

Instituto Politécnico

Universidad Nacional de Rosario Universidad Nacional de Rosario

Conocimiento de Materiales

Construcciones de
Madera y de Hierro

Cod. 20501-14

Rosa Lefevre

Dpto. de Construcciones

Masterización: RECURSOS PEDAGÓGICOS





CONOCIMIENTO DE MATERIALES

BIBLIOGRAFÍA:

- Fundamentos de la ciencia de materiales – 4ta. Edición – William F. Smith – Javad Hashemi, PhD. – Editorial McGraw – Hill Interamericana – 2006
- Introducción a la Ciencia de materiales para ingenieros – 6ta. Edición – James F. Shackelford – Editorial Pearson Prentice – 2005
- Apunte: “Estructura “ 3ero. Polimodal – Tecnología de Materiales – Ing. Ana Druker
- Hormigón Armado y Pretensado – Hubert Rüsh
- Cubiertas con Estructura de Madera – Hector Scerbo
- Manual Vassa
- Manual Minetti
- Apuntes de Tecnología de Materiales – Ing. Rosa Lefevre

1.1.-Introducción:

Desde el comienzo de la civilización, los materiales junto con la energía han sido utilizados por el hombre para mejorar su nivel de vida. Se encuentran en todos lados alrededor nuestro.

Dado que los materiales son necesarios para elaborar productos se deben conocer la estructura interna y sus propiedades para poder elegir el más adecuado en cada aplicación

Con este objetivo y debido al avance de la investigación y el desarrollo, se están creando continuamente nuevos materiales o modificando los existentes para lograr mejores propiedades.

La búsqueda de materiales que respondan a determinadas necesidades se da en todas las áreas ya que, por ejemplo, los ingenieros mecánicos buscan materiales que puedan funcionar eficientemente a altas temperaturas para los motores, los electrónicos necesitan que los dispositivos puedan operar a mayores velocidades y temperaturas; los aeroespaciales buscan mayores relaciones resistencia – peso para el diseño de aviones y vehículos espaciales; los civiles, mayores relaciones resistencia – peso, buenos aislantes y resistentes al fuego, los químicos, más resistentes a la corrosión, los médicos y odontólogos materiales biocompatibles. En otros casos se necesitan dispositivos inteligentes y sistemas microelectromecánicos para usarlos como detectores y accionadores.

1.2.1- Tipos de materiales:

Según las distintas bibliografías se puede decir que existen tres grupos principales de materiales:

- Metálicos
- Poliméricos
- Cerámicos

De estos tres grupos surge además un cuarto grupo conocido como

- Materiales Compuestos.

Sin embargo las bibliografías más modernas hablan también de los materiales:

- electrónicos
- inteligentes
- nanomateriales

1.2.2. Cuestiones de diseño y elección del material:

Como vemos existen muchísimos materiales y, como se dijo, cada día aparecen nuevos o se mejoran los ya existentes modificando sus características. Por esta razón al momento de realizar un diseño se estará frente a la difícil tarea de seleccionar el material adecuado y para esto se deberán conocer la estructura, características, propiedades físicas, químicas, mecánicas (comportamiento del material frente a los esfuerzos a los que se verá sometido), térmicas, ópticas y propiedades especiales de los posibles elementos a usar. Obviamente siempre existirán varias opciones y en muchos casos el material más adecuado por su comportamiento general no será el más



barato de obtener, el más fácil de reciclar una vez concluida su vida útil o aquél que cause el menor impacto ambiental, es por eso que hablamos de **difícil tarea** ya que serán muchas las cuestiones a analizar.

1.3. Estructura atómica y enlaces:

Si consideramos que los materiales están constituidos por átomos y que de acuerdo a su distribución y forma de enlaces será el comportamiento del material frente a determinado estímulo, podrá comprender el alumno que los conceptos adquiridos en química serán muy importantes a la hora de entender las propiedades de los distintos elementos. (Se sugiere repasar conceptos de estructura atómica, peso atómico, masa atómica, N° de Avogadro, configuración electrónica)

Repasaremos aquí algunos conceptos importantes.

1.3.1. Tipos de enlaces atómicos y enlaces moleculares:

El enlace químico entre átomos ocurre debido a la disminución neta de la energía potencial de los átomos en estado enlazado. Es decir que en estado enlazado están en condiciones energéticas más estables que cuando están libres.

Los enlaces entre átomos pueden dividirse en:

- primarios (o fuertes)
- secundarios (o débiles)

1.3.1.1. Enlaces primarios:

Intervienen grandes fuerzas interatómicas. Se dividen en:

- Iónicos
- Covalentes
- Metálicos

Enlaces iónicos:

Intervienen grandes fuerzas atómicas debidas a la transferencia de un electrón de un átomo a otro produciéndose iones que se mantienen unidos por fuerzas colombianas. Es no direccional relativamente fuerte.

Pueden formarse entre elementos muy electropositivos (metálicos: 1A, 2A) y elementos muy electronegativos (no metálicos: 6A, 7A). En el proceso de ionización los electrones se transfieren desde los átomos de los elementos electropositivos a los átomos de los elementos electronegativos. Las fuerzas iónicas de enlace son debidas a la fuerza de atracción electrostática entre iones con carga opuesta.

Un ejemplo de un sólido con un alto grado de enlace iónico es el cloruro de sodio (NaCl).

Las propiedades resultantes de este tipo de enlace en los distintos compuestos son:

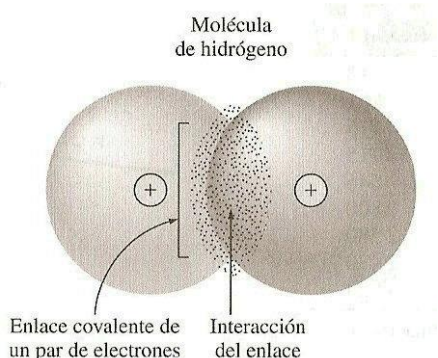
- al estado sólido no son conductores de la energía eléctrica, pero si se funden o se disuelven en agua conducen la corriente eléctrica ya que en esas condiciones los iones están separados.
- No se deforman plásticamente (es decir rompen en forma frágil), ya que es imposible el desplazamiento entre planos atómicos sin producir un desequilibrio en la estructura.

Enlaces covalentes:

Corresponden a fuerzas interatómicas relativamente grandes creadas cuando se comparten electrones para formar un enlace con una dirección localizada.

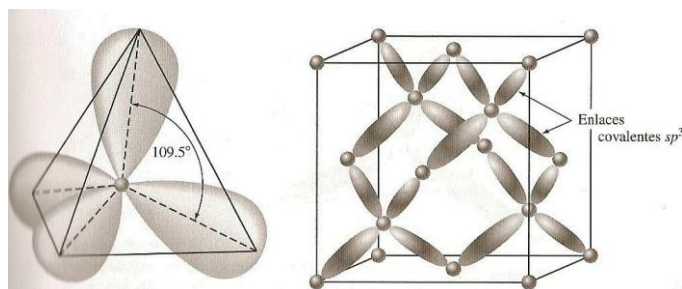
Se forma entre átomos con pequeñas diferencias de electronegatividad y ubicados muy próximos en la tabla periódica. Los átomos generalmente comparten sus electrones externos s y p con otros átomos, de modo que cada átomo alcanza la configuración electrónica de gas noble. En un enlace covalente sencillo, cada uno de los dos átomos contribuye con un electrón a la formación del par de electrones del enlace.

El caso más sencillo de enlace covalente tiene lugar en la molécula de hidrógeno, en la cual dos átomos de hidrógeno aportan sus electrones para formar un par de electrones unidos por enlace covalente. Cuando los átomos de hidrógeno se aproximan para formar la molécula de hidrógeno, sus nubes de carga electrónica interaccionan y se solapan.



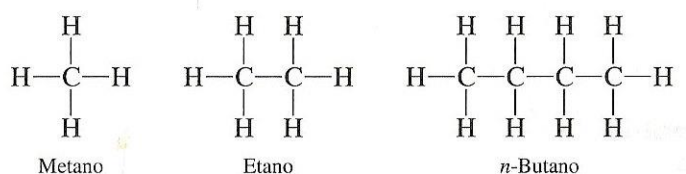
Un ejemplo muy importante en el estudio de materiales es el carbono, ya que es el elemento básico en la mayoría de los materiales poliméricos. El átomo de carbono en su nivel más bajo tiene una configuración electrónica tal que debería formar dos enlaces covalentes. Sin embargo en muchos casos el carbono forma cuatro enlaces covalentes de igual fuerza debido al proceso de hibridación.

El carbono en la forma de diamante exhibe enlace covalente tetraédrico. Los cuatro orbitales híbridos están dirigidos simétricamente hacia los vértices de un tetraedro regular. Esta estructura explica la extremadamente alta dureza del diamante, su alta fuerza de enlace y su elevada temperatura de fusión.



Cada zona sombreada de las figuras representa un enlace covalente de un par de electrones.

Otro ejemplo de enlace covalente son los hidrocarburos cuyas moléculas unidas mediante este enlace contienen sólo carbono e hidrógeno. Este tipo de compuestos dan origen a los materiales poliméricos.



Podemos decir entonces que el enlace covalente es un enlace direccional muy fuerte que le confiere las siguientes características a los materiales en los cuáles se encuentra presente:

- alta dureza (enlace muy fuerte)
- baja conductividad eléctrica

Enlaces Metálicos:

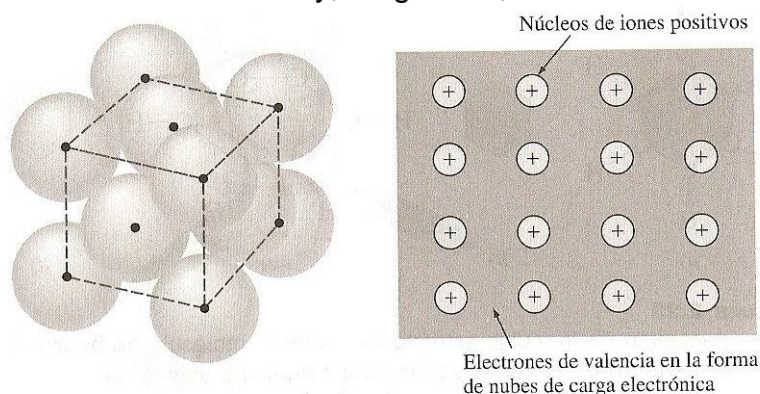
Implican fuerzas interatómicas relativamente grandes creadas cuando se comparten electrones en forma deslocalizada para formar un enlace fuerte no direccional entre los átomos.

Se presenta en los metales sólidos. En ellos los átomos se encuentran muy juntos en una ordenación sistemática o estructura cristalina. Como los átomos están tan juntos los electrones externos de valencia son atraídos por los núcleos de sus numerosos vecinos. Los electrones de valencia no están asociados fuertemente a núcleo particular alguno, 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 metales sólidos, se consideran como constituidos por núcleos de iones positivos (átomos sin sus electrones de valencia) y por electrones de valencia dispersos en forma de nube electrónica que cubre una gran expansión de espacio. Los electrones están débilmente enlazados a los núcleos de iones positivos y pueden moverse fácilmente en el metal cristalino y por esto se les llama frecuentemente, electrones libres. Las altas conductividades térmica y eléctrica de los metales se basan en la teoría de que algunos electrones son libres para moverse a través de la celda cristalina del metal. La mayoría de los metales pueden deformarse considerablemente sin fracturas debido a que los átomos de metal se pueden deslizar unos sobre otros sin distorsionar totalmente la

estructura de enlace metálico debido a que no se generan grandes repulsiones (por esta razón son dúctiles es decir presentan mucha deformación plástica).

En este enlace los electrones de valencia más externos de los átomos son compartidos por muchos átomos circundantes y, en general, este enlace es no direccional.



Las energías de enlace y los puntos de fusión de los diferentes metales varían mucho. En general cuanto menor sea el número de electrones de valencia por átomo que intervenga en el enlace, más metálico resulta éste. Es decir los electrones de valencia son más libres para moverse. A medida que el número de electrones de enlace aumenta, las energías de enlace y los puntos de fusión también, así por ejemplo el calcio con dos electrones de valencia por átomos tiene sus electrones de enlace más estrechamente unidos que el potasio y por lo tanto la energía de enlace como su punto de fusión son más altos que las del potasio.

Podemos concluir que este tipo de enlace da las siguientes características a los materiales que lo presentan:

- buenos conductores de electricidad y calor (por el libre movimiento de los electrones)
- pueden deformarse plásticamente, ya que todos son iones positivos que pueden romper sus enlaces y desplazarse hasta encontrar una nueva posición donde se restituya el enlace.
- Tienden a formar estructuras cristalinas compactas de gran simetría.
- Admiten la introducción de otros átomos metálicos o no metálicos en su estructura cristalina, formando así soluciones sólidas cuyas propiedades varían con la cantidad de átomos en solución.

1.3.1.2. Enlaces secundarios y moleculares:

Los enlaces secundarios son relativamente débiles en relación con los primarios. La fuerza motriz para la formación de estos enlaces es la atracción de los dipolos eléctricos contenidos en los átomos o en las moléculas. Los dipolos eléctricos se crean en los átomos o en las moléculas cuando existen centros con cargas positiva y negativa.

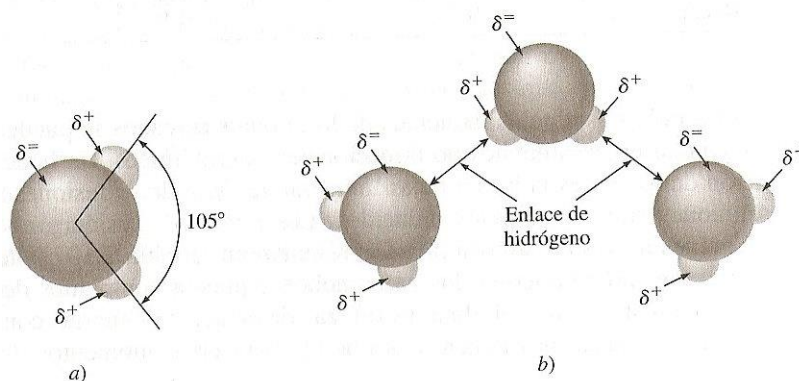
Estos enlaces son denominados algunas veces como Fuerzas de Van der Waals.

