformación unitaria, es el módulo elástico) a la densidad tiene dimensiones de (velocidad)² (es decir, m^2s^{-2}), por lo tanto:

$$\sqrt{E/\rho} \quad (m/s).$$

Y los números que se indican sobre las líneas de rectas paralelas a $(E/\rho) = C$ de la figura 5.7. son los valores de la raíz cuadrada de C, o la velocidad del sonido en el material. El sonido se propaga en los sólidos mediante las vibraciones elásticas de los átomos y cuanto mayor es la velocidad del sonido, más alto es su tono. Además, cuanto mayor es la resistencia del material, más alto es el tono del sonido. Por tanto, los materiales que son atravesados por cierto valor de la línea guía tienen una resistencia específica proporcionalmente similar.

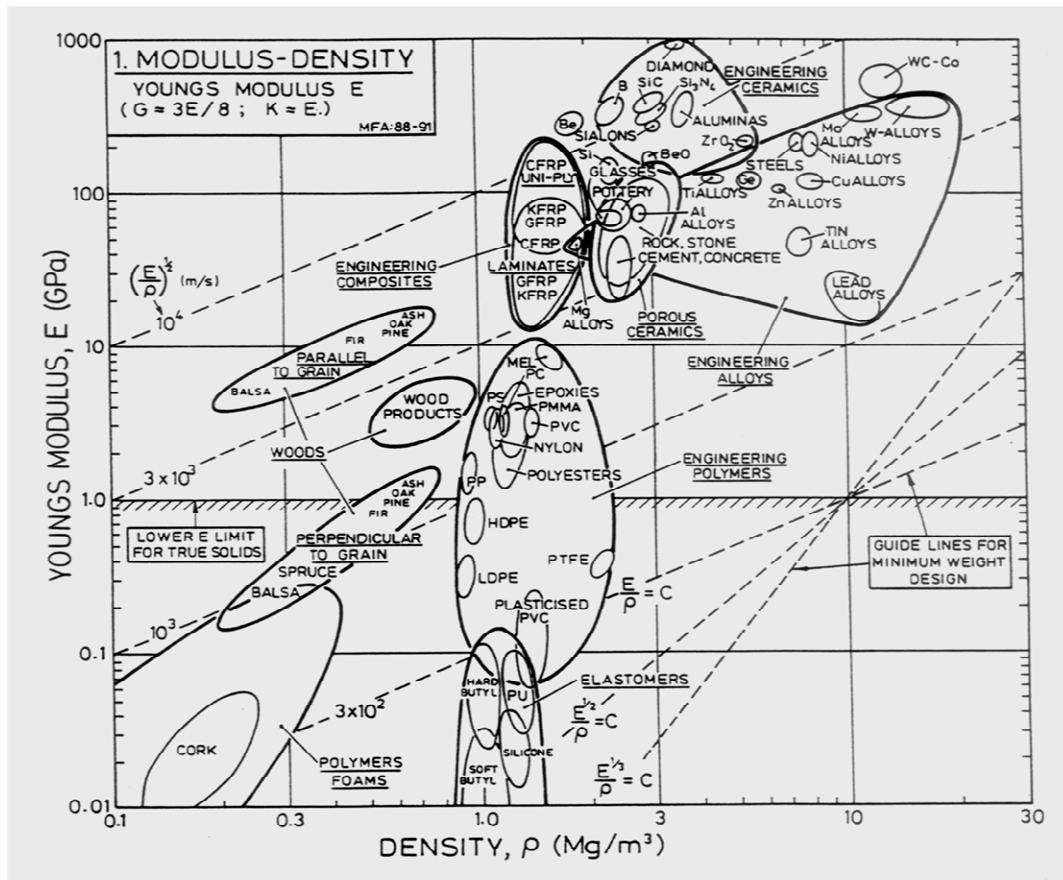


Figura 5.7. Diagrama de materiales del módulo de Young en función de la densidad (7).

Los diagramas de Ashby son muy útiles en la etapa conceptual del diseño por que muestran las clases generales de los materiales que se pueden utilizar para una aplicación determinada. Por ejemplo como primer paso se definen las restricciones del problema de diseño. Si se espera que las condiciones de trabajo sean alrededor de 300°C, entonces definitivamente, se tendría que descartar a los polímeros ya que pocos tienen la temperatura de transición vítrea mayores a 300°C, de la misma manera es posible que sea necesario eliminar a las aleaciones de aluminio endurecidas por precipitación debido a consideraciones de termofluencia y de reblandecimiento.

Las restricciones del módulo de Young y de densidad tales como $E \geq 10GPa$ y $\rho \leq 3Mg/m^3$ se grafican como líneas horizontales y verticales respectivamente como se muestran en figura 5.8.

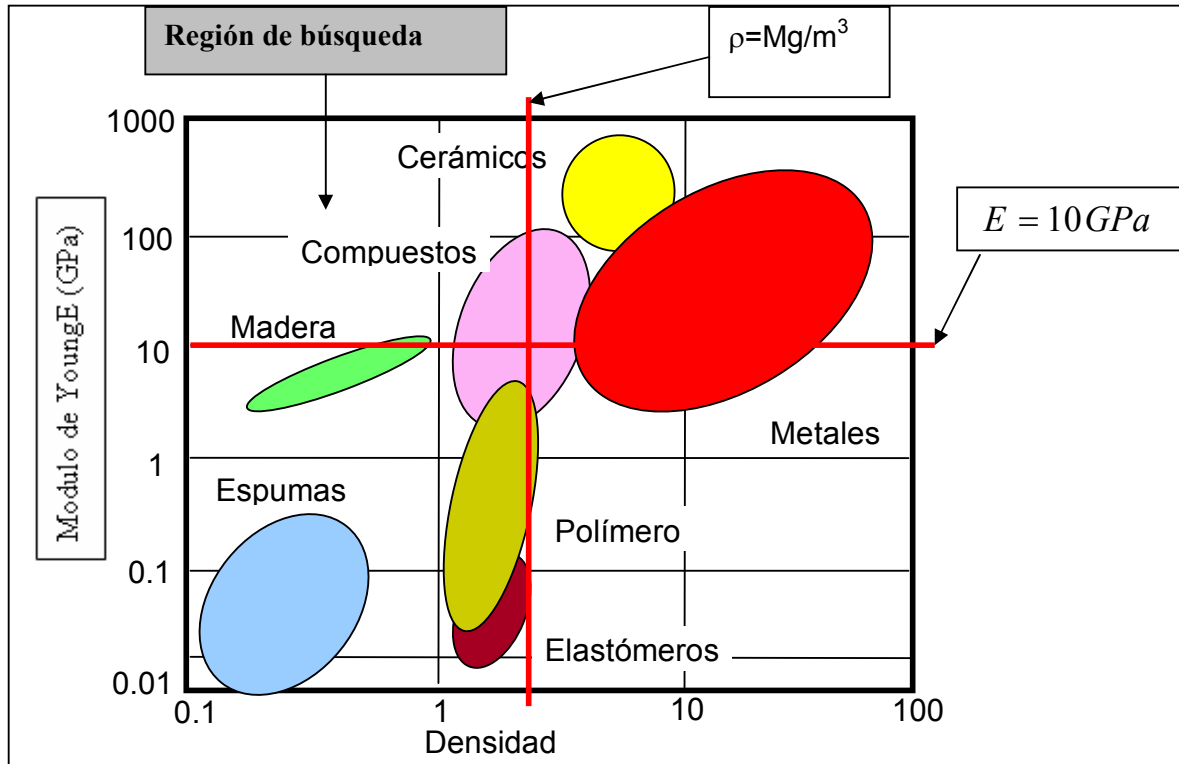


Figura 5.8. La búsqueda de los materiales se inicia trazando las restricciones de diseño; las líneas vertical y horizontal del diagrama y los materiales posibles están en la región de búsqueda (7).