Existen dos tipos principales de enlaces secundarios:

- Enlace dipolo permanente
- Enlaces bipolares variables



El **punto de hidrógeno** es un caso especial de una interacción dipolo-dipolo permanente entre moléculas polares. Se presenta cuando un enlace polar conteniendo el átomo de hidrógeno, O-H o N-H, interacciona con los átomos electronegativos O, N, F, o Cl (por ejemplo la molécula de agua).



a) Dipolo permanente de la molécula de agua

b) Enlace de hidrógeno entre moléculas de agua debido a la atracción polar de dipolo permanente

El puente de hidrógeno resulta también muy importante para reforzar el enlace entre cadenas moleculares de algunos tipos de materiales poliméricos.

1.3.1.3. Enlaces Mixtos:

En el enlace químico de átomos pueden presentarse más de un tipo de enlaces primarios y también primarios y secundarios. Así por ejemplo podemos tener las siguientes combinaciones entre enlaces primarios:

- iónico – covalente: cuanto mayor es la diferencia de electronegatividades de los elementos que intervienen en un enlace mixto iónico-covalente, mayor es el grado de carácter iónico del enlace. Muchos compuestos semiconductores tienen este tipo de enlace mixto. También se encuentran en otros materiales cerámicos.
- Metálico – covalente: los metales como el titanio y el hierro tienen este tipo de enlaces. A ellos se atribuyen los altos puntos de fusión que tienen algunos metales.
- Metálico – iónico: se puede presentar cuando hay una diferencia significativa de electronegatividad en los elementos que forman un compuesto intermetálico.

1.3.2. Clasificación de los Materiales en función del tipo de Enlace:

Los distintos tipos de materiales vistos están directamente relacionados con los tipos de enlaces estudiados, ya que éstos afectarán notablemente a sus características y propiedades. Basta con analizar el siguiente ejemplo para entender esta influencia: pensemos en el diamante y en el polietileno (polímero); ambos presentan enlaces

covalentes C-C similares pero en el polietileno existen además enlaces débiles y en el diamante no, por esta razón el diamante mantiene su estructura rígida por encima de los 3000°C mientras que en el caso del polietileno esa estructura rígida se pierde por encima de los 120°C. Es decir que los polímeros deben su comportamiento debido a la presencia de enlaces covalentes y secundarios al mismo tiempo.

Podemos concluir entonces que cada tipo de material tendrá un tipo de enlace, o combinación de ellos, que le dará características especiales.

<u>Tipo de Material</u>	<u>Carácter del enlace</u>
Metales	Metálico
Cerámicos y Vidrios	Iónico-covalente
Polímeros	Covalente y secundario
Materiales Compuestos	Dependen de los elementos constituyentes

El enlace secundario presente en los polímeros como un eslabón débil en la estructura proporciona resistencias y temperaturas de fusión bajas.

Los materiales semiconductores como el silicio deben su característica principal a la presencia de enlace covalente o covalente –iónico.

En los materiales metálicos la presencia de enlace metálico los hace buenos conductores y relativamente dúctiles (se pueden deformar mucho).

Los enlaces iónico-covalente presentes en los materiales cerámicos los hace duros, frágiles y muy resistentes a altas temperaturas.

1.4. Estructura cristalina y amorfa en los materiales:

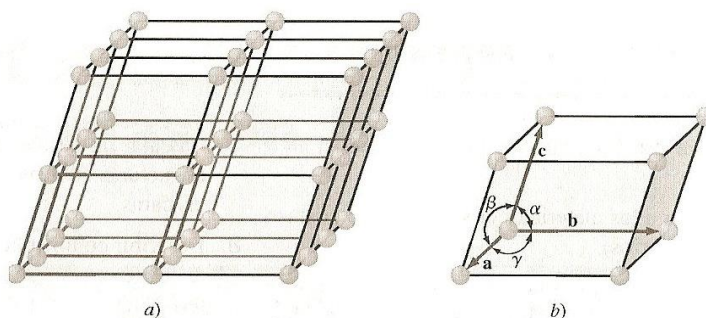
La estructura física de los materiales sólidos depende principalmente del ordenamiento de los átomos, iones o moléculas que constituyen el sólido, y de las fuerzas de enlace entre ellos. Si los átomos o iones de un sólido están ordenados de acuerdo con un patrón que se repite en el espacio, forman un sólido que tiene un orden de largo alcance (OLA) al cuál se lo llama sólido cristalino o material cristalino. Ejemplos de los materiales cristalinos son los metales, las aleaciones y algunos materiales cerámicos. Contrastando con los materiales cristalinos, existen algunos materiales cuyos átomos o iones no están ordenados en forma de largo alcance, periódica y repetible, y poseen únicamente un orden de corto alcance (OCA). Esto significa que el orden existe únicamente en la vecindad inmediata de un átomo o molécula. Los materiales que presentan solamente un orden de corto alcance se denominan amorfos (sin forma) o no cristalinos, por ejemplo el vidrio.

1.4.1. Redes espaciales Celda unitaria. Sistemas cristalinos.

El ordenamiento atómico en los sólidos cristalinos se puede describir representando a los átomos en los puntos de intersección de una red tridimensional. Esta red se llama red espacial y puede describirse como un ordenamiento tridimensional infinito de puntos. Cada punto en la red espacial tiene un entorno idéntico. En un cristal ideal la agrupación de puntos de la red alrededor de uno cualquiera es idéntica a la agrupación entorno a otro punto de la red espacial

Cada red espacial puede describirse especificando la posición de los átomos en una celda unitaria repetitiva.

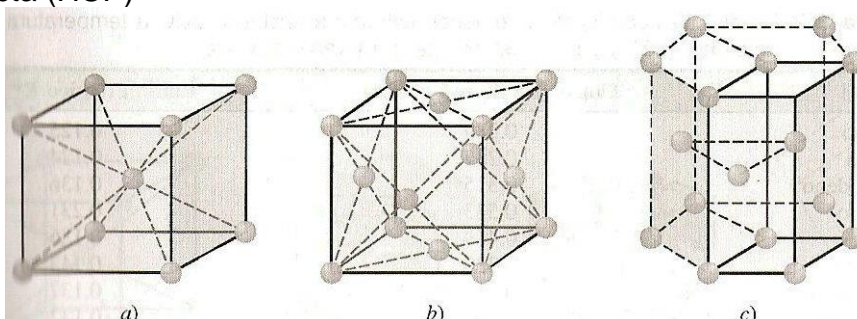
Cada celda unitaria puede definirse mediante las longitudes de sus aristas a, b, c , y mediante los ángulos que dichas aristas forman entre sí α, β, γ . A estos valores se los denomina constantes de red.



- a) Red espacial de un sólido cristalino ideal
- b) Celda unitaria mostrando las constantes de red

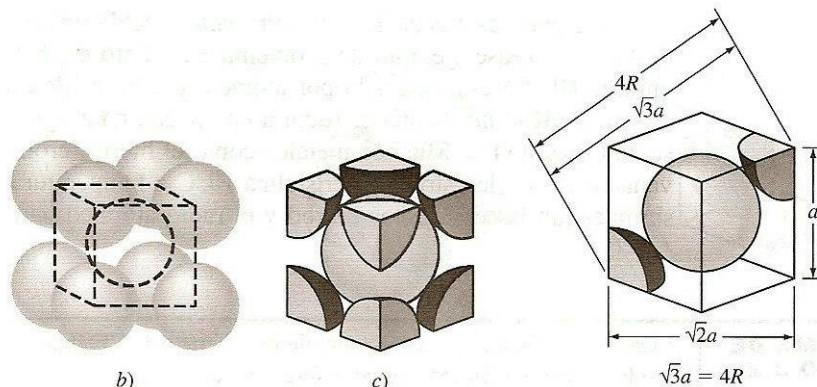
1.4.2. Estructuras cristalinas metálicas:

La mayoría de los metales puros cristalizan al solidificar en tres estructuras cristalinas compactas: cúbica centrada en el cuerpo (BCC, también conocida según otros autores como CC), cúbica centrada en la cara (FCC, también conocida como CCC) y hexagonal compacta (HCP)



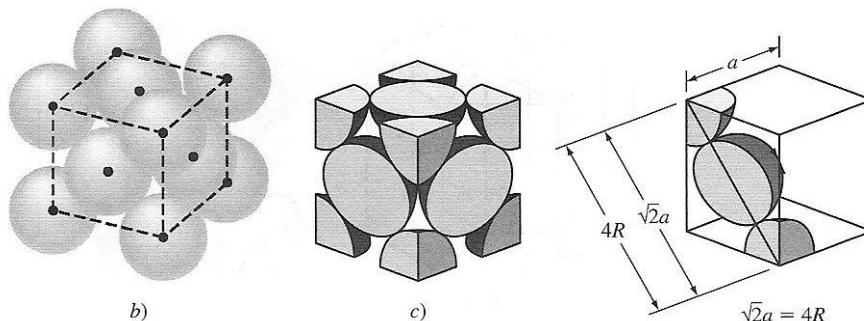
- a) BCC (o CC)
- b) FCC (o CCC)
- c) HCP

Como puede verse en la figura, en la estructura cristalina BCC (recordar la B proviene de Body: cuerpo) el átomo central está rodeado por ocho vecinos más próximos. En cada celda unidad tenemos el equivalente a dos átomos ya que hay un átomo en el centro de la celda y $1/8$ de átomo en cada uno de los ocho vértices. Los átomos de los vértices entran en contacto entre sí a lo largo de la diagonal del cubo de tal manera que se puede establecer una relación entre la constante de red a (o parámetro reticular) y el radio atómico R como se indica en la figura.



- b) Celda unitaria BCC de esferas rígidas
- c) Celda unitaria BCC aislada

En la estructura cristalina FCC (recordar la F proviene de Face: cara) hay un átomo en cada vértice del cubo y uno en el centro de cada cara. En esta estructura tendremos entonces el equivalente a cuatro átomos por celda unitaria ya que hay $1/8$ de átomo en cada uno de los 8 vértices y $1/2$ átomo en cada una de las seis caras. En este caso los átomos se contactan en la diagonal de la cara del cubo pudiéndose también determinar la relación entre la constante de red y el radio atómico.

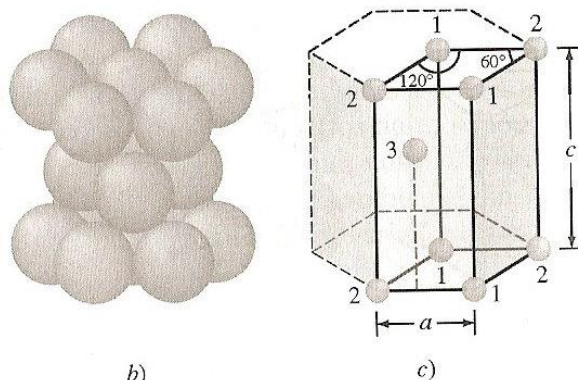


- b) Celda unitaria FCC de esferas rígidas
- c) Celda unitaria FCC aislada



En la estructura cristalina HCP se tiene un átomo en cada vértice de las bases, un átomo en el centro de cada base y un átomo en el centro del plano central del prisma. Esto hace que en la celda unitaria tengamos un equivalente a 2 átomos.

En la figura puede verse que los átomos marcados con 1 contribuyen con $1/6$ de átomo a la celda unitaria, y los que se encuentran en la posición 2 colaboran con $1/12$ de átomo. Por lo tanto tenemos $4 \times 1/6$ más $4 \times 1/12$ lo que da un total de 1 átomo al que hay que sumarle el átomo central.



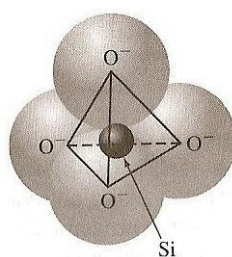
La observación de los distintos tipos de estructuras cristalinas permite deducir que, cuanto más compactos estén los átomos, más denso será el material. De manera tal que si se quisiera determinar la densidad de un determinado material, teniendo en cuenta los vacíos existentes entre átomos, podríamos realizarla haciendo el cociente entre el volumen del total de átomos por celda unitaria y el volumen de la celda unitaria.

1.4.3. Estructuras de los cerámicos y vidrios:

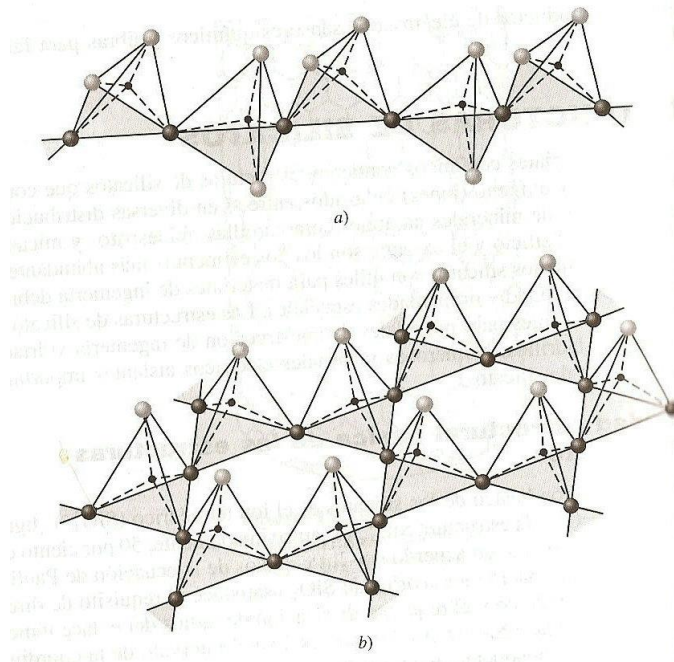
Debido a la gran variedad en la composición química de los materiales cerámicos y vidrios muchos presentarán distintas estructuras cristalinas de largo alcance y otros (como en el caso del vidrio) un ordenamiento de corto alcance o estructura amorfa.

Sería imposible dar un detalle completo de todas las posibles estructuras cristalinas que pueden presentar los materiales cerámicos por lo que sólo se mostrará a modo de ejemplo la estructura de los silicatos ya que están presentes en gran número de materiales cerámicos.

La unidad estructural básica de las estructuras de los silicatos es el tetraedro formado por 4 átomos de Oxígeno y 1 átomo de Silicio, que por ser de tamaño mucho menor se ubica entre los átomos de oxígeno. El enlace Si-O en la estructura es 50% covalente y 50% iónico.

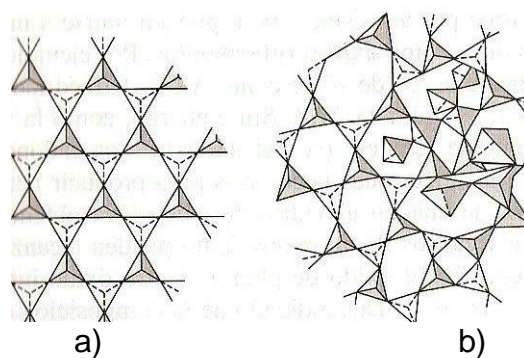


Debido al pequeño ion altamente cargado de sílice, se crean fuerzas de enlace fuertes dentro de los tetraedros y como resultado estos estarán unidos esquina con esquina y rara vez arista con arista; formando de esta manera cadenas o láminas.



- a) Cadena de silicato
- b) Estructura de lámina de silicato

Si bien los vidrios también tienen como unidad fundamental los tetraedros de sílice, éstos no tienen un ordenamiento a largo alcance, por eso se habla de estructura amorfa. En la siguiente figura se muestra la estructura cristalina de un sílice cristalino ideal comparada con la estructura amorfa de un vidrio.



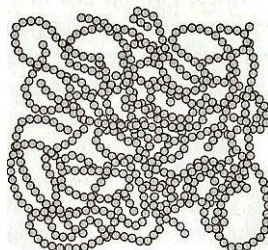
- a) sílice cristalino ideal en la que el tetraedro tiene un orden a largo alcance (est. cristalina)
- b) vidrio de sílice sin ordenamiento a largo alcance (est. amorfa)



1.4.4. Estructuras de los polímeros:

Los materiales poliméricos tienen una estructura tipo cadena. En comparación con el orden y apilamiento de átomos e iones individuales en los metales y cerámicos, la disposición de estas largas cadenas según un patrón regular y repetitivo es difícil. Sólo en algunas zonas de determinados polímeros puede verse que las cadenas mantienen un relativo ordenamiento.

Los “eslabones” de estas cadenas están unidos entre sí mediante enlaces covalentes, mientras que las cadenas entre sí pueden presentar enlaces débiles o un entrecruzamiento fuerte dando origen a distintos tipos de polímeros.



Estructura amorfa de un polímero

1.5. Propiedades mecánicas:

Al momento del diseño las propiedades mecánicas son fundamentales, porque deberemos conocer cómo se comporta el material seleccionado cuando se encuentra sometido a los distintos esfuerzos a lo largo de su vida útil.

En general podemos decir que las propiedades mecánicas de los materiales se caracterizan por dos magnitudes:

- Resistencia: oposición que presenta un material a ser deformado o destruido
- Plasticidad: capacidad de adquirir una deformación remanente sin que se destruya. Una pequeña plasticidad o la carencia total de ella se denomina fragilidad.

Los ensayos mecánicos nos permiten obtener los valores numéricos de las propiedades mecánicas y estas propiedades permiten a los diseñadores y/o constructores establecer en qué condiciones de servicio puede ser usado ese material y cuál puede ser la máxima carga que puede soportar.

Tensiones:

Las tensiones son esfuerzos que se encuentran en el interior de los materiales y pueden clasificarse en temporales o internas según los efectos que las producen:

- Tensiones temporales: aparecen por efecto de una carga externa aplicada y desaparecen cuando ésta deja de actuar. Pueden ser tensiones normales (σ) o tensiones tangenciales (τ).
- Tensiones internas: se originan y equilibran en los límites de la pieza sin la acción de ninguna carga exterior y están relacionadas con la distribución heterogénea de las deformaciones en todo su volumen. Tendremos las **tensiones térmicas** que surgen en un proceso de enfriamiento o calentamiento violento del material, como

resultado de la dilatación (o contracción) heterogénea de las capas externas e internas (por ejemplo en el proceso de fraguado del hormigón, o en el caso de una soldadura). **Tensiones estructurales:** debidas al proceso de cristalización cuando las transformaciones de fase no son homogéneas en todo el volumen.

Mecanismo de la deformación:

Se entiende por deformación el cambio de dimensiones y forma de la materia causado por la acción mecánica de fuerzas externas aplicada al cuerpo o diferentes procesos físico-químico que surgen en el mismo como por ejemplo, la variación de volumen de algunos cristales durante los cambios de fase, o como resultado de gradientes de temperatura.

Habíamos dicho que entre los átomos constituyentes del material se producían fuerzas de atracción y repulsión que daban cohesión al mismo. Si no actuaran fuerzas externas el estado de equilibrio entre dichas fuerzas permanecería por tiempo indefinido sin modificar la forma y dimensiones del cuerpo.

Al actuar las fuerzas externas se rompe el equilibrio interno, variando las fuerzas de atracción y repulsión, es decir se producirán nuevas fuerzas internas que tratarán de restablecer el equilibrio, manteniendo la cohesión del material.

De acuerdo con el tipo y cantidad de material que tengamos las fuerzas internas podrán equilibrar a las externas impidiendo que la deformación continúe y el cuerpo rompa.

Según la magnitud de las fuerzas aplicadas, el tipo de material y las dimensiones de la pieza, será la magnitud y característica de la deformación. Podemos decir entonces que si al suprimir la carga, el cuerpo retoma su forma y dimensiones originales, la deformación es elástica. Cuando ello no ocurre la deformación es plástica.

Aquellos materiales que poseen escasa capacidad de deformación plástica, se los denomina **frágiles**, su rotura se produce en forma brusca (por ejemplo: los aceros de alta resistencia, la fundición, el hormigón, los vidrios y los cerámicos en general); en cambio aquellos que alcanzan la rotura después de experimentar una importante deformación plástica se los denomina **dúctiles** (por ejemplo aceros con bajo contenido de carbono). Esta propiedad de poder ser deformados plásticamente en gran extensión sin sufrir fractura, es una de las propiedades de los materiales más útiles para ingeniería, así por ejemplo, la deformabilidad plástica del acero posibilita que partes de vehículos como aletas parachoques, cubiertas y puertas sean troqueladas mecánicamente sin fracturar el metal. La capacidad de deformarse elásticamente o plásticamente, varía según el material, las condiciones en que se apliquen las cargas y la temperatura a la que esté expuesto.

Esfuerzos Internos:

Dijimos anteriormente que al actuar fuerzas externas sobre un cuerpo, se rompía el equilibrio interno y para reestablecerlo aparecían fuerzas internas (o esfuerzos internos) que mantienen la cohesión del material tratando de impedir la deformación y/o rotura.

Los esfuerzos internos pueden ser:

- Esfuerzo Normal: produce el acortamiento (esfuerzo de compresión) o el alargamiento (esfuerzo de tracción) del eje de la pieza.



- Esfuerzo de Corte o Cizalladura: produce el desplazamiento relativo entre dos secciones transversales infinitamente próximas.
- Esfuerzo de flexión: produce el giro de la sección transversal alrededor de un eje coplanar a la misma, curvando el eje de la pieza.
- Esfuerzo de torsión: produce el giro de la sección transversal en su plano, alrededor de un punto.

Es importante destacar que todos estos esfuerzos no siempre se presentan en forma simultánea, así por ejemplo podremos tener cuerpos solicitados a un único esfuerzo (esfuerzo simple) o a varios esfuerzos (esfuerzo compuesto)

Estos esfuerzos internos son los que generan las tensiones temporales (descriptas antes) y según sea el carácter del esfuerzo será la tensión. Así, todos aquellos esfuerzos que actúen en forma normal a la sección considerada originarán tensiones normales σ (esfuerzo normal y esfuerzo de flexión) y aquellos que actúen tangencialmente a la sección originarán tensiones tangenciales τ (esfuerzo de corte y esfuerzo de torsión).

Relación entre el tipo de deformación y rotura con el tipo de esfuerzo y tensión actuantes:

Deformación elástica: habíamos dicho que era aquella que desaparecía completamente cuando las fuerzas externas dejaban de actuar; no produce cambios notables en la estructura y propiedades del material ya que los desplazamientos atómicos relativos son insignificantes (los átomos que se alejaron o aproximaron unos de otros durante el esfuerzo de tracción o compresión, vuelven a sus posiciones de equilibrio cuando dejan de estar sometidos a estos esfuerzos).

En la mayoría de los materiales, la magnitud de la deformación elástica es muy pequeña y depende linealmente de la carga respondiendo a la ley de Hooke:

$$\sigma = \varepsilon E$$

en donde $\varepsilon = \Delta l / l_0$ es la deformación específica (o deformación longitudinal unitaria)

E: módulo de elasticidad (o módulo de Young), es una propiedad del material que caracteriza su rigidez, es decir su resistencia a las deformaciones elásticas (representa la capacidad que tiene el material a oponerse a ser deformado elásticamente; cuanto mayor es el módulo de elasticidad menos se deforma elásticamente). Depende muy poco de la estructura y se determina por las fuerzas de enlace interatómico.

En construcciones al diseñar elementos estructurales metálicos se necesita que el material esté trabajando dentro del período de elasticidad para que no quede con deformaciones permanentes al dejar de actuar la carga y además se requiere que tengan gran rigidez, es decir módulo de elasticidad elevado, razón por la cual se utiliza el acero ($E = 2100000 \text{ kg/cm}^2$)

Deformación Plástica: se produce por encima de una determinada tensión a partir de la cual se altera la proporcionalidad directa entre la tensión y la deformación (expresada por la Ley de Hooke). Este tipo de deformaciones está relacionado con el deslizamiento de los átomos.

Rotura frágil: La rotura frágil pura prácticamente no se encuentra, siempre se observa cierta deformación plástica, aunque sea pequeña, la fractura tiene carácter cristalino

Rotura dúctil: Va precedida de una deformación plástica considerable; su factura es fibrosa y opaca.

Resistencia a los distintos tipos de esfuerzos:

No es motivo de este curso el estudio de los ensayos a los distintos tipos de esfuerzos a los que se verán expuestos los materiales en servicio, pero el alumno debe saber que la determinación de la resistencia a rotura por: tracción, compresión, flexión, corte y torsión son valores fundamentales al momento del diseño. Sin embargo, hay otros conceptos importantes también al momento del diseño.

Dureza: Se denomina dureza a la resistencia a la deformación plástica de un material durante la penetración (o indentación).

La medición de dureza, debido a la rapidez y sencillez del ensayo y a la posibilidad de juzgar las propiedades de la pieza sin necesidad de su destrucción, tiene amplia aplicación para el control de calidad de los metales ya que existe una relación entre la dureza y la resistencia a la rotura.

Los principales métodos para determinar la dureza se basan en la aplicación de una carga determinada (mediante un penetrador de material y dimensiones normalizados) y la lectura, después que la carga deja de actuar, de la huella resultante. Los métodos más conocidos son Brinell, Vickers, Rockwell.

Tenacidad: es la capacidad de absorber energía de impacto. Se puede evaluar a partir del ensayo de impacto o bien a partir del ensayo de tracción ya que la tenacidad resulta proporcional al área encerrada bajo la curva σ - ϵ . En general un material más dúctil es más tenaz que uno frágil.

Fatiga: Las cargas variables repetidas y sobre todo alternativas (tracción y compresión) provocan roturas en los metales a tensiones inferiores al límite de fluencia, en un proceso denominado **fatiga**.

2.- Características generales de los distintos tipos de materiales:

Como se vio al principio existen varios grupos de materiales, daremos algunas características generales de los mismos para luego enfocarnos en los más usados en la construcción.

2.1. Materiales electrónicos:

No son importantes por su volumen de producción, pero sí lo son por su avanzada tecnología. El más importante es el silicio puro, al que se modifica de distintos modos para cambiar sus características eléctricas. Muchos circuitos electrónicos complejos pueden miniaturizarse en un chip de silicio de aproximadamente $1,9\text{cm}^2$. Los dispositivos microelectrónicos han hecho posibles nuevos productos, como los satélites de comunicaciones, las computadoras, calculadoras, relojes digitales y robots. Seguramente estos materiales electrónicos serán muy importantes en las fábricas del futuro donde gran parte de los procesos se realizarán con robots asistidos por herramientas controladas por computadora.



2.2. Materiales inteligentes:

Tienen la capacidad de detectar estímulos ambientales externos (temperatura, esfuerzo, luz, humedad, campos eléctricos y magnéticos) y como respuesta a éstos modifican sus propiedades, su estructura o sus funciones. Los materiales inteligentes o los sistemas que los emplean están formados por detectores y accionadores. El componente detector descubre un cambio en el ambiente y el accionador realiza una función o emite una respuesta específica. Por ejemplo algunos materiales inteligentes cambian de color o lo producen al exponerse a cambios de temperatura, intensidad de la luz o una corriente eléctrica. Algunos de los materiales inteligentes más importantes desde una perspectiva tecnológica, que pueden hacer las veces de accionadores son las aleaciones con memoria de forma. Una vez deformadas estas aleaciones regresan a su forma original después de un aumento de temperatura superior a una temperatura determinada. El regreso se debe a un cambio en su estructura que se produce por encima de esa temperatura crítica. Una aplicación de estas aleaciones se da en biomedicina para sostener paredes arteriales debilitadas o para expandir arterias obstruidas. La prótesis deformada se coloca con una sonda dentro de la arteria en la posición adecuada y luego se expande a su forma y tamaño original después de que alcanza la temperatura corporal. Son ejemplos de estas aleaciones las de níquel y titanio, y las de cobre-zinc-aluminio.

También se usan los dispositivos inteligentes en los sistemas de escala micrométrica que tienen la finalidad de detectar, comunicar y accionar. Una de las aplicaciones de estos sistemas son las bolsas de aire para automóviles, usadas con la finalidad de detectar tanto la desaceleración como el tamaño de la persona que está en el auto para abrir la bolsa cuando se alcanza la velocidad apropiada.

2.3. Nanomateriales:

Son aquellos que tienen una escala de longitudes característica menor a 100nm ($1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$), es decir que el diámetro de las partículas, el tamaño de los granos, o el espesor de las capas por ejemplo es menor que 100nm. Los nanomateriales pueden ser metálicos, poliméricos, cerámicos, electrónicos o compuestos. Así los agregados de polvo cerámico de tamaño menor a 100nm, los metales a granel con tamaños de grano menores de 100nm, las películas poliméricas delgadas de menos de 100nm de espesor, y los alambres electrónicos de diámetro menor de 100nm, están dentro de este grupo. Las primeras aplicaciones de ellos fueron en forma de catalizadores químicos y pigmentos. Todavía no se los puede producir de manera eficiente y barata. Una muy buena aplicación es en biomedicina para implantes ortopédicos y dentales ya que presentan mejores características de biocompatibilidad, mayor resistencia y mejores características respecto al desgaste de los metales. Algunos pueden elaborarse en forma porosa, y al emplearse como material de implantes permite que el hueso crezca en sus poros, lo cual redundaría en una fijación más estable. Las aleaciones metálicas que se usan hoy no permiten una interacción de este tipo y suelen aflojarse con el paso del tiempo con lo cual es necesaria una nueva cirugía. También se usan para producir pinturas o materiales de revestimiento que son más resistentes a la abrasión y al daño del medio ambiente.