Los materiales viables son los que se muestran en la zona de búsqueda de de la figura anterior. La línea guía $E/\rho = C$ se desplaza a la región de búsqueda y los materiales de esta región se evalúan con otras restricciones, como la temperatura, la resistencia al impacto, corrosión, etc., para la selección de materiales probable.

En la siguiente tabla se muestran las otras dos líneas guías (factores de eficiencia) que también aparecen trazadas en la figura 5.7.

Propiedades combinadas	Factor de maximización para el diseño de:	Pendiente
$\frac{E^{1/2}}{\rho} = C$	Columnas y ejes rígidos	2
$\frac{E^{1/3}}{\rho} = C$	Planchas rígidas	3

Tabla 5.3. Factores de eficiencia y las pendientes que se forman en una gráfica de log en función de logE.

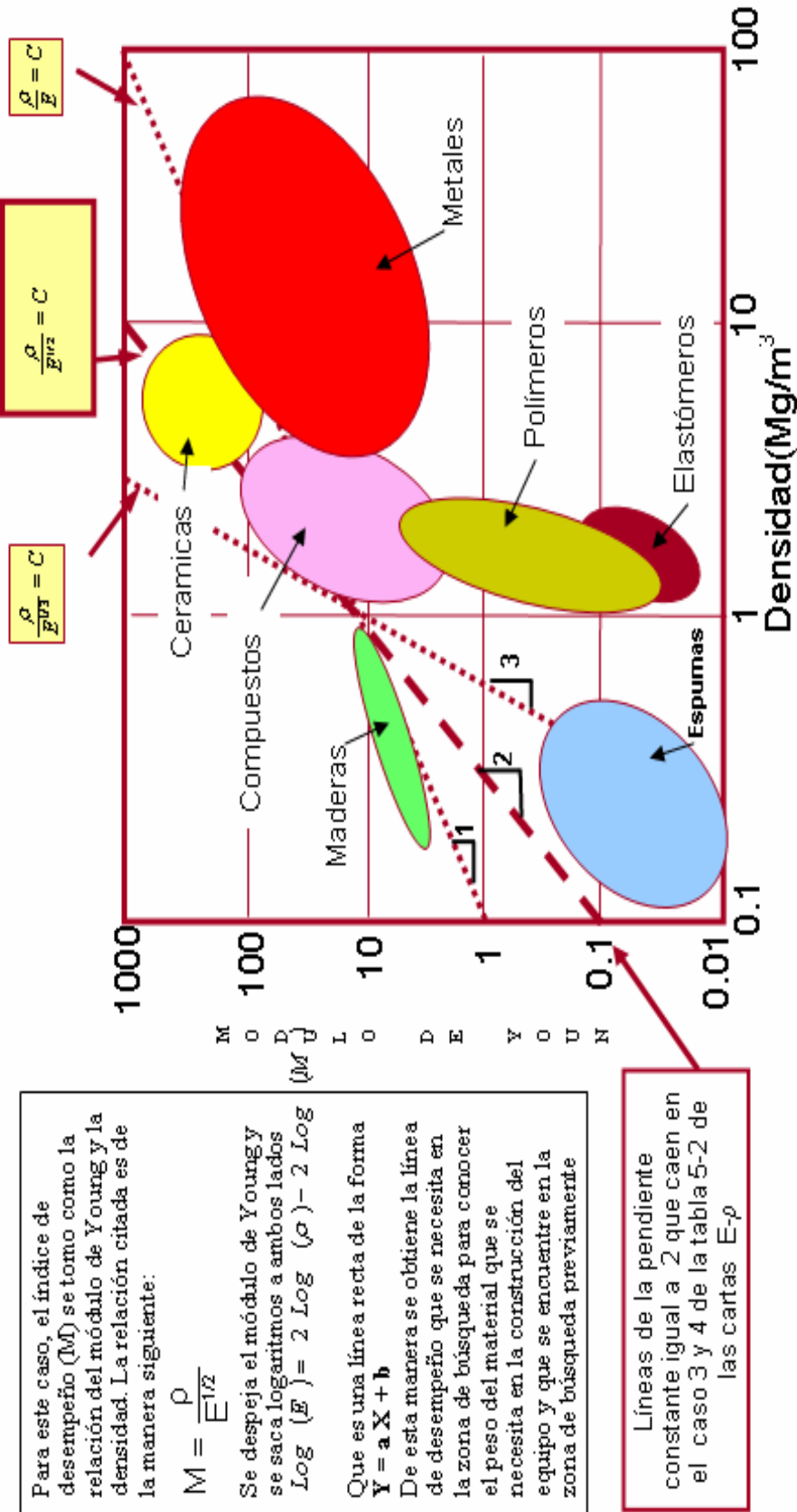


Figura 5.9. Selección óptima de los materiales con el uso de las cartas (7).

Los diagramas de Ashby son útiles en la etapa conceptual del diseño porque muestran las clases generales de materiales que se pueden utilizar para una aplicación determinada.

Como primer paso se definen las restricciones del problema de diseño las cuales quizá se expresen en términos del ambiente al que el componente está expuesto.

Esta es la manera de representar las propiedades de los materiales para la elección de una de ellos según alguna característica física, en este caso es la elasticidad.