2.4. Materiales metálicos:

Son sustancias inorgánicas compuestas por uno o más elementos metálicos y pueden contener algunos elementos no metálicos. Son ejemplos de elementos metálicos el hierro, el cobre, el aluminio, el níquel y el titanio y de elementos no metálicos el carbono, nitrógeno y el oxígeno.

Los metales son buenos conductores térmicos y eléctricos, son relativamente dúctiles a temperatura ambiente y presentan alta resistencia incluso a altas temperaturas.

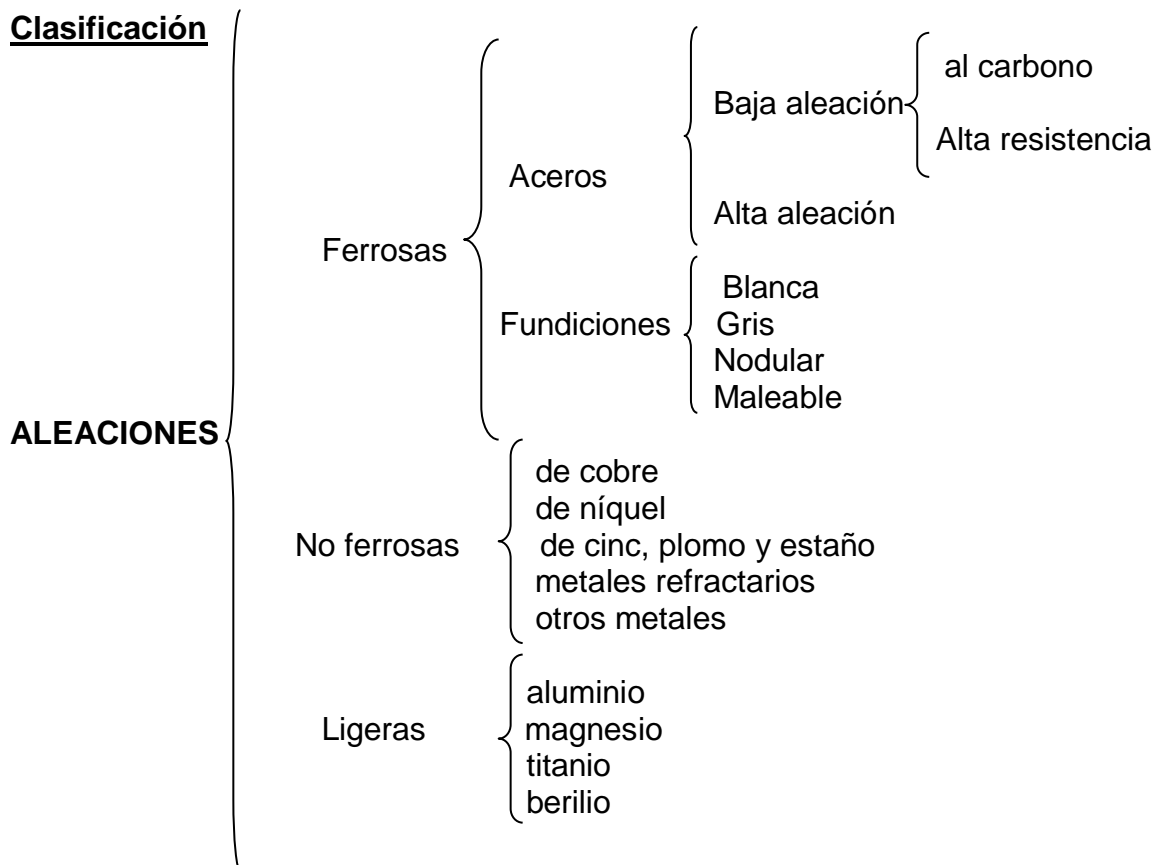
Si se mezclan dos o más metales tenemos lo que se denomina una aleación.

Los metales y aleaciones suelen dividirse en dos clases:

- aleaciones y metales ferrosos: contienen un elevado porcentaje de hierro, como el acero y las fundiciones
- aleaciones y metales no ferrosos: carecen de hierro o contienen sólo muy pequeñas cantidades por ejemplo el aluminio, el cobre, el zinc, el titanio y el níquel.

Ya sea en aleación o puros se emplean en muchas industrias como la metalmecánica, la aeronáutica, la construcción, la biomedicina, la electrónica entre otras. Por ejemplo aleaciones de titanio, acero inoxidable y las basadas en cobalto, se emplean en aplicaciones como implantes ortopédicos, válvulas cardíacas, dispositivos de fijación y tornillos, ya que además de su gran resistencia presentan biocompatibilidad siendo esto de fundamental importancia ya que el ambiente dentro del cuerpo humano es en extremo corrosivo.

Clasificación





Los aceros generalmente tienen un contenido en carbono comprendido entre el 0,05% y el 2% en peso. Tienen un contenido especificado de otros componentes como por ejemplo Níquel, Cromo, Molibdeno, Vanadio, Tungsteno y Manganeseo. Un acero puede requerir uno o más de estos elementos aleantes para tener características o propiedades especiales. No obstante en la mayoría de los casos el carbono es el principal componente, ya que tiene un rol decisivo en las propiedades y en la selección del tratamiento térmico más apropiado para modificarlas. Debido a esto es que las normas SAE denominan los aceros teniendo en cuenta el contenido de carbono indicando: acero SAE 10XX en donde XX representa el porcentaje de carbono que se especifica dentro de un rango, por ejemplo el acero SAE 1045 tiene entre 0,43 y 0,48% de carbono.

Existen otras clasificaciones de los aceros según las diferentes normas y usos, así por ejemplo el acero utilizado en la construcción metálica, según el CIRSOC se denominará F-24, F-26, F-32, siendo en número que acompaña a la F el valor de la tensión de fluencia del acero correspondiente. Mientras que el acero usado para Hormigón armado se denominará, según el CIRSOC, acero tipo I, II, III, IV.

Las fundiciones, en cambio son más usadas en mecánica y son aleaciones de Fe-C-Si en las que el contenido de C es superior al 2%. Resultan excelentes para el moldeo por sus temperaturas de fusión relativamente bajas, porque no forman capas superficiales indeseadas durante la colada, y por experimentar una contracción moderada durante la solidificación y el enfriamiento. Esto permite obtener piezas con formas complejas, aunque las propiedades mecánicas serán inferiores a las aleaciones de forja. La resistencia es variable según el tipo de fundición.

Las aleaciones no ferrosas no tienen como base el hierro, son muy usadas en distintas aplicaciones en la construcción.

- Cobre y sus aleaciones: tiene una temperatura de fusión elevada y una excelente conductividad eléctrica por lo cual las aleaciones de cobre resultan un material idóneo para la fabricación de cables eléctricos, además su excelente conductividad térmica permite su uso en radiadores. Es fácilmente conformable en frío. Posee una resistencia de aproximadamente 350MPa y un alargamiento porcentual del 40%. Es un material criogénico ya que a temperaturas muy bajas (-196°) aumenta su resistencia mecánica un 50%. Es excesivamente blando y fácilmente soldable. Muestra excelente resistencia a la corrosión en agua de mar y otros ambientes corrosivos, aunque es atacado por los halógenos en húmedo. Siempre está recubierto por una capa protectora de óxido, que crece con la temperatura y puede llegar a descamarse. Al oxidarse, se cubre de una pátina verdosa y esto hace que se emplee en ocasiones por motivos decorativos en arquitectura. La adición de aleantes busca mejorar las propiedades mecánicas y la resistencia al desgaste aunque perjudica la conductividad.
 - latones: aleaciones de cobre y zinc, se usan en tuberías, instrumentos musicales, monedas o en arquitectura. La conductividad térmica y eléctrica disminuye al aumentar el contenido de zinc, pero aumenta la resistencia y empeora el comportamiento a la corrosión.
 - Bronces: aleaciones de cobre y estaño. Se usaba mucho en algunos elementos de instalaciones sanitarias por ejemplos canillas. La resistencia

a la tracción del cobre mejora hasta un 20% con el estaño. Son más resistentes a la corrosión que los latones, y son criogénicos, de modo que su comportamiento mejora al disminuir la temperatura. Los bronce al plomo mejoran su maquinabilidad y éste elemento también puede actuar como lubricante.

- Cuproaluminios: son aleaciones de cobre y aluminio que combinan buenas propiedades mecánicas con una buena resistencia a la corrosión. Cuproberilio: la adición de berilio entre un 0,4 y un 2% permiten obtener las aleaciones más resistentes de cobre, con resistencias a tracción de hasta 1400MPa, comparables a los aceros de alta resistencia. Se comportan muy bien a corrosión y tienen un bajo módulo elástico. Se emplean en resortes o muelles de precisión o para electrodos de soldadura. Su principal inconveniente es el costo.
- Níquel y sus aleaciones: fácilmente deformable, posee un excelente comportamiento a corrosión y oxidación a alta temperatura. Tiene buena resistencia mecánica a altas temperaturas y alta conductividad eléctrica, y se emplea en equipos eléctricos y electrónicos. Las aleaciones comerciales con una relación Ni-Cu de 2:1 en peso se conocen como Monel, con una resistencia relativamente alta, buena soldabilidad y excelente resistencia a corrosión. Cuando las condiciones de servicios son las más críticas, es decir cargas elevadas, alta temperatura y un ambiente agresivo resulta necesario un material que cumpla con determinados requisitos, surgen entonces las denominadas superaleaciones que son muy caras pero presentan propiedades excelentes. Las superaleaciones a base de níquel presentan una de las mejores relaciones propiedades /estructura dentro del rango de temperaturas entre 650° y 1100°C. Poseen buena resistencia a tracción a elevada temperatura, resistencia a rotura por fluencia hasta 5000hs., resistencia a la oxidación en caliente y resistencia a fatiga térmica a altos y bajos ciclos, con el fin de asegurar entre 20000 y 50000hs. de vida. Las aleaciones Inconel (níquel-cromo-hierro) que incorporan titanio, son ejemplos de las superaleaciones a base de níquel. Se emplean en cámaras de combustión, álabes de turbinas y han sido fundamentales en el desarrollo de la industria aeroespacial.
- Aleaciones de cinc, plomo y estaño: son metales pesados con un bajo punto de fusión. Su dureza y resistencia mecánica son bastante bajas.
 - el cinc, es blanco azulado, con estructura cristalina. Es muy sensible a la corrosión electroquímica, y es atacado por la humedad. Se emplea en procesos de galvanizado de aceros, para obtener latones y en pinturas. Las aleaciones de cinc con aluminio y cobre son fácilmente moldeables por su baja temperatura de fusión. Se usa para realizar piezas de automóviles aunque actualmente es desplazado por el uso de materiales más livianos
 - el plomo es muy deformable con cargas bajas. Es muy resistente al agua (por eso se lo usaba en cañerías desde la antigüedad). Es el metal que mejor resiste al ácido sulfúrico. Las aleaciones de plomo se usan en baterías, en soldaduras, en elementos de protección contra la radiactividad o en estructuras de control sonoro. Su toxicidad restringe sus aplicaciones y la de sus aleaciones.



- El estaño funde a 231°C es muy resistente a la corrosión ambiental y a los ácidos orgánicos por lo que en contacto con los alimentos no resulta tóxico. Es muy deformable en frío pudiéndose obtener láminas muy delgadas. Se usa en recubrimientos en el sector alimentación. Al alearse con el cobre, plomo y antimonio se mejoran sus propiedades mecánicas y se emplean de esa forma como materiales antifricción.
- Metales refractarios: en aplicaciones que requieran superar los 1000°C se recurre a materiales con alto punto de fusión que mantengan sus propiedades a elevadas temperaturas.

Las aleaciones Ligeras se usan para reducir el peso de diferentes componentes y estructuras. Tienen densidades que van desde $1,7\text{g/cm}^3$ del magnesio a los $4,5\text{g/cm}^3$ del titanio. Esta reducción de peso se traduce en elevadas relaciones resistencia/peso y alta rigidez específica.

- Aluminio y sus aleaciones: tiene baja densidad que elevan los elementos aleantes, su coeficiente de dilatación es muy alto y se puede disminuir con los aleantes. Tiene elevada conductividad térmica y eléctrica y también son elevadas la absorbancia y la reflectancia por lo que se usa en el control térmico de sistemas espaciales. Su módulo de elasticidad es bastante bajo y se aumenta su rigidez con el Li. Por su estructura cristalina tiene una excelente capacidad de deformación, pero puro presenta muy baja dureza y resistencia, por lo cual no es un material estructural, por el contrario, se usa para aplicaciones estéticas y tiene la ventaja adicional de presentar un excelente comportamiento a la corrosión (reacciona espontáneamente con el oxígeno atmosférico, formando una capa superficial de óxido que recubre la pieza y que protege al material frente a muchos ambientes) por eso se usa en arquitectura y la industria química además del uso doméstico del papel de aluminio. En sus diferentes aleaciones tiene gran cantidad de aplicaciones desde la carpintería de aluminio (puertas y ventanas, aleado con Mg y Si), aplicaciones aeroespaciales (aleado con Li) o en cojinetes (aleado con Si)
- Magnesio y sus aleaciones: es el metal estructural más ligero. Posee bajas temperaturas de fusión y ebullición, así como un gran coeficiente de dilatación. Tiene buena conductividad térmica y eléctrica que es deteriorada por los elementos de aleación. Tiene estructura HPC que lo hace muy frágil. Su módulo de elasticidad es el más bajo de todos los metales. Es muy reactivo. Sus aleaciones fueron muy usadas hasta los años 60 en la industria aeroespacial, pero en la actualidad su uso quedó reducido a motores y helicópteros aumentando su uso en automoción por el ahorro de peso y menor consumo.
- Titanio y sus aleaciones: su principal problema es que su extracción es costosa. Posee baja densidad, alta temperatura de fusión, bajo calor específico y conductividad térmica (la menor de todos los metales), bajo coeficiente de dilatación. Es ligeramente paramagnético. Los ciclos térmicos pueden provocar cambios dimensionales importantes. Posee una alta reactividad superficial, lo que provoca que se contamine por contacto con otros materiales. También es alta la reactividad con el oxígeno; esta afinidad origina la rápida formación de una capa superficial de óxido muy impermeable y por lo tanto protectora, frente a la oxidación como a la corrosión, comportamiento incluso superior al del aluminio y

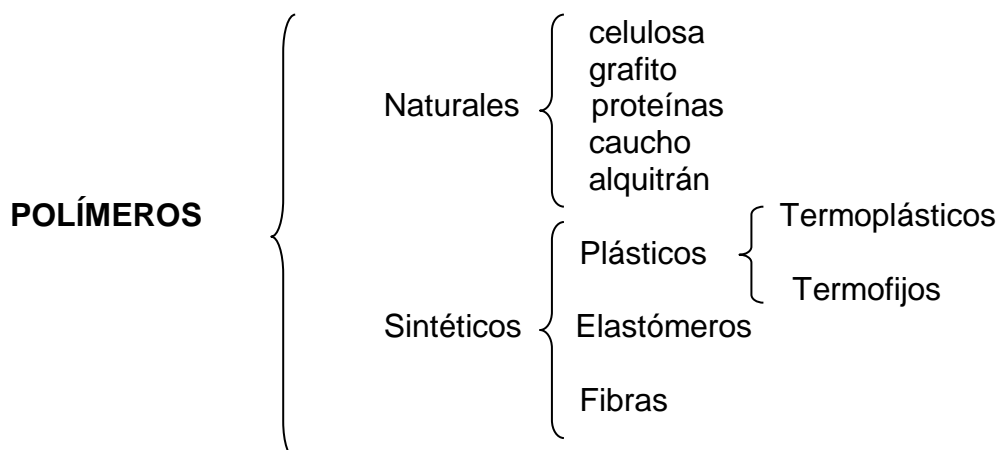
acero inoxidable. Todavía hoy el 80% del uso del titanio es aeroespacial (motores, rotores de helicópteros, recipientes criogénicos de altas presiones de los cohetes, remaches), a pesar que su empleo se ha extendido a otros campos como la industria química y alimentaria, la explotación energética, los implantes médicos (por su biocompatibilidad), vehículos de transporte, en exteriores de edificios, estructuras metálicas en ambientes marinos y artículos como herramientas, gafas, llaveros y relojes.

- **Berilio:** es uno de los metales estructurales más ligeros conocidos. Su poco peso, unido a su resistencia y rigidez, lo convierten en un material ideal en aplicaciones en las que se requieran altas resistencia y rigidez específicas, como sucede en la industria aeroespacial, por lo que se emplea en piezas estructurales en transbordadores espaciales, motores, o en sistemas inerciales de guiado. Posee la capacidad calorífica más alta de todos los metales, lo que mantiene hasta la temperatura de fusión (1278°C). También posee una elevada conductividad térmica, que permite que se igualen rápidamente las temperaturas, reduciendo la distorsión que provocarían los gradientes térmicos. El coeficiente de dilatación es del orden del acero inoxidable o las aleaciones de níquel. Es importante en la industria nuclear por su alta sección de dispersión de neutrones y su baja sección de captura de electrones.

2.5. Materiales Poliméricos:

Constan de largas cadenas que frecuentemente se basan en compuestos orgánicos. La resistencia y ductilidad de ellos varía considerablemente. Debido a su estructura interna son malos conductores de electricidad, algunos son buenos aislantes y se emplean como aislantes eléctricos, térmicos, hidráulicos y acústicos. En general tienen baja densidad. Dado su menor costo y buenas propiedades tienen numerosas aplicaciones en todo tipo de industrias reemplazando en muchos casos a los metales, al vidrio y al papel.

Clasificación:





Termoplásticos:

A los termoplásticos es necesario calentarlos para darles su forma y después enfriarlos, de este modo adquieren y conservan la forma que se les dio. Estos materiales pueden volverse a calentar cierto número de veces para darles nuevas formas sin que haya un cambio significativo en sus propiedades, razón por la cual decimos que son materiales reciclables. La mayoría de los termoplásticos están constituidos por cadenas principales muy largas de átomos de carbono, enlazados entre sí en forma covalente. Algunas veces, se enlazan también átomos de nitrógeno, oxígeno o azufre en forma covalente con la cadena molecular principal. Los átomos o grupos de átomos adheridos están enlazados de forma covalente a los átomos de la cadena principal.

Las largas cadenas moleculares están ligadas entre sí por enlaces secundarios por lo que al entregar energía en forma de calor llegará un momento que la agitación térmica vencerá las uniones débiles, disminuyendo marcadamente la viscosidad del polímero, de manera tal que llega a comportarse como líquido; esto se debe a que en estas condiciones las moléculas pueden moverse unas sobre otras. Enfriado, se limitará el movimiento molecular pasando nuevamente al estado sólido.



Son ejemplos de termoplásticos:

- Polietileno: es por amplio margen el material plástico más ampliamente usado debido a su bajo costo y porque tiene múltiples propiedades de importancia industrial, entre las que se incluyen su dureza a temperatura ambiente y a bajas temperaturas, con suficiente resistencia para aplicaciones en muchos productos, su buena flexibilidad incluso a temperaturas menores a -73° , sus excelente resistencia a la corrosión, sus propiedades aislantes y su baja transmisión agua-vapor. Es un material translúcido entre transparente y blanquecino que a menudo se fabrica en películas delgadas. Es degradado por la acción UV y el oxígeno. La exposición a la intemperie provoca su rotura al perder las propiedades mecánicas. Su principal uso en la construcción es en forma de láminas de alta densidad para la fabricación de estanques y recubrimiento de pozos, como aislantes de humedad en cimientos y cubiertas.
- Policloruro de vinilo: (PVC) sin aditivos puede encontrar aplicaciones pero es difícil de procesar y además tiene una resistencia de impacto baja. Con sus propiedades optimizadas a través de aditivos (plastificantes, lubricantes, productos de relleno y pigmentos) puede usarse en construcción para caños de agua y desagües, canos corrugados de electricidad, revestimientos de paredes de interiores y obviamente en muchos de los elementos utilizados en los procesos constructivos como también en la indumentaria de los operarios. Se utiliza también en la fabricación de perfiles para ventanas y cortinas americanas.
- Poliestireno: se caracteriza por su rigidez, su claridad reluciente y su facilidad para ser procesado, pero tiende a ser frágil. Tiene una pobre resistencia a la

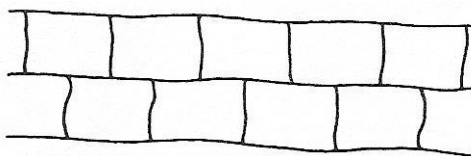
intemperie y son atacados químicamente por disolventes orgánicos y aceites. Los poliestirenos tienen buenas propiedades de aislamiento eléctrico y propiedades mecánicas adecuadas. En construcción tiene muchas aplicaciones el poliestireno expandido como aislante, ladrillones, o en pequeñas esferas para alivianar el hormigón.

- Polipropileno: En la construcción se usa para caños de agua fría y caliente, baldes de pintura.
- Polycarbonato: son de alta resistencia, buena estabilidad dimensional, ductilidad y tenacidad. Poseen excelente aislamiento eléctrico, transparencia y baja absorción de agua, sin embargo lo atacan los agentes orgánicos y su resistencia química no es muy buena, pero con un correcto mantenimiento (limpieza periódica con químicos no abrasivos y neutros) se puede extender bastante su vida útil. Es usado para realizar cubiertas translúcidas y en ventanas ya que es una opción más barata y liviana que el vidrio. Otras aplicaciones son los colectores solares.
- ABS: son conocidos por sus propiedades optimizadas para la ingeniería, como buen impacto y solidez mecánica combinados con su fácil procesamiento. La mayor utilidad se encuentra en las tuberías y herramientas, recubrimientos de puertas en interiores de frigoríficos.
- Acrílicos: son excepcionalmente transparentes, muy parecidos en esta característica al vidrio, con la salvedad que no son un material duro, rígido y cualquier elemento abrasivo puede rayarlos, arruinando su principal ventaja: la excelente transmisión de la luz. También poseen una gran resistencia a la intemperie, baja absorción de agua, buena resistencia al impacto. Tiene resistencia baja al desgaste por fricción y temperatura baja de ablandamiento. Se usa para acristalar cabinas de seguridad y cerramientos donde se necesite seguridad frente al impacto, es muy usado para realizar acuarios en reemplazo del vidrio.

Termofijos:

En este caso las cadenas moleculares están fuertemente unidas entre sí mediante puentes de otras moléculas o polímeros, que carecen de libertad de movimiento aún en caliente, lo que le otorga mayor resistencia a altas temperaturas: este material no se ablandará al aplicarle calor, manteniendo su forma hasta que la intensidad del calentamiento sea tal que comience a quemarse. Debido a que se producen procesos químicos irreversibles que destruyen al polímero, al menos desde el punto de vista de sus propiedades útiles, éste se degrada. Por lo tanto estos materiales no pueden reprocesarse térmicamente (no son reciclables).

Si bien la palabra termofijo indica que se requiere calor para endurecer permanentemente, hay muchos plásticos que son llamados termofijos que sólo se pueden fijar o curar a temperatura ambiente mediante una reacción química. La mayoría de los plásticos termofijos están compuestos por una red de átomos de carbono enlazados en forma covalente para formar un sólido rígido. Algunas veces, también se enlazan en forma covalente átomos de nitrógeno, oxígeno, azufre u otros para formar una estructura reticular.



En general las ventajas de los plásticos termofijos para aplicaciones en diseño de ingeniería son algunas de las siguientes:

- alta estabilidad térmica
- alta rigidez
- alta estabilidad dimensional
- resistencia a la fluencia y a la deformación bajo carga
- peso ligero
- propiedades aislantes eléctricas y térmicas altas.

Son ejemplos de Termofijos:

- Fenólicos: como ya se dijo fueron los primeros plásticos sintéticos (baquelita) y todavía hoy se usan debido a su bajo costo y a que tienen buenas propiedades eléctricas, son aislantes térmicos, tienen buenas propiedades mecánicas, se moldean con facilidad pero son de color negro o marrón. Se usan en dispositivos de cableado, conmutadores eléctricos, conectores y sistemas de relés telefónicos. Son buenos adhesivos a altas temperaturas y resistentes a la humedad por lo cual se usan para laminar ciertos tipos de contrachapados y tableros de partículas siendo estos tableros muy usados en la construcción como encofrados o para realizar entrepisos.
- Resinas epóxicas: no generan productos de reacción al curarse, por lo tanto tienen baja contracción. Tienen buena adhesión a otros materiales, buena resistencia química y al medio ambiente, buenas propiedades mecánicas y buenas propiedades como aislantes eléctricos. Se usan en una gran variedad de recubrimientos protectores y decorativos por su buena adhesión y resistencia mecánica.
- Poliésteres insaturados: reforzados con vidrio se usan en la construcción para paneles y componentes de baños, tuberías, tanques y ductos donde se requiere buena resistencia a la corrosión.
- Amino-resinas: se usan para hacer placas y receptáculos eléctricos de pared, perillas, manijas, vajillas, botones, botones de control, y por sus propiedades adhesivas se usan en tableros de partículas de madera, contrachapado, pisos.

Elastómeros:

Son materiales poliméricos cuyas dimensiones pueden cambiar en gran medida cuando se someten a esfuerzos y cuando retornan a sus dimensiones originales (o casi, recordemos que los materiales ideales no existen), al cesar la fuerza deformante.

El caucho natural se produce a partir del látex del árbol *Hevea brasiliensis*, que se cultiva principalmente en el sudeste asiático. La fuente del caucho natural es un líquido lechoso conocido como látex, el cual es una suspensión que contiene partículas muy pequeñas de caucho. El látex en bruto se diluye hasta alcanzar 15% de contenido de caucho y luego se coagula con ácido fórmico (un ácido orgánico). El material coagulado se comprime a través de rodillos para eliminar el agua y producir un material en forma de lámina. Las láminas se secan y luego con rodillos por acción mecánica se rompen algunas de las largas cadenas del polímero y se reduce su peso molecular promedio. Existen muchos cauchos sintéticos como el estireno – butadieno, cauchos de nitrilo y siliconas por nombrar algunos.



Son ejemplos de elastómeros más usados en la construcción:

- Neopreno: la presencia del átomo de cloro aumenta la resistencia de los dobles enlaces al ser atacados por el oxígeno, ozono, calor, luz y diversas condiciones ambientales. También tienen buena resistencia a los combustibles y al aceite y mayor resistencia en general. Sin embargo tienen menor flexibilidad a bajas temperaturas y su costo es elevado. Se usan en aplicaciones especiales como recubrimientos de alambres y cable. En construcciones antisísmicas se utilizan en las bases para acompañar el movimiento e impedir el colapso de la construcción. Se usa también en aquellos apoyos de elementos estructurales para materializar un vínculo simple con posibilidad de movimiento en una dirección.
- Cauchos de silicona: tienen la importante ventaja de que pueden usarse en un amplio rango de temperaturas (es decir de -100° a 250°C). Algunas de sus aplicaciones son: selladores, juntas, aislamiento eléctrico, y fundamentalmente como adhesivos
- Espumas: Las espumas son materiales que contienen burbujas de gas. Se pueden fabricar en varios tipos, que van desde rígidas a las de textura muy blanda. Las espumas flexibles tienen un gran uso en toda clase de acolchonamientos, mientras que las rígidas son muy conocidas como aislantes térmicos.

En general las espumas rígidas consisten de celdas cerradas y las de las flexibles son abiertas. Las celdas tienen que ser abiertas para que exista la suficiente flexibilidad al expulsar el aire por compresión. Existen en la actualidad muchos sistemas de espumas y su número crece día a día. Las de mayor uso son las realizadas con poliuretanos y con poliestireno.

Las espumas de baja densidad tienen conductividades térmicas un poco más altas que la del gas de las celdas. Las moléculas de los gases más pesados producen las conductividades térmicas más bajas. Estos gases son los que se



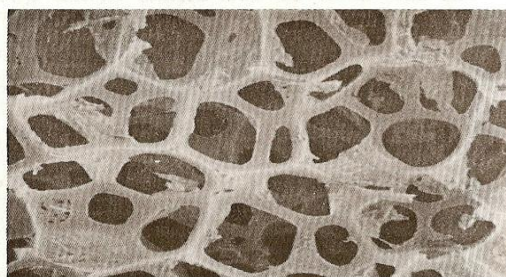
usan en las espumas para aislamientos. El gas de las espumas no siempre es permanente. En algunos casos, el agente espumante puede escapar, permitiendo la entrada de otros gases por ejemplo aire o vapor de agua.