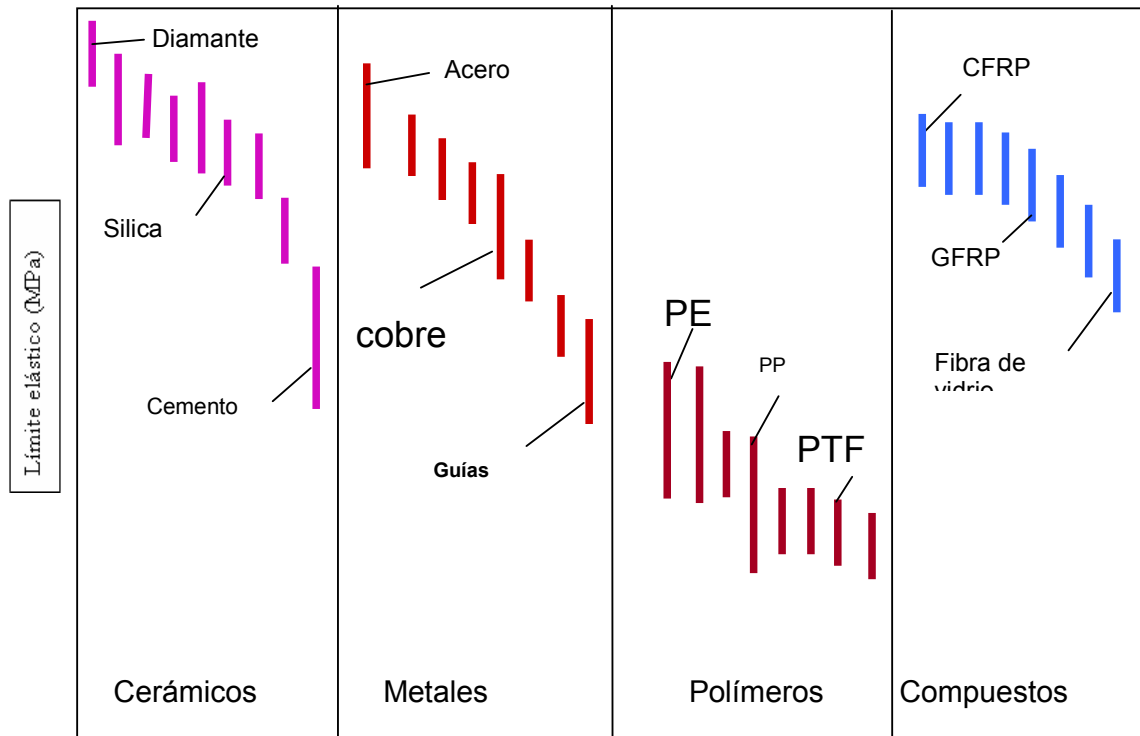


Figura 5.10. Cartas de propiedades de barra para diversos tipos de materiales (7).

5.7. COSTOS DE MATERIALES

Cuantitativamente el costo de materiales depende de la densidad y la resistencia (esfuerzo de diseño) del material y cuando se tiene que tomar la decisión de elegir de entre varios materiales que cumplan con el perfil de materiales, lo que se hace es un análisis de costos contra duración y se escoge el mejor.

La comparación del costo se hace calculando la posición que ocupa en los costos ($rating_{\text{costos}}$) que es una evaluación del costo y se define por la ecuación:

$$rating_{\text{costo}} = \frac{C\rho}{\sigma_d}$$

Donde C es el costo por unidad de masa (dólares por kg), ρ es la densidad (kg/m^3) y σ_d es el esfuerzo de diseño (N/mm^2).

En la figura 5.9. se muestran los costos de los materiales básicos en dólares por kilogramo:

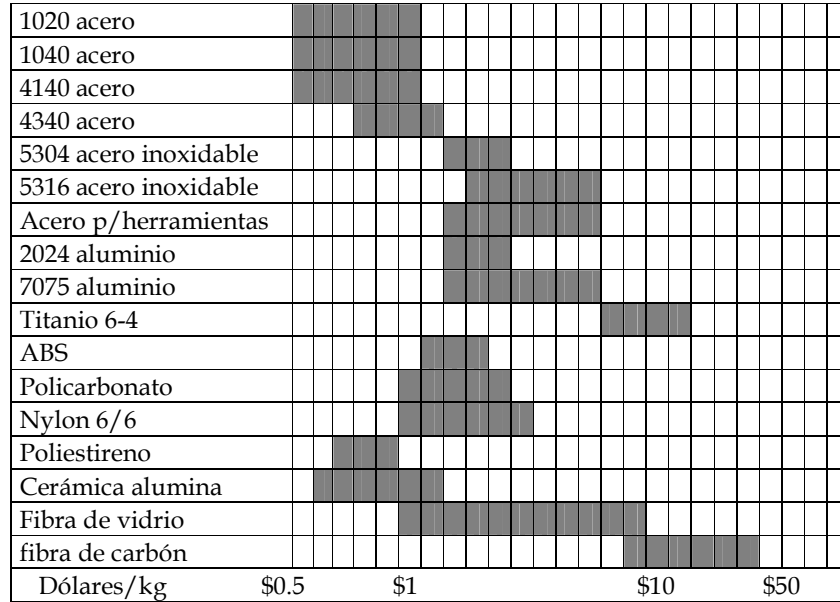


Figura 5.9. Ilustración que muestra la comparación de los rangos de costos de materiales utilizados en la industria química ⁽¹⁵⁾.

También se tiene una posición de costo relativo (rating de costo relativo), y es relativo en comparación con el acero a bajo carbón y se muestra en la siguiente tabla.

Materiales	Costo relativo	Esfuerzo de diseño
Acero al carbón	1	100
Aleaciones de aluminio(Mg)	4	70
Aceros inoxidables 18/8 (Ti)	5	130
Inconel	12	140
Laton	10 -15	76
Al-bronces	16	87
Aluminio	18	14
Monel	19	120
Cobre	27	46
Niquel	35	70

Tabla 5.4. Posiciones de costos (rating de costo relativo) de metales y las comparaciones de los esfuerzos de diseño ⁽¹⁰⁾.

Los costos relativos de fabricación del equipo son diferentes de los materiales, ya que dependen de los costos de fabricación, además del costo de la fuente de material. A menos

que un material en particular requiera de técnicas de fabricación especiales, el relativo costo final del equipo podrá disminuir tanto como se descubra el mejor material con el costo más bajo.

Cuando se tiene un ambiente de mucha corrosión de manera uniforme, el material óptimo se selecciona por el cálculo de los costos anuales para la obtención de dichos candidatos. El costo anual depende de la predicción de la vida del material y se calcula con la velocidad de corrosión y el costo de la compra del equipo.

5.8. DISEÑO DE COMPONENTES DE INGENIERIA Y LA SELECCIÓN DE MATERIALES

El diseño de un producto, componente o estructura ingenieril es una tarea compleja y multidisciplinaria y está enfocada a resolver un problema de los requisitos comerciales y de ingeniería de diseño.

La selección de materiales tiene siempre presente que el material óptimo debe cumplir con las especificaciones requeridas para el proceso, el procesamiento de dicho material, las regulaciones ambientales y además el costo mínimo.

Metodología del diseño

El procedimiento de diseño se inicia con una necesidad de obtener un producto, componente o estructura que va a cumplir con un objetivo claro y específico dentro de un proceso (sea tanto en una máquina, un recipiente, o parte de una estructura) o como un producto final para usos distintos (una estructura de bicicleta, las alas de un avión, el faldón de una columna, etc.).

La importancia de la correcta selección de un material para su uso en alguna actividad específica se debe a que para el producto se puede diseñar o modificar en razones de limitaciones como lo son el tamaño y la resistencia.

Para alcanzar el objetivo deseado, el procedimiento de diseño pasa por etapas características como se muestran en la figura 5.11. Estas fases son (1) la aclaración de la necesidad, (2) diseño conceptual, (3) diseño de formulación, (4) diseño de detalle y (5) manufactura/motaje.