Las espumas de poliuretanos son las más versátiles. Se pueden producir estructuras rígidas o flexibles y blandas. Pueden moldearse o aplicarse como recubrimiento y se adhieren a la mayoría de las superficies.

La inflamabilidad es uno de los principales problemas de las espumas plásticas. Debido a la gran área superficial de la estructura celular, la combustión puede propagarse con gran rapidez. Puede reducirse mediante la adición de retardantes de flama que contienen fósforo, bromo o cloro. Los compuestos de fósforo deben usarse con cuidado porque combinados con determinados elementos al generarse la combustión produce compuestos de alta toxicidad.



Celda rígida cerrada (100×)



Celda flexible abierta (30×)

2.6.Materiales Cerámicos:

Son materiales inorgánicos formados por elementos metálicos y no metálicos. La mayoría de ellos tienen una gran dureza y resistencia a las altas temperaturas pero tienden a ser frágiles (con poca deformación antes de la rotura). Presentan buena resistencia al calor y al desgaste, poca fricción y propiedades aislantes lo que los hace útiles para revestimientos de hornos incluso para aquellos usados en la fabricación de aceros y vidrios. Debido a la gran resistencia a la corrosión (incluso a altas temperaturas) y al choque térmico, que presentan algunos de ellos, son muy usados en la industria aeroespacial. Dada su gran variedad (de acuerdo a su composición química), tienen numerosas aplicaciones, desde la construcción, aeronáutica, metalúrgica, biomedicina hasta la odontología por ejemplo.

Clasificación

Los materiales cerámicos utilizados para aplicaciones en ingeniería pueden clasificarse en dos grupos:

- **Cerámicos tradicionales:** constituidos por tres componentes básicos: arcilla, sílice y feldespato. Las arcillas en los cerámicos se pueden trabajar antes de que el material se endurezca por el fuego y constituyen el cuerpo principal del material. La sílice o cuarzo funde a altas temperaturas y es el componente refractario de los materiales cerámicos tradicionales. El feldespato potásico, funde a bajas temperaturas y se transforma en vidrio cuando la mezcla cerámica se somete a alta temperatura, y une los componentes refractarios. Se usan para hacer ladrillos para la construcción, tejas, cerámicos para pisos y revestimientos de paredes, porcelanatos, usándose en estos casos arcilla natural que contiene los tres componentes básicos en forma aleatoria; mientras que los productos de cerámica fina como la porcelana eléctrica, porcelana china, y artículos de sanidad están formados a partir de arcilla, sílice y feldespato pero con composición controlada.
- **Cerámicos de ingeniería:** en contraste con los cerámicos tradicionales las cerámicas técnicas o de ingeniería están constituidas principalmente de compuestos puros o casi puros, principalmente óxidos, carburos o nitruros. En general son tenaces y tienen alta resistencia mecánica, se han desarrollado para satisfacer los requerimientos de los vehículos, y con fines militares (blindajes). Por ser muy duros se usan como elementos de corte (discos de las amoladoras para cortar metales, porcelanatos, losas de hormigón) y además para elaborar refractarios, aplicaciones eléctricas de alta calidad donde se precisan bajas pérdidas dieléctricas y alta resistividad, y vidrios especiales.

Vidrios:

Un tratamiento especial daremos a los vidrios ya que tienen propiedades especiales no encontradas en otros materiales de ingeniería. La combinación de transparencia y dureza a temperatura ambiente 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, vidriado de vehículos, en la industria eléctrica y electrónica, y en laboratorios o industria química.

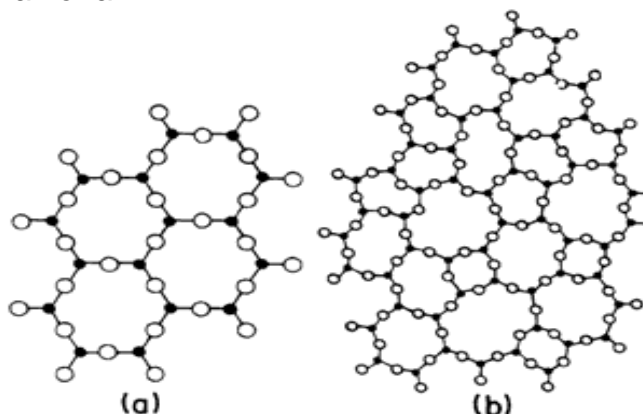
El vidrio es un material cerámico obtenido a partir de materiales inorgánicos a altas temperaturas. Se distingue de otros cerámicos en que sus constituyentes son calentados hasta la fusión y después enfriados hasta un estado rígido sin cristalización.

Estructura de los vidrios:

El vidrio en sus orígenes era fabricado sólo con arcillas, hoy en día se agregan otros elementos que permiten obtener las distintas variedades de vidrios, según las necesidades. Recordando lo dicho anteriormente, las arcillas son silicoaluminatos complejos. Un silicoaluminato es un compuesto hecho con silicio y aluminio, que se

forma cuando la sílice modifica su superficie por la interacción con iones aluminato, intercambiando iones $\text{Si}(\text{OH})_4$ por iones $\text{Al}(\text{OH})_4$. Se pueden intercambiar unos por otros porque son muy parecidos entre sí. Además, el silicio y el aluminio son de un tamaño similar.

En un vidrio, los enlaces Si-O-Si no tienen una orientación determinada; la distancia de separación entre los átomos de Si y O no es homogénea, las unidades tetraédricas no se repiten con regularidad y el compuesto está desordenado. A esta última se le conoce como sílice amorfa.



Representación gráfica de las diferencias estructurales entre un cristal (a) y un vidrio (b)

También existen dentro de la materia prima de los vidrios, sílices cristalinas como el cuarzo.

La adición de otros óxidos como Na_2O y CaO modifica la red de la sílice para producir un vidrio más manejable (se denominan modificadores de vidrios). Algunos otros óxidos no pueden formar vidrios por sí mismos, pero pueden incorporarse a una red existente. Los óxidos intermedios son adicionados al vidrio de sílice para obtener propiedades especiales, por ejemplo, los vidrios de aluminosilicato pueden resistir mayores temperaturas.

Así de acuerdo con lo que agreguemos a la estructura original tendremos por ejemplo:

- Vidrios sodo-cálcicos: son usados para vidrios planos, objetos prensados y soplados, y productos ligeros para los que no se precise una alta durabilidad química y una alta resistencia al calor.
- Vidrios de borosilicato: se usan para equipos de laboratorio, tuberías, hornos y faros de lámparas reflectoras, ya que son vidrios de baja expansión.
- Vidrios al plomo: son de baja fusión y se usan para soldar vidrios de cierre hermético. Los de alto contenido en plomo son usados también para proteger de la radiación de alta energía y encuentran aplicación para ventanas de radiación, carcasas de lámparas fluorescentes y lámparas de televisión. Por sus altos índices de refracción, se emplean para algunos vidrios ópticos y para vidrios decorativos (son los que se conocen como cristales)

Algunos vidrios especiales (aplicaciones y usos):

A lo largo del desarrollo del tema, se han ido mencionando distintos tipos de vidrios que pueden lograrse a través de agregado de diversos componentes o mediante procesos

de acuerdo con las necesidades. Mencionaremos a continuación algunos de los más importantes:

Vidrios de seguridad: son aquellos vidrios procesados que en caso de rotura no tienen potencial para producir heridas cortantes serias a las personas. Según el tipo presentan distintas propiedades y características de fractura. Podemos encontrar:

Vidrio armado con alambre: en caso de rotura la malla de alambre insertado en la masa del vidrio actúa como elemento de retención de los trozos de vidrio rotos, impidiendo temporariamente su caída.

Vidrio templado: con propiedades estructurales y una resistencia mecánica 4 o 5 veces mayor que el vidrio común, como ya se explicó antes, es térmicamente procesado y en caso de rotura se fragmenta totalmente en pequeños trozos, sin aristas cortantes. Roto, el paño pierde capacidad portante e integridad como cerramiento.

Vidrio laminado: es considerado el vidrio de seguridad y protección por excelencia. Brinda seguridad a las personas y protección ante intentos de robo y vandalismo (se usan para blindajes, ya que son antibalas si se les da el espesor adecuado), impidiendo el ingreso fácil a una propiedad por rotura de vidrios en puertas o ventanas. Está compuesto por dos hojas de float unidas íntimamente mediante la interposición de una o más láminas de polivinil de butiral (PVB), aplicadas con calor y presión en un autoclave. Este vidrio puede realizarse combinando láminas de vidrios de color y/o reflectivos para satisfacer requerimientos de control solar, también pueden realizarse resistentes contra el fuego lográndose satisfacer estabilidad e integridad en la abertura durante un tiempo especificado.

Tanto el vidrio laminado como el templado son usados en los vehículos, recordando que en el caso de usar el primero alguna abertura debe realizarse con el templado para permitir el escape en caso de siniestro.

Espejo: es considerado el vidrio decorativo por excelencia. Es manufacturado con un vidrio plano, libre de distorsión, sometido a un intenso proceso de lavado con agua caliente desmineralizada, luego tiene una solución sensibilizante para brindar una mejor adherencia del revestimiento de plata al vidrio. Encima hay una capa reflectante del espejo que es de plata metálica, luego una solución de cobre que actúa como capa de protección del revestimiento de plata, le sigue una capa de pintura anticorrosivo, cuya función es proteger las películas de plata y cobre y una segunda capa de pintura de protección con una mayor resistencia mecánica al rayado e inhibe la acción de la humedad en el espejo.

Vidrio para espejos de vigilancia: es un vidrio reflectivo especialmente diseñado para satisfacer el requerimiento de una observación discreta sin que el observador sea percibido. Se emplea para vigilancia en locales comerciales, investigación y diagnóstico médico y en todas aquellas áreas donde se requiera visión unidireccional. En un local bien iluminado se comporta como espejo y del lado del observador tiene el aspecto de un vidrio gris coloreado en la masa.



Vidrio curvado: se obtiene mediante el calentamiento del cristal plano hasta su punto de plasticidad, que por consecuencia de su propio peso hará que se adapte y tome la forma de un molde. El proceso concluye una vez enfriado el mismo en forma lenta para no alterar su estructura molecular. Puede realizarse también con vidrios laminados combinándose con distintos tipos de cristales para obtener propiedades especiales según los casos.

2.7. Materiales Compuestos:

Están constituidos por dos o más materiales que conservan sus propiedades resultando el nuevo compuesto con propiedades distintas a la de cada uno de ellos. Los materiales constituyentes son insolubles entre sí. La elevada relación resistencia – peso los vuelve sumamente atractivos en numerosas aplicaciones (algunos tienen una resistencia y rigidez similar a la de los aceros pero con una densidad mucho menor y por lo tanto menor peso general del producto terminado). Tienen muchísimas aplicaciones por nombrar algunas podemos decir que se usan en la carrocería de los autos de F1, palos de hockey, cascos de embarcaciones, chalecos antibalas y fundamentalmente en la construcción.

Los materiales compuestos pueden ser naturales o artificiales.

Los naturales pueden ser: madera, bambú, músculos.

Los sintéticos o artificiales están elaborados por el hombre para lograr determinadas propiedades por ejemplo el plástico reforzado con fibras, el hormigón armado, el asfalto, etc.

Se hallan constituidos por dos fases:

- **Primaria o Matriz:** es la fase dentro de la cual se incorpora el refuerzo. Puede ser polimérica, cerámica o metálica. Sus principales funciones son: suministrar la forma al producto, mantener en su lugar al refuerzo, protegerlo y compartir con él la carga aplicada.
- **Secundaria o Refuerzo:** como su nombre lo indica refuerza la fase primaria. Puede ser metálica, polimérica, cerámica, o elementos como el boro o el carbono. Se puede presentar en forma de partículas, hojuelas o fibras. A su vez las fibras pueden ser de vidrio, de carbono o de aramidas.

Asfalto

El asfalto es un betún (básicamente un hidrocarburo con algo de azufre, oxígeno y otras impurezas), y tiene las características mecánicas de un material polimérico termoplástico. Es un material negro y pegajoso. Muchas veces se lo confunde con el alquitrán de hulla o la brea, pero el alquitrán de hulla proviene del carbón.

El asfalto es una sustancia sólida o semisólida. Se mezcla con solventes para volverlo más líquido y fácil de trabajar. Algunos de los solventes usados son la nafta y el tolueno (estos solventes son altamente inflamables).

Construc. de Mad. y de Hierro

Se usa principalmente como aglutinante bituminoso con agregados formando la mezcla asfáltica y así es utilizado para pavimentar, para la impermeabilización de techos, y en algunos adhesivos.

En muchas aplicaciones, el asfalto es calentado hasta hacerse lo suficientemente fluido para cada aplicación particular. La aplicación se llevará a cabo a la mínima temperatura posible.

El asfalto tiene una baja conductividad y es en consecuencia un buen material aislante. Es considerado con alta y buena resistencia al ataque a los químicos y dicha resistencia se incrementa con la dureza del asfalto. El ataque químico es peor cuando se incrementa la temperatura y es más severo cuando se encuentra inmerso en un químico líquido que si el ataque es en forma de vapor o gas.

Es un material altamente inflamable tal como indica su punto de inflamación el cuál es usualmente por encima de los 200°C.

Mezclas asfálticas:

Las mezclas asfálticas más estables están constituidas por un agregado pétreo con el asfalto suficiente para revestir las partículas del agregado. Si el contenido de asfalto se hace demasiado alto durante el tiempo caluroso, puede concentrarse en la superficie de la carretera y reducir la resistencia al deslizamiento. Los agregados de difícil pulido y fácil trabazón producen mejor resistencia al deslizamiento que los agregados blandos y de fácil pulido. Adicionalmente los agregados se deberían unir bien con el asfalto para evitar separaciones.

Por la temperatura de la puesta en obra, las mezclas asfálticas se suelen clasificar en:

Mezclas asfálticas en caliente: su proceso de fabricación consiste en calentar el ligante y los agregados, la puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior a la ambiente. Se usan en la construcción de carreteras y de aeropuertos.

Mezclas asfálticas en frío: son realizadas con emulsiones asfálticas y su principal aplicación es en la realización y reparación de carreteras secundarias. Se caracterizan por su trabajabilidad tras su fabricación incluso durante varias semanas.

Madera:

La madera es un material compuesto natural que está formada por una disposición compleja de células de celulosa (polímero termoplástico natural) que forman fibras largas y estas están recubiertas con lignina, que es un aglutinante orgánico de bajo peso molecular cuya función es unir los diversos constituyentes de la madera.

La proporción aproximada de las diversas materias que la componen es la siguiente: 50% celulosa, 30% lignina, 20% resina, almidón, tanino y azúcar.

Por ser un producto natural con una estructura compleja no puede esperarse que posea las propiedades de un producto homogéneo. Su resistencia es altamente anisotrópica, siendo su resistencia a tracción mucho mayor en el sentido paralelo a las fibras.



Estructura de la madera:

Examinando la sección transversal de dentro hacia fuera de un árbol se distinguen cinco partes, que son:

- Meollo o médula: capa esponjosa que constituye el corazón del árbol.
- Duramen o madera propiamente dicha: está constituido por tejidos que han llegado a su máximo desarrollo y resistencia.
- Albura o madera joven: rodea a la masa de madera perfecta, estando en período de elaboración es menos dura y coloreada que el duramen.
- Líber: película muy delgada que envuelve a la albura y sirve para la conducción de la savia descendente.
- Corteza: tejido impermeable que recubre el líber y sirve de protección a la planta.

Propiedades físicas de la madera:

Es de gran importancia conocer las propiedades de las maderas sanas, pues de ello depende la elección de una clase u otra.

- **Hendibilidad**: facilidad que tiene la madera de partirse en el sentido de las fibras.
- **Dureza**: representa la mayor o menor dificultad puesta por la madera a la penetración de otro cuerpo. Las maderas verdes son más blandas que las secas. Las duras son más apreciadas. Según su dureza las maderas argentinas se clasifican en:
 - Muy duras (más de 10 unidades Brinnel, ej. Quebracho Colorado, Urunday)
 - Duras (entre 7 y 10 unidades Brinnel, ej. Viraró, Quebracho Blanco)
 - Semiduras (entre 4 y 7 unidades Brinnel, ej. Virapitá, Petiribí)
 - Blandas (dureza Brinnel menor de 4, ej. Pino Misionero, Pino Neuquén)
- **Flexibilidad**: propiedad de poderse doblar o ser curvadas en sentido de su longitud sin romperse.
- **Plasticidad**: propiedad de dejarse modelar. Interesa en la reproducción de piezas en relieve.
- **Higroscopicidad**: la madera es notablemente higroscópica, es decir, que absorbe o desprende humedad, según el medio ambiente en que está situada. La variación de esta cantidad de agua lleva consigo la variación del peso y volumen de la madera. La madera conserva normalmente de un 15 a un 20% de agua; por evaporación las células disminuyen de volumen, y la madera experimenta contracción, en cambio cuando el grado de humedad de la madera es inferior al del ambiente, la madera absorbe agua, entonces las células aumentan de volumen y la madera se hincha. Se puede afirmar que transcurrido un tiempo se establece siempre un equilibrio entre la humedad contenida en el aire que rodea la madera y el grado de humedad de esta última. Cuando se llega a ese estado se dice que se ha alcanzado el equilibrio higroscópico y el grado de humedad adquirido entonces por la madera, se llama humedad límite de la misma. Si pretendemos evitar que la madera se hinche, o se contraiga lo menos posible, será preciso proceder a secarla hasta que adquiera el grado de humedad más

próximo a aquel límite previsto, el cuál dependerá de las condiciones meteorológicas reinantes en el lugar donde ha de emplearse esa madera. Secarla más sería un trabajo inútil, aumentando el costo de operación y el de la madera, sin utilidad, ya que al cabo de cierto tiempo se habrá humedecido de nuevo y por lo tanto se habrá hinchado al adquirir la humedad límite que le corresponde. Si por el contrario, la humedad límite no se alcanzase continuaría secándose hasta adquirirla, con la correspondiente contracción. El conocimiento de la humedad límite sirve para conocer cuando una operación de secado finalizó, evitando su prolongación o que se dé por terminada antes. Hay tres formas de realizar el secado: natural, natural acelerado, artificial. El natural es el de mejores resultados pero tiene el inconveniente de exigir mucho tiempo, movilizandolos capitales importantes y requerir mucho espacio (por esta razón las maderas secadas en forma natural son las más caras). Tarda entre 3 y 6 años en secarse. El secado artificial se realiza en hornos, tiene la ventaja de ser rápido y matar insectos y gusanos, pero puede endurecer las capas exteriores de los tejidos, produciendo deformaciones en las tablas (debido a que la contracción no se verifica uniformemente ya que la humedad varía a lo largo del tronco y por ser la periferia más porosa razón por la cuál se contrae más); además exige instalaciones costosas. (En general se considera que una madera está comercialmente seca cuando su contenido de humedad está entre el 13 y el 15%)

- Homogeneidad: una madera es homogénea, cuando su estructura y la composición de sus fibras resulta uniforme en cada una de sus partes. Esto en la realidad es prácticamente imposible ya que por tratarse de un elemento orgánico es susceptible de muchos defectos, siendo de particular importancia la presencia de nudos que pueden desprenderse produciéndose lugares de debilidad en la madera. Además también puede ser atacada por seres que viven a sus expensas, y por ello sufrir serios defectos que llevarán a que sean desechadas para usos industriales o en la construcción.
- Color, veteado, olor: cambian de una especie a otra. En general las maderas duras tienen un color más oscuro o intenso, las blandas tienen colores más claros.

Propiedades mecánicas de las maderas:

Las propiedades mecánicas de las maderas dependen principalmente del grado de humedad que contengan y de su peso específico (cuanto más densa es la madera, más fuerte y dura es). Básicamente podemos decir que según la especie de la que se trate trabajará mejor o peor a los esfuerzos a los que se encuentre sometida y en función a esto se seleccionará la madera a utilizar.

Además como las fibras constituyen el elemento resistente de la madera, la resistencia a los distintos tipos de esfuerzos se obtiene aplicando los esfuerzos en dirección paralela a las fibras y en dirección perpendicular a las fibras, obteniéndose en cada caso resistencias distintas. También se debe tener en cuenta que por ser la madera un elemento orgánico se usa coeficientes de seguridad muy grandes (alrededor de 10).



Propiedades especiales:

- Conductibilidad: la madera seca es mala conductora del calor y de la electricidad, pero la húmeda, se hace conductora. Las pesadas son más conductoras que las ligeras o porosas. Por eso el corcho es un gran aislante.
- Inflamación y combustión: esta puede ser una cualidad para aquellas maderas que son usadas para pirograbados, pero para las maderas usadas en construcción y decoración es un defecto.
- Acústica: algunas maderas por su constitución refuerzan y transmiten los sonidos, y se emplean en la construcción de cajas de resonancia de los instrumentos musicales. También se usan para el aislamiento acústico, es decir, para impedir o dificultar el paso del ruido o sonido. La madera más empleada para esto es el pino.

Conservación y preservación de la madera:

Las maderas una vez apeadas, se pudren bajo la influencia de los agentes atmosféricos, las alternativas de sequedad y humedad, y el ataque de organismos vegetales y animales. Por esto la madera se conservará más cuanto se procure que todos estos elementos nocivos no se propaguen ni se desarrollen a sus expensas. Se debe recordar también que la savia, que encierra materias solubles susceptibles de fermentar, es una de las causas principales del deterioro de las maderas, por eso será preciso expulsarla o hacerla inofensiva.

A pesar de todas las precauciones, y cuando las maderas hayan de permanecer bajo tierra, agua, o expuestas a la acción del sol o la lluvia, será necesario recurrir al empleo de diversas sustancias antisépticas para protegerlas de la putrefacción y del ataque de los rayos UV. Esta protección es la menos duradera, ya que protege superficialmente y es necesario renovarla de vez en cuando.

La preservación o inmunización de la madera tiene por objeto modificar la composición química de este material, haciéndolo no apetecible a los organismos biológicos. El efecto protector se consigue tornando a la madera venenosa o repelente a los elementos biológicos que la atacarían si no estuviera preservada. Pueden ser compuestos químicos puros o mezclas de compuestos pero no deben tener un olor muy fuerte principalmente si hay que emplearla en el interior y además no deben modificar el color natural de la madera. Los preservadores y curadores protegen integralmente a las maderas por su acción insecticida, fungicida e hidrorrepelente.

En nuestro país se comercializan maderas llamadas impregnadas: dentro de un cilindro herméticamente cerrado y bajo condiciones de presión los preservantes (sales de cromo, cobre y arsénico) son inyectados dentro de las células de la madera a presión, una reacción química combina los preservantes y las fibras de la madera para formar un compuesto insoluble. Una vez que la madera se saca del cilindro presurizado, la fijación química se lleva a cabo durante el proceso de secado, incorporando permanentemente el preservante dentro de la madera. Este tratamiento es ambientalmente seguro debido a que los componentes de la solución son fijados a la madera en estado insoluble.

Productos derivados de la madera:

- Madera laminada: es un tipo de madera que se construye empalmando tablas por sus extremos hasta configurar el largo que se desea obtener, luego estas se pegan por sus caras constituyendo así una pieza de madera con características especiales. Su fabricación requiere procedimientos específicos exigiéndose al fabricante controles de humedad de las tablas a usar, resistencia de las juntas, temperatura y humedad del taller de encolado, y temperatura de curado. Las vigas laminadas tienen gran estabilidad dimensional porque prácticamente no se producen deformaciones, como sucede en una madera maciza. Permite la utilización de especies implantadas en lugar de maderas nativas. Posibilita la producción de grandes piezas, tanto en sección como en largo, además pueden ser curvas o rectas. A igual sección la madera laminada es más confiable porque evita la incidencia de las fallas que pueden tener las maderas macizas. Los espesores de las tablas varían entre 20 y 45mm aunque en la actualidad también pueden hacerse con espesores de 3mm aproximadamente. El secado de las tablas tiene relación con el adhesivo a emplear, ya que algunos exigen menores porcentajes de humedad. La unión de tablas de una capa con la siguiente no debe coincidir, sino que debe respetarse una distancia mínima que debe haber entre las uniones de dos capas seguidas en función de la sección de la viga. Una vez cepilladas las capas se procede al encolado de cada una de las caras de las tablas que componen la viga. Esta se coloca inmediatamente en la prensa, ya que los adhesivos tienen un tiempo de fraguado y si se excede ya no se producirá la unión entre las tablas, la presión debe mantenerse hasta que haya fraguado totalmente el adhesivo. El prensado se realiza en un espacio cerrado con condiciones de temperatura y humedad controladas. Los adhesivos usados son los ureicos y todos endurecen por la presencia de un catalizador. No se admite el uso de adhesivos vinílicos cuando la madera es usada para uso estructural. En otros países se usan adhesivos de un solo componente, como el poliuretano líquido que polimeriza en presencia de humedad y tiene un bajo impacto medioambiental.
- Paneles: básicamente se pueden diferenciar dos grupos, los de madera sólida y los reconstituidos. Los de madera sólida pueden ser de tablas o tirantes, de láminas cruzadas o de láminas paralelas. Los reconstituidos pueden ser de fibras, de partículas o de virutas.
 - Paneles compensados: compuestos por láminas de madera de distintos espesores, colocadas una sobre otra perpendicularmente, según la dirección de la veta, unidas con un adhesivo y prensadas en caliente. Al cruzar las láminas se obtiene gran resistencia en ambas direcciones y mayor estabilidad dimensional, y si se usan colas fenólicas se puede lograr buena resistencia a la humedad.
 - Tableros alistonados: se unen lateralmente listones mediante resinas especiales. Se producen en varios espesores y a su vez con listones de diferentes anchos. Se realizan en distintos tipos de maderas.
 - Tableros de virutas: el más adecuado para uso estructural es el OSB que es un panel compuesto de tiras, o virutas de madera orientadas en forma



cruzadas, lo que aumenta su resistencia mecánica y rigidez. Estas tiras se unen mediante adhesivos y la aplicación de presión y temperatura.

- Tableros de partículas: (aglomerados) se producen a partir del prensado en caliente de madera desmenuzada en pequeñas partículas (astillas) empleando un adhesivo. En general están compuestos de tres capas: una más gruesa en el centro y dos externas más finas.
- Tableros de fibra: la madera se desmenuza a tamaño de fibra, mucho más pequeño que la astilla o partícula, por lo que en las caras y en el canto no se llegan a diferenciar elementos como en los otros casos. Existen dos grandes tipos: de alta densidad (HDF) y los de mediana densidad (MDF). En los HDF las fibras se unen mediante presión y temperatura aprovechando la capacidad ligante de la lignina natural de la madera, al calentarse, se plastifica y al enfriarse une las fibras, no lleva adhesivo. En cambio en los MDF a la fibra se le agrega adhesivos, para luego con presión y temperatura obtener la placa. Ambos tableros se usan para cerramientos, decoración, muebles y poca aplicación estructural.

Hormigón:

El hormigón es un material compuesto básicamente por elementos de comportamientos bien diferenciados:

- Los agregados (refuerzo) conforman el esqueleto granular del hormigón y son el elemento mayoritario ya que representan el 80-90% del peso total, por lo que son responsables de gran parte de las características del mismo. Los agregados son generalmente inertes y estables en sus dimensiones.
- La pasta cementicia (mezcla de cemento y agua): es la matriz que une los elementos del esqueleto granular entre sí. Es el material activo dentro de la masa de hormigón y como tal es en gran medida responsable de la resistencia, variaciones volumétricas y durabilidad del hormigón.

Cada elemento tiene su rol dentro de la masa del hormigón y su proporción en la mezcla es clave para lograr las propiedades deseadas, esto es: trabajabilidad, resistencia, durabilidad y economía.

Constituyentes del Hormigón:

El cemento:

El cemento es un ligante hidráulico, o sea una sustancia que mezclada con el agua, está en condiciones de endurecer ya sea al aire, como debajo del agua.

Agua de amasado:

Se entiende por agua de amasado la cantidad de agua total contenida en el hormigón fresco. Está compuesta por:

- ✓ Agua agregada a la mezcla

- ✓ Humedad superficial de los agregados
- ✓ Agua proveniente de los aditivos

El agua de amasado cumple una doble función en la tecnología del hormigón: por un lado permite la hidratación del cemento y por el otro es indispensable para asegurar la trabajabilidad y la buena compactación del hormigón. En general puede usarse todas las aguas naturales, siempre que no sean demasiado sucias. El contenido en materias perjudiciales del agua de amasado es por lo general suficientemente escaso para no perjudicar el hormigón fabricado con ella. Sin embargo la misma agua usada en el amasado (por ejemplo el agua freática con pequeñas cantidades de sales de azufre) puede llegar a destruir un hormigón ya fraguado al actuar de una forma permanente. Las aguas que contengan cloruros en disolución y el agua de mar no deben usarse para el amasado del hormigón. Las normas IRAM especifican los requisitos físicos y químicos que debe cumplir el agua de amasado.