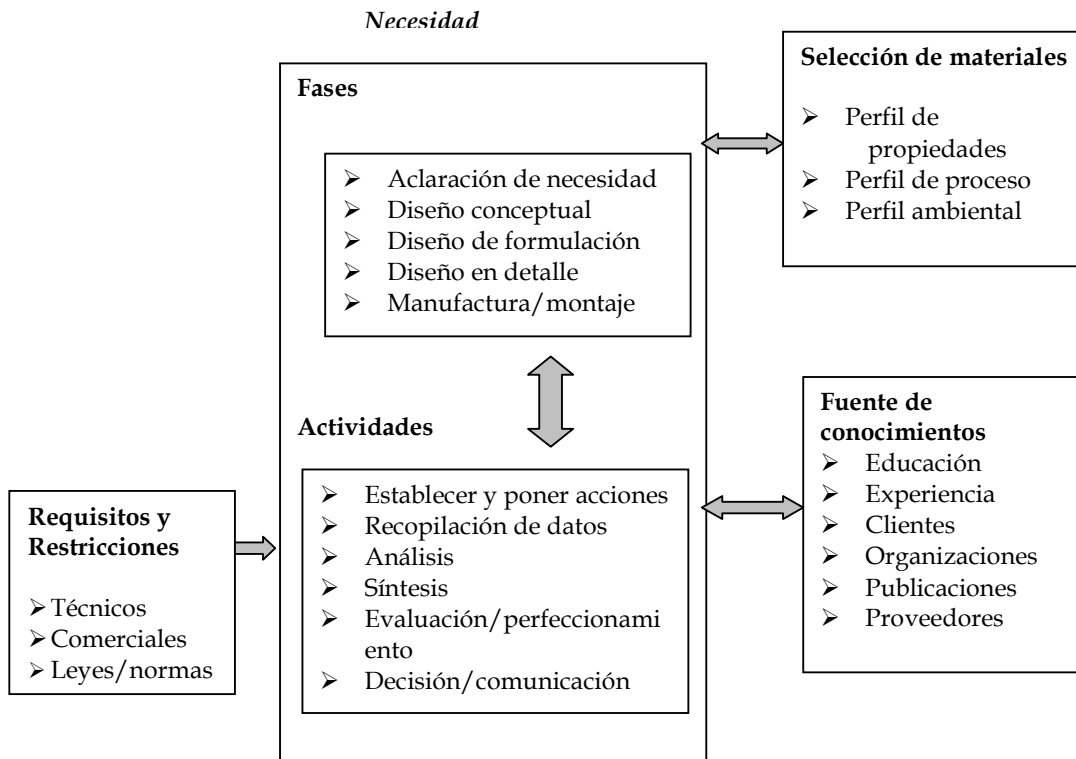


Figura 5.11. Etapas del procedimiento de diseño junto con las actividades asociadas a ellas ⁽⁷⁾.

En cada una de estas fases se incluye establecer una acción futura, la recopilación de información, análisis, síntesis, evaluación y perfeccionamiento, y finalmente la toma de decisiones y comunicación.

Fases del diseño

La *aclaración de la necesidad* implica enunciar y aclarar el problema. En esta etapa se recopila y se impone por escrito todos los requisitos y las restricciones, las normas a las que es necesario apegarse, los requisitos establecidos por la ley, la fecha de terminación prevista del proyecto de diseño y aspectos similares.

El objetivo de la actividad de *diseño conceptual* es generar las posibles soluciones, planes o métodos para resolver el problema.

En la etapa de *diseño de formulación* se formulan y evalúan con mayor detalle las dos o tres soluciones o planes conceptuales seleccionados, y se hace una elección definitiva del plan o metodología que se utilizará.

La fase de *diseño en detalle* considera el número de pequeños pero importantes detalles que la elaboración o fabricación del producto o componente implica. La calidad de este trabajo debe ser muy buena; de lo contrario, puede haber demoras mayores, costos o fallas. El producto de esta actividad es un conjunto de dibujos detallados, así como las especificaciones definitivas en cuanto a la precisión de los métodos de *manufactura o montaje*; debido a que estos se refieren a los métodos y precisiones de unión para la elaboración del equipo.

Finalmente el diseño, que básicamente implica una idea, implica un concepto general que pretende satisfacer alguna necesidad individual, colectiva o de un mercado cuya función más esencial es la de crear y/u optimizar cualquier cosa.

Para la creación de un producto de alto desempeño y de un costo aceptable, el orden en que se genera el adecuado estudio de los materiales para el diseño y sus aplicaciones es la figura 5.12.

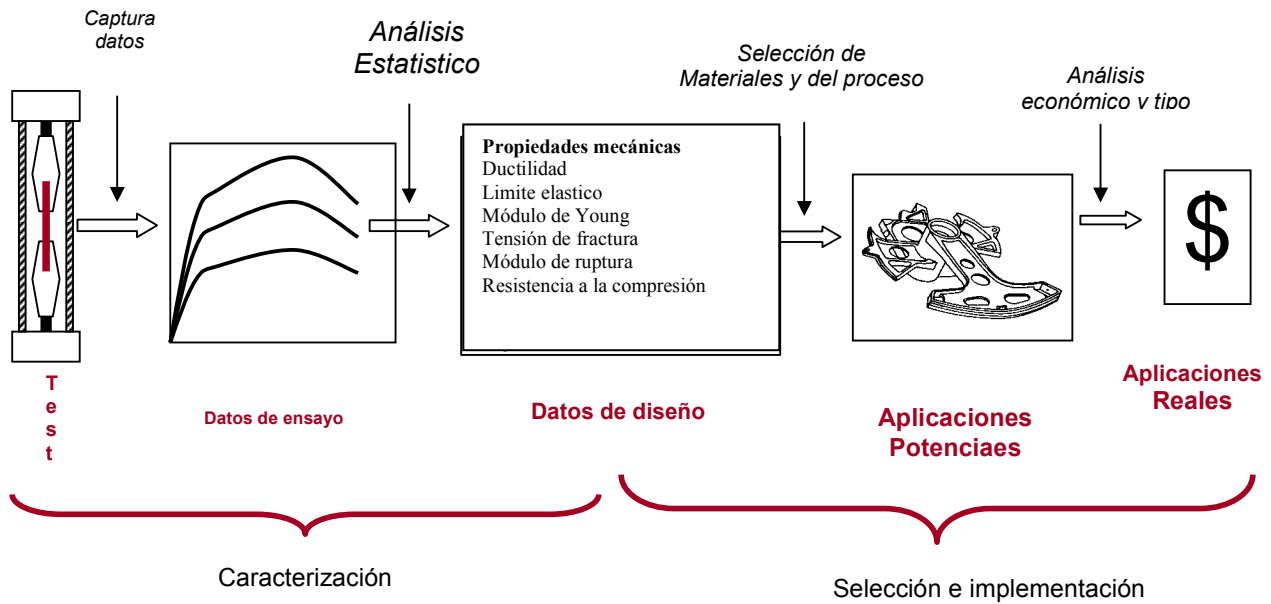


Figura 5.12. Etapas para la selección de materiales para la creación equipos de alto desempeño y económicamente factibles (7).

6. PRINCIPALES FALLAS DE MATERIALES

Cuando hay una falla en un equipo, no siempre se debe a las fallas del material del cual el equipo está hecho. Existen demasiados tipos de fallas y se pueden clasificar como parte de, o una combinación de las siguientes:

- Deficiencia en el diseño.
- Deficiencia en la selección de materiales.
- Imperfecciones del material.
- Deficiencias en la fabricación y tratamiento.
- Errores de montaje.
- Condiciones de servicio inadecuadas.

6.1. DEFICIENCIA EN EL DISEÑO

En muchas ocasiones no se toman en cuenta las concentraciones de esfuerzos que son transmitidos de una pieza a la otra en la unión.

En otros casos la aplicación de un número insuficiente de criterios para la selección de materiales. Eso nace de la imposibilidad de realizar cálculos de esfuerzos confiables y de no contar con información suficiente de los tipos y magnitudes de las cargas sobre la pieza expuesta en servicio.

Al diseñar elementos mecánicos que resistan las fallas, se debe estar seguro de que los esfuerzos internos no rebasan la resistencia del material. Si el que se empleará es dúctil, entonces lo que más interesa es la resistencia de fluencia, ya que una deformación permanente sería considerada como falla; sin embargo, existen excepciones a esta regla.

Muchos de los materiales más frágiles o quebradizos, como los hierros colados, no poseen un punto de fluencia, así que debe utilizarse la resistencia última como criterio de falla. Al diseñar elementos que han de hacerse de material frágil, también es necesario recordar que la resistencia última a la compresión es mucho mayor que a la tensión. Las resistencias de los materiales dúctiles son casi las mismas a tensión que a compresión. Por lo general, se considera que esto ocurrirá en el diseño a menos que se posea información contraria.

6.2. DEFICIENCIA EN LA SELECCIÓN DE MATERIALES

Cuando se tiene un determinado proceso, también se tiene un determinado proceso de selección de materiales. Cada selección de materiales se lleva a cabo de manera individual y solo se puede apoyar en selecciones que estén estrechamente relacionadas. Se deben elegir los materiales de acuerdo a los posibles mecanismos de falla, los tipos de carga y esfuerzos y las condiciones ambientales.

El problema más difícil de resolver es la interacción del material con las sustancias del proceso y el medio ambiente.

6.3. IMPERFECCIONES DEL MATERIAL

Cuando se tienen materiales del mismo tipo o clase se toma en cuenta que tienen las mismas propiedades, pero algunas veces no es así, ya que se tienen imperfecciones como resultado del tratamiento, fabricación o manejo del material, y también durante el servicio. Estas imperfecciones pueden ser:

- Segregaciones de solutos o impurezas
- Inclusiones
- Porosidad
- Huecos resultantes de las condiciones de fusión, colados y solidificación.

La zona afectada puede que cuando se le aplique el calor de la soldadura se agriete, o durante el montaje. Se debe de recordar que durante el servicio también pueden presentar grietas de fatiga, picaduras por corrosión u otras cuestiones a causa de la temperatura y presión de servicio. Esto quiere decir que se debe de seleccionar un material con base no solo a las cargas y esfuerzos que deben de soportar, sino también en función de la modalidad de carga y de la calidad, tratamiento, fabricación, manejo y condiciones de servicio del material.

La calidad del material se refiere a la ausencia de inclusiones indeseables, que inducen un comportamiento deficiente, especialmente en condiciones de fatiga. Durante el procesamiento, estas inclusiones también afectan las características de superficie del material. Durante la fabricación, las inclusiones inducen agrietamientos.

6.4. DEFICIENCIAS EN LA FABRICACIÓN Y TRATAMIENTO

La susceptibilidad a la falla puede ser consecuencia de condiciones inadecuadas de tratamiento, de cambios realizados a las especificaciones sin evaluación completa, de no seguir

los procedimientos especificados y de los errores del operador a daños accidentales. En la tabla 6.1 se muestran los tratamientos y procesos a los que son sometidos los metales y la falla que generan:

Tratamiento	Consecuencias de una mala aplicación
Formado en frío	Esfuerzos residuales Alteran propiedades mecánicas Agotamiento local de ductilidad
Embutido profundo	
Alargamiento	
Expansión	
Reducción	
Doblado	
Cizallamiento	Bordes ásperos Bordes desgarrados
Punzonado	
Perforación	
Muecas	Sobrecalentamiento y reblandecimiento local grietas menudas en aceros endurecidos
Maquinado	
Esmerilado	

Tabla 6.1. Tratamientos de metales y las consecuencias de la inadecuada aplicación ⁽²⁾.

6.5. ERRORES DE MONTAJE

Estas fallas son consecuencia de errores de montaje no identificados durante la inspección por parte del fabricante o del comprador y que al inicio no se obtuvo ningún problema en la operación normal.

En ocasiones los errores tienen que ver con las especificaciones de montaje inexacto, incompletas o ambiguas; pero ocurren con más frecuencia por errores o negligencias del operador encargado del montaje.

6.6. CONDICIONES DE SERVICIO INADECUADAS

En algunas circunstancias se tienen un aumento o disminución en las condiciones o variables de operación. Las condiciones anormales de velocidad, carga, temperatura y ambiente químico, o la operación sin mantenimiento, inspección y vigilancia programados suelen contribuir de modo importante a las fallas en el servicio.

Para obtener un proceso que siempre opere de forma adecuada, es necesario seguir los procedimientos de arranque o paro de equipos complejos a fin de dar un uso óptimo al equipo. Si existe alguna falla en los procedimientos establecidos, será necesario reevaluar y modificar los procedimientos y los programas de mantenimiento.

7. RECOMENDACIONES PARA SELECCIONAR LOS MATERIALES

En la industria química las condiciones de servicio a tomar en cuenta son principalmente:

1. Revisión del ambiente químico (consultar tabla de resistencia química del material según concentración y temperatura).
2. Revisión del ambiente térmico (verificar temperaturas máximas y mínimas tanto en el arranque como durante el proceso, verificar pico de temperatura y tiempo).
3. Revisión de las condiciones mecánicas de operación (resistencia requerida a la flexión, al impacto, desgaste, fatiga, fractura, etc.).
4. Revisar disponibilidad del material (laminado, tubo o necesidad de moldear).
5. Revisar proceso de fabricación y montaje (costo de maquinado, posibilidad de moldeado, tolerancias, etc.).

7.1. EL PROCESO DE LA SELECCIÓN DE MATERIALES

Para una adecuada selección de materiales se deben seguir lineamientos como los que a continuación se presentan para dicha selección:

1. Comprobar que los requerimientos de diseño se encuentren dentro de las propiedades del material.
- Explicar la función más importante especificada en los objetivos del diseño.
2. Eliminar a los materiales en los cuales se puedan presentar fallas de acuerdo con las especificaciones de diseño.
3. Ordenar en una lista de manera descendente a los materiales que puedan cumplir de la mejor manera los objetivos planteados en el diseño.
4. Buscar más información que soporten a los posibles candidatos lo cual permitirá:
 - Cualificar y cuantificar las propiedades de los materiales.
 - Conocer las técnicas de control de las propiedades de mayor interés.
 - Seleccionar las familias y definir los tratamientos y procesos que permiten optimizar las características buscadas.
 - Justificar las causas de las características que se le exigen a un material.
 - Seleccionar el material adecuado para cada aplicación, cuantificando los parámetros requeridos para el diseño.
 - Conocer y aplicar las técnicas que le permitan el control de la calidad y de las características requeridas en el diseño.

7.2. SELECCIÓN DE MATERIALES PARA CADA APLICACIÓN

Los materiales compiten unos con otros por su existencia y los nuevos mercados. Hay períodos de tiempo en los que aparecen muchos factores que hacen posible la sustitución de un material por otro para ciertas aplicaciones.

Dos son los factores que facilitan este cambio:

1. El coste del producto es el argumento fundamental para desplazar un producto del mercado en compromiso con la garantía de servicio y con un mínimo mantenimiento.
2. Desarrollo de propiedades especiales inalcanzables para otros.

7.3. TENDENCIAS EN EL USO DE MATERIALES

La investigación de nuevos materiales es una constante de nuestro tiempo en todos los campos de la ingeniería.

El ingeniero de materiales investiga en:

1. Materiales que puedan soportar más altas temperaturas, como es el caso de las superaleaciones.
2. Materiales que permitan conseguir más altas características resistentes combinando composiciones y procesos como son los aceros microaleados.
3. Materiales que pueden aligerar las estructuras especialmente las móviles como en ferrocarril y automoción. Son en base aluminio y titanio.
4. Procesos de compactación, en metalurgia de polvos, en caliente e isostático para permitir mayor control en el poro resultante y con ello en sus características.
5. Procesos de soldadura y adhesivos que permitan optimizar la continuidad entre las uniones de partes de las estructuras.
6. Materiales poliméricos conformados por las mezclas de diversos polímeros, que combinan las mejores propiedades de ellos.
7. Procesos de moldeo por inyección en materiales poliméricos que permiten mejorar características y costos.
8. Moldeo por inyección de polvos metálicos que permiten conseguir formas más complejas.
9. Materiales cerámicos que aumentan su tenacidad en la línea de las cerámicas denominadas blancas.

10. Procesos de aplicación de recubrimientos cerámicos sobre soporte metálico con el objeto de ganar resistencia al desgaste.

11. Materiales compuestos de matriz polimérica con refuerzos de diversas composiciones que permitan mayor rigidez y características.

El diseño óptimo de una pieza, o máquina como conjunto de piezas, requiere el compromiso de la buena conformación, de acuerdo con las funciones específicas, y el buen dimensionamiento, de acuerdo con la adecuada selección del material. La selección y el dimensionamiento requieren el conocimiento de los índices que califican y cuantifican las cualidades de cada uno de los materiales alternativos que son aptos para realizar una pieza.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ashby, M.F., "Materials Selection in Mechanical Design"
Pergamont Press, Oxford, 1992.
2. Mongonon P. L., "Ciencia de Materiales: Selección y Diseño".
Editorial Person Education, Ney Jersey, 2001.
3. Myer, K., " Handbook of Materials Selection".
Wiley John and Sons Inc. New York, 2002.
4. Callister, W.D., "Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales".
Editorial Reverté, S.A. Barcelona, 1995.
5. Askeland, D. R., "La Ciencia e Ingeniería de los Materiales" 3ª. ed.
International Thomson Editores, México DF, 2001.
6. Smith, W.F., "Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de los Materiales".
McGraw Hill / Interamericana de España S.A. Madrid, 1993.
7. Ashby, M.F., D.R. Jones, "Engineering Material 1: An Introduction to their Properties
and Applications".
Pergamon Press, Oxford, 1996.
8. Budinski, K.G., "Engineering Materials. Properties and Selection".
Pergamon, Oxford, 1996.
9. Shachelford J.F., "Introducción a la Ciencia de Materiales para Ingenieros".
Prentice Hall Hispanoamericana, México DF, 1998.
10. Coulson, J.M., J.F. Richardson, R.K. Sinnott, "An Introduction to Chemical
Engineering Design". Chemical Engineering Vol. 6.
Pergamon Press, Oxford, 1983.
11. Cervantes, L.E., C. Cuellar, "Los Materiales en la Ingeniería Química". Tesis de
Ingeniero Químico
UNAM, México, 2001.
12. Pero-Sanz, J.A., "Ciencia e Ingeniería de Materiales. Estructura, Transformaciones,
Propiedades y Selección". 3ª. ed.
Dossat, Madrid, 1996.
13. Seider W.D., Seader J.D., Lewin D.R., "Process Design Principles. Synthesis, Analysis,
and Evaluation".
John Wiley and Sons Inc., New York, 1999.
14. Perry, J. M., "Manual del Ingeniero Químico". 7ª. ed.
McGraw Hill, New York, 1999.

-
15. Peters M.S., Timmerhaus. M., "Plant Design and Economics for Chemical Engineers". 4^a. ed. McGraw Hill, New York, 1991.
 16. Thornton, P.A., "Ciencia de Materiales para Ingeniería". Prentice-Hall Hispanoamericana S.A., México DF, 1985.
 17. Levenspiel, O., "Ingeniería de las Reacciones Químicas". Editorial Reverté, S.A. Barcelona, 1986.
 18. Steel Founders' Society of America, "Steel Castings Handbook". Supplement 9. High Alloy Data, Sheets Heat Series, 2004.
 19. Tregeder, F. Ludwig M., "Métodos de la Industria Química". Vol. II. Editorial Reverté S.A., Barcelona, 1997.
 20. Coca, P., J. Rosique, "Ciencia de Materiales. Teoría, Ensayos y Tratamientos". Pirámide, Barcelona, 1985.
 21. Avner, S. H., "Introducción a la Metalurgia Física". Mc Graw Hill, New York, 1979.
 22. Flinn, R. A., P.K. Trojan, "Materiales de Ingeniería y sus Aplicaciones". 3^a ed. McGraw-Hill, New York, 1989.
 23. Instituto Europeo di Desing, "Selección de materiales" 24 de diciembre del 2004, <http://www.uca.edu.sv/facultad/ing/mecarch/m210031/apuntes.htm>

ANEXOS

Los anexos siguientes son para conocer otras propiedades que sirven para la selección de materiales.

A1.

Criterios para selección de materiales

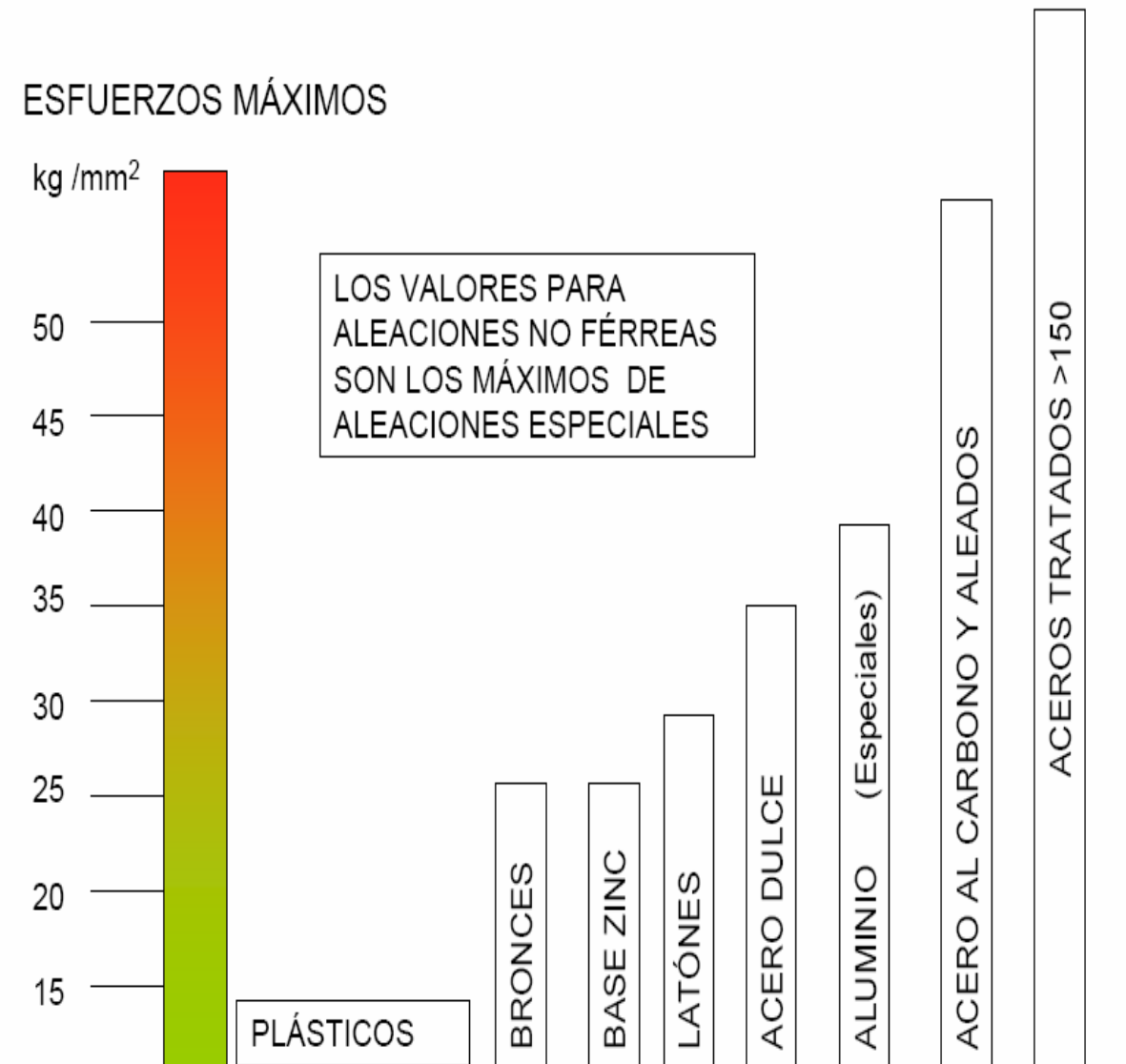


Figura A1. Comparación de la resistencia a los esfuerzos máximos de distintos materiales ⁽²³⁾.

A2.

Criterios para selección de materiales

E=Excelente ,

A=Alta,

M=Media,

B=Baja,

N=Nula

Propiedad\	Metales	Cerámicos	Vidrios	Polimeros	Cemento y Concreto	Compósitos
Resistencia a la Tensión	E	M	B	M	B	A-M-B
Resistencia a la Compresión	M	A	B	A	A	A-M-B
Resistencia a la Flexión	A	M	B	A	M	A-M-B
Resistencia al Desgaste	A	A	B	M	B	A-M-B
Dureza	A-M	A	M	B	M	A-M-B
Tenacidad	A	A	B	A	B	A-M-B
Plasticidad	A	B	N	A	N	A-M-B
Densidad	A-M	M-B	M-B	M-B	M-B	A-M-B
Conductividad térmica	A	B	B	N	B	A-M-B
Conductividad eléctrica	A	M-B	N	N	N	A-M-B
Propiedades Magnéticas	E	E	N	N	N	A-M-B

Tabla A1. Comparación de propiedades de distintos materiales ⁽²³⁾.

A3.

Selección plásticos

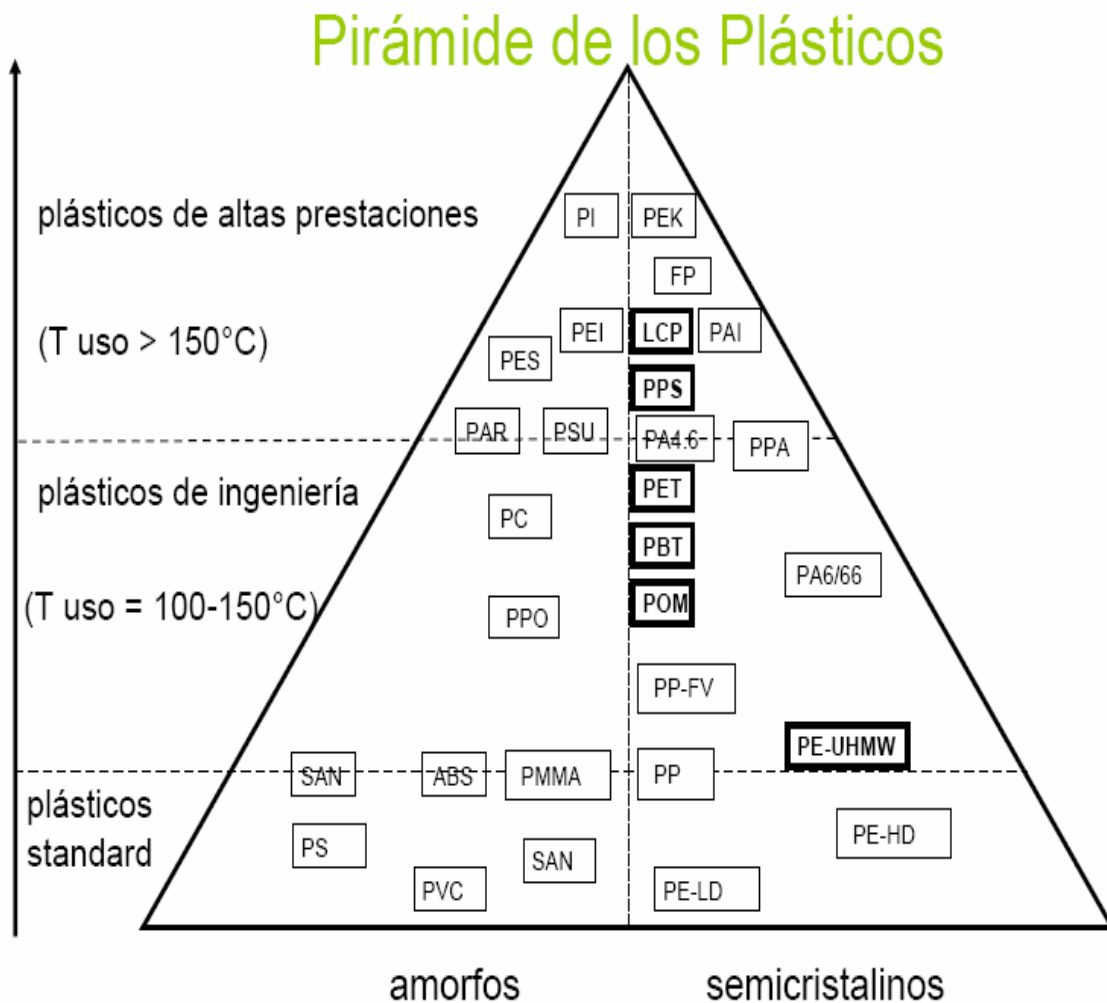


Figura A2. Pirámide que clasifica los plásticos con las según sus propiedades de cristalinidad y temperatura ⁽²³⁾.

A5.

Selección polímeros

Escalas de Dureza y Dureza de Polímeros Comunes

La dureza de un material es una propiedad fundamental que debe tomarse en cuenta al diseñar una pieza. Es frecuente encontrar datos de dureza de plásticos y/o elastómeros expresados en diferentes escalas (por ejemplo: Shore A, Shore D, Rockwell) lo que en ocasiones dificulta la comparación rápida entre dos materiales.

A continuación se muestra de modo gráfico la relación que existe entre las escalas de dureza mencionadas arriba, los rangos en los que se encuentran los plásticos y elastómeros y los valores típicos de dureza de varios materiales comunes.

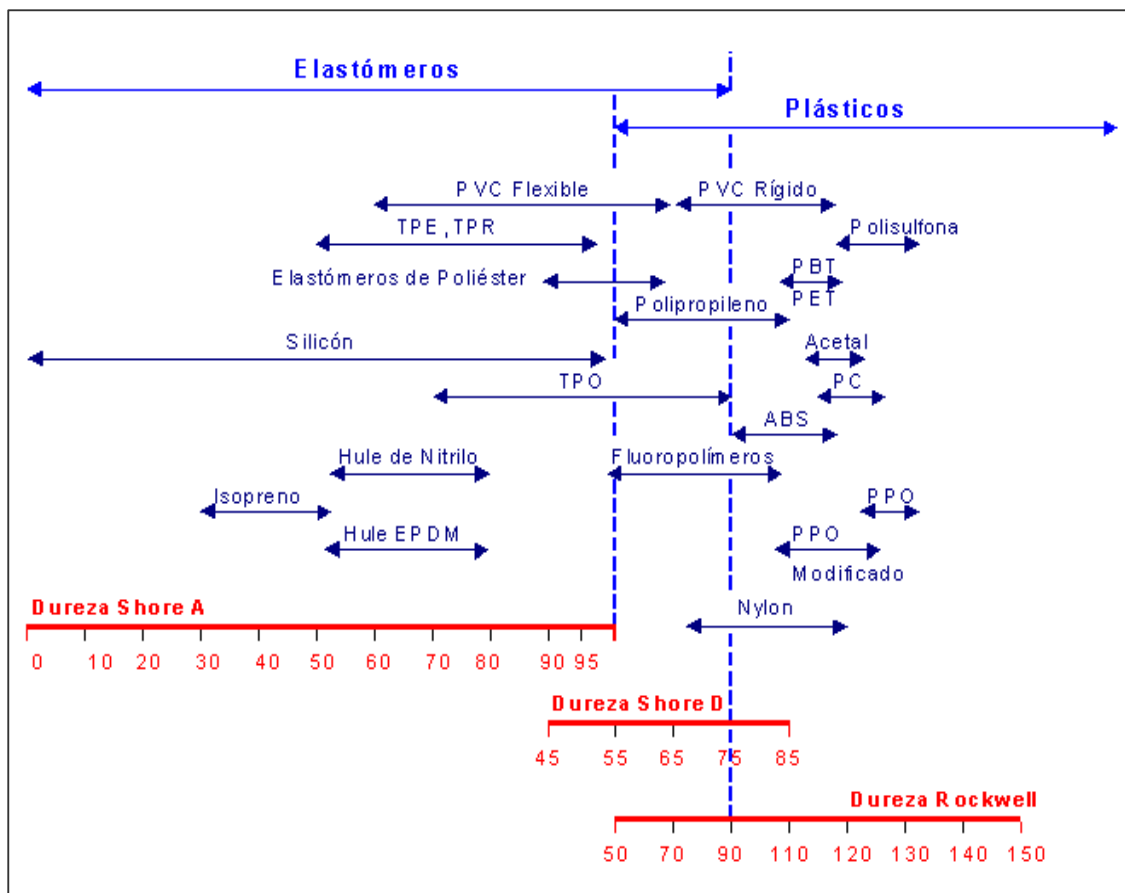


Figura A3. Escalas de dureza utilizadas en los plásticos ⁽²³⁾.

A6.

Coeficientes de dilatación térmica lineal similares a metales

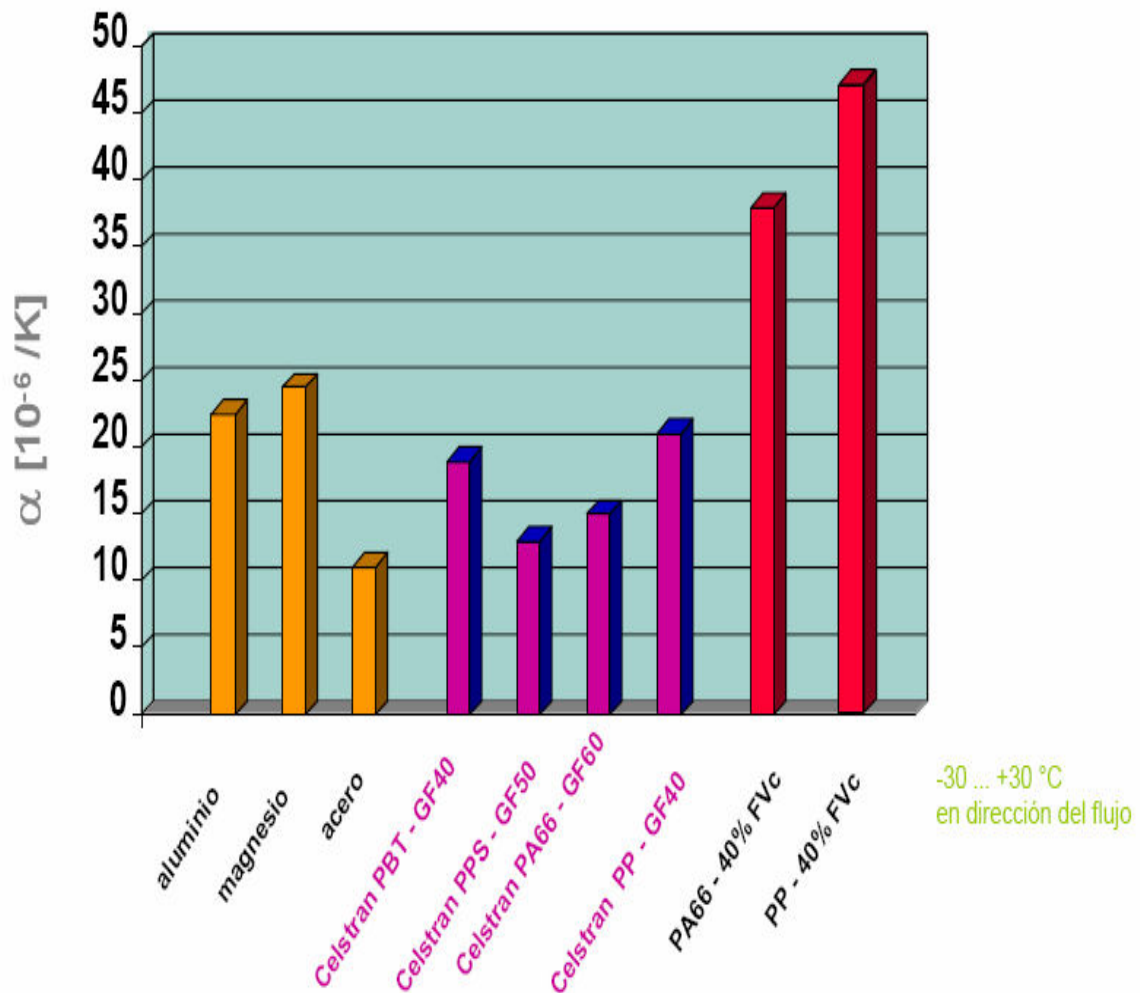


Figura A3. Coeficientes de dilatación térmica de metales y polímeros ⁽²³⁾.