Agregados:

Generalmente se entiende por agregado a la mezcla de arena y piedra de granulometría variable. Básicamente podemos decir que los agregados se dividen en gruesos y finos; el tamiz que separa un agregado grueso de un fino es el de 4,75mm. Es decir que todo agregado menor a 4,75mm es un agregado fino (arena).

Dijimos que el esqueleto granular del hormigón está formado por los agregados que son elementos inertes, generalmente más resistentes que la pasta cementicia y además económicos. Por lo tanto conviene colocar la mayor cantidad posible de agregados para lograr un hormigón resistente, que no presente grandes variaciones dimensionales y sea económico. Pero hay un límite en el contenido de agregados gruesos dado por la trabajabilidad del hormigón. Si la cantidad de agregados gruesos es excesiva la mezcla se volverá difícil de trabajar y habrá una tendencia de los agregados gruesos a separarse del mortero (se dice que el hormigón es áspero, pedregoso, poco dócil).

En el hormigón fresco, es decir, recién elaborado y hasta que comience su fraguado, la pasta cementicia tiene la función de lubricar las partículas de agregado, permitiendo la movilidad de la mezcla. En este aspecto también colabora el agregado fino (arena). La arena debe estar presente en una cantidad mínima que permita una buena trabajabilidad y brinde cohesión a la mezcla. Pero no debe estar en exceso porque perjudicará las resistencias.

Se denomina granulometría a la distribución por tamaños de las partículas que constituyen un agregado, y se expresa como el porcentaje en peso de cada tamaño con respecto al peso total. La importancia de la granulometría de los agregados totales en el hormigón se debe a que por razones de economía, mayor resistencia y mayor estabilidad volumétrica, conviene que los agregados ocupen la mayor masa del hormigón compatible con la trabajabilidad. Esto se logra tratando que la cantidad de huecos dejada por los agregados sea mínima, o sea lograr la máxima compactación. El tener una distribución por tamaños adecuada, hace que los huecos dejados por las piedras más grandes sean ocupados por las del tamaño siguiente y así sucesivamente hasta llegar a la arena, donde sus diferentes tamaños de granos harán lo propio. Para esto las granulometrías deben ser continuas, es decir que no falte ningún tamaño



intermedio de partícula. La pasta cementicia debe recubrir todas las partículas de agregado para lubricarlas, cuando el hormigón está fresco y para unir las, cuando ha endurecido. Por lo tanto, cuanto mayor sea la superficie de los agregados mayor será la cantidad de pasta necesaria.

Por último también debe tenerse en cuenta el contenido de finos o polvo, o sea la suciedad que presentan los agregados. Este contenido es importante porque a mayor suciedad habrá mayor demanda de agua, ya que aumenta la superficie a mojar y por lo tanto también aumentará el contenido de cemento si se quiere mantener constante la relación agua/cemento. Por otro lado si el polvo está firmemente adherido a los agregados, impide una buena unión con la pasta y por lo tanto la interfase mortero-agregado será una zona débil por donde se puede originar la rotura del hormigón.

Aditivos:

Son sustancias que se agregan para modificar características del hormigón fresco, del endurecido, el fraguado, la trabajabilidad y el endurecimiento. Su uso se justifica por razones técnicas y económicas. Determinadas características no se pueden lograr sin el agregado de ellos. Pueden contribuir a disminuir el costo de la mano de obra y de los materiales, permiten ahorro de energía y facilitan la colocación del hormigón. Son agregados generalmente en forma líquida en pequeñas proporciones en el momento del mezclado.

Los principales tipos de aditivos son:

- ✓ Fluidificantes y superfluidificantes: son los más usados. Mejoran la trabajabilidad, permiten reducir la cantidad de agua necesaria aumentando la resistencia y la impermeabilidad.
- ✓ Incorporadores de aire: su rol es introducir en el hormigón millones de pequeñas burbujas de aire (con diámetros entre 50 y 300 μ), mejorando de esta forma la resistencia al hielo y a las sales anticongelantes. Se obtiene además el mejoramiento de la trabajabilidad y disminución de la segregación.
- ✓ Retardadores: retardan el inicio del fraguado de la pasta de cemento y prolongan el intervalo que se dispone hasta su uso. Se usan generalmente para hormigonado a temperaturas elevadas, transporte a larga distancia, hormigonado de grandes volúmenes o superficies extensas, cuando se quiere atenuar la liberación de calor derivado de la hidratación en el hormigón. Un hormigón con retardante endurece más lentamente en la fase inicial pero desarrolla resistencias después de 28 días levemente más elevadas que el hormigón convencional.
- ✓ Acelerantes: los acelerantes y anticongelantes aceleran el inicio del fraguado y liberan más rápidamente el calor de hidratación. La mayor parte de ellos acelera también el endurecimiento, permitiendo desencofrar, someter a cargas o exponer el hormigón al hielo dentro de un intervalo de tiempo bastante más corto. Se usan para hormigonados a bajas temperaturas, intervalo de desencofrado muy corto, hormigonado en contacto con aguas en escurrimiento, anclajes, trabajos de reparación, impermeabilización rápida de infiltraciones de agua.

Propiedades:

Uno de los factores que tiene gran influencia en el conjunto de propiedades del hormigón es la relación agua/cemento. Sabiendo las propiedades que se deben obtener del hormigón el ingeniero establece la relación A/C, sin embargo como en la práctica es relativamente difícil medir con precisión el contenido de agua, es común hacer referencia a la medida de consistencia (que está en estrecha relación con el contenido de agua). La elección de la relación A/C depende principalmente de la agresividad del ambiente al que estará expuesto el hormigón y de los requisitos mecánicos que el hormigón endurecido debe satisfacer (la práctica muestra que la relación A/C no debe ser menor al 45% para tener una trabajabilidad normal).

Una buena trabajabilidad facilita el transporte y el uso del hormigón, o sea la colocación en los encofrados y la compactación, y ésta influye además favorablemente en el costo de estas operaciones.

Una vez vertido el hormigón en los moldes o encofrados comienza el fraguado que es la consecuencia de la progresiva combinación química del agua y el cemento o sea la hidratación que empieza inmediatamente después de producirse el contacto del cemento con el agua de amasado.

El fraguado consiste en el endurecimiento progresivo de la masa, que va perdiendo gradualmente plasticidad, manteniendo su homogeneidad y después de unas horas la masa comienza su endurecimiento. El tiempo de fraguado depende de la clase y calidad del cemento, de la dosificación de sus componentes y del medio en que se desarrolle. Debido a las reacciones químicas que se producen en el curso de la hidratación del cemento se libera cierta cantidad de calor, que origina un aumento de temperatura que se desarrolla dentro de la masa en función de las dimensiones del elemento (en grandes presas por ejemplo, las temperaturas en las zonas centrales son bastantes mayores que en las superficies).

Cuando el hormigón ha endurecido su resistencia y sobre todo su durabilidad, dependen directamente de una buena preparación, de un desencofrado perfecto y de una compactación adecuada, operaciones que pueden llevarse a cabo sólo si la trabajabilidad es la adecuada. La trabajabilidad disminuye luego de terminada la fase de mezclado y esto es más notorio en presencia de condiciones atmosféricas particularmente calurosas como también cuando se trabaja con cemento de fraguado rápido. Por esta razón el hormigón elaborado debe ser transportado lo más velozmente posible desde la hormigonera a la obra y debe ser usado rápidamente para poder conservar su calidad.

Para lograr las propiedades adecuadas será necesario también una adecuada compactación del hormigón, ya que ésta brindará elevada impermeabilidad, mejor durabilidad, elevada resistencia a la compresión y mejor adherencia con el acero en el caso de hormigón armado. La compactación puede hacerse con vibradores externos o internos. La vibración hace que los granos de los agregados se acerquen entre sí, el aire suba a la superficie y los vacíos se rellenen con la pasta de cemento. A pesar de esto en el interior queda aire que se denomina aire ocluido (1,5% del volumen de hormigón).



Característica reológicas del hormigón:

Las deformaciones que se producen en el hormigón no sólo dependen de las cargas externas sino que existen deformaciones independientes de ellas y que carecen de dirección y por esto se llaman en general cambios de volumen. Las causas son:

- ✓ Retracción por fraguado: el hormigón al aire libre al secarse, pierde en parte el agua no ligada químicamente (libre) y con ello se produce una disminución de volumen que se llama retracción. Si en cambio se coloca el cuerpo en agua, absorbe agua adicional y muestra un aumento de volumen que se llama hinchamiento.
- ✓ Cambios volumétricos debidos a la variación de temperatura: Hay que distinguir entre la influencia del calor de fraguado y la de la variación de temperatura producida por influencias externas. El calor de fraguado produce un aumento de la temperatura en el hormigón fresco, que crece al mejorar la calidad del cemento, al aumentar el contenido en cemento y reducirse la relación entre la superficie y el volumen que se enfrían. En la práctica se trata de mantener pequeño el aumento de la temperatura debido al calor de fraguado. Es mucho más importante la deformación generada en el hormigón fraguado por variaciones de temperaturas producidas por influencia externa.

En general no se pueden separar las distintas clases de deformaciones, razón por lo cual los ensayos necesarios para su determinación se han de proyectar con mucho cuidado y ejecutar en lugares de atmósfera controlada, comparando el comportamiento de las probetas cargadas y sin cargar.

Una de las características más importante del hormigón es que va alcanzando su resistencia en forma lenta a medida que va endureciendo, llegando a su valor máximo alrededor de los 28 días (en realidad la resistencia sigue creciendo, pero cada vez más lentamente, por tiempo indefinido). Uno de los mayores peligros para el hormigón fresco es la deshidratación precoz: ésta se inicia en superficie y se propaga en profundidad impidiendo una buena hidratación de la pasta de cemento, que debe poseer una densidad elevada y una porosidad mínima sobre todo en las zonas directamente bajo la superficie, sólo de esta forma estará en condiciones de ofrecer la resistencia necesaria a las agresiones externas. La pérdida de agua prematura en superficie es muy grave ya que puede producir aparición de importantes fisuras de contracción plástica, pérdida de resistencia, tendencia al desarenado de la superficie, reducción de la impermeabilidad y de la durabilidad, disminución de la resistencia al desgaste.

Se entiende por curado al conjunto de medidas que tienen la función de proteger el hormigón desde el momento de la colocación hasta el desarrollo de resistencias suficientes mejorando así la calidad. El curado debe proteger al hormigón de la deshidratación precoz debida al viento, sol frío seco, temperaturas extremas con grandes amplitudes térmicas y acción prematura de sustancias nocivas como aceites. Para proteger el hormigón contra la deshidratación precoz se puede retardar el desencofrado, cubrir con láminas plásticas, con paños aislantes, con yute o paños geotextiles, rociar con agua permanentemente, conservar los elementos de hormigón bajo agua o rociar con algún agente protector líquido. El curado del hormigón es especialmente importante cuando el hormigonado debe realizarse a elevadas temperaturas ambientes (mayores de 30°C producen resistencias menores a largo

plazo). Por otro lado también el frío excesivo es perjudicial, ya que ni bien la temperatura del hormigón desciende por debajo de los 0°C el desarrollo de las resistencias es casi nulo. Si el agua contenida en el hormigón joven se congela, ésta puede causar deformación o la disgregación y la rotura de la matriz. Si la temperatura ambiente está por debajo de -3°C es necesario tomar medidas adecuadas a los fines de que la temperatura del hormigón sea al menos de 10°C, éstas pueden ser: precalentar la temperatura del agua de la mezcla y/o agregados, aumentar la dosificación del cemento sin modificar los otros componentes de la mezcla, bajar la relación A/C agregando superfluidificantes, agregar acelerantes de fraguado. Además en estos casos se deberá proteger también al hormigón de la deshidratación precoz porque la temperatura muy baja favorece la evaporación de agua, y no se deberá hormigonar sobre suelo helado y hormigón helado.

8.6.3.3. Propiedades Mecánicas:

El verdadero comportamiento elástico del hormigón no se puede determinar fácilmente porque se producen rápidamente deformaciones plásticas que no se pueden separar en el ensayo. Lo que se ha podido observar es que el módulo de elasticidad crece al aumentar la resistencia del hormigón, pero su dependencia no es muy definida, porque el módulo depende tanto de las propiedades elásticas del cemento, como también de la de los áridos, que influyen menos en la resistencia. Los resultados obtenidos de los ensayos muestran que a veces se obtienen valores que pueden diferir en un 50% respecto del valor medio. Así por ejemplo un hormigón muy blando, con áridos finos procedentes de piedra blanca y con elevado contenido de cemento posee los valores más bajos de módulos de elasticidad, en cambio el hormigón seco con árido grueso de piedra dura y poco cemento posee los valores más altos.

Por otro lado la curva σ - ε ni siquiera en el caso de esfuerzo normal puede decirse que siga una ley determinada por esta razón para los cálculos se usan diagramas aproximados y los reglamentos establecen los valores de E a considerar según la calidad del hormigón.

La resistencia mecánica es una de las propiedades más importantes del hormigón endurecido, debido a que en las estructuras de hormigón, a los efectos del cálculo, representa la capacidad de soportar los esfuerzos a que será sometido en su posición de trabajo y a los producidos por la acción de las cargas o de los fenómenos atmosféricos que puedan originar deformaciones. Como ya se ha dicho es función de la relación A/C, del grado de compactación, tipo y calidad del cemento y eficiencia del curado así como de la edad. También influyen el grado de adherencia entre la pasta cementicia y los agregados.

Las resistencias a compresión, tracción, flexión y corte están relacionadas entre sí, si bien la comparación generalmente se realiza siempre con la primera.

Resistencia a compresión es la de mayor importancia, pero debido a su naturaleza variable por la incidencia de los diversos factores que intervienen en su producción los resultados de los ensayos son generalmente dispersos. Para obtener resistencias representativas de la calidad del hormigón, no es conveniente valerse de un solo resultado sino de una serie, teniendo en cuenta dicha dispersión. Con el objeto de solucionar este problema, surgió lo que se denomina “Resistencia Característica”, (en



base a estadística matemática) que tiene en cuenta no solo la media aritmética de los resultados de los ensayos, sino también las desviaciones que se presentan. Con la resistencia característica se obtiene una probabilidad del 95% de superar la resistencia de rotura a la compresión a la edad del ensayo, de manera que en obra, deberá conseguirse un hormigón de resistencia tal, que de los ensayos efectuados, una gran parte dé como resultado la resistencia característica establecida, quedando tan sólo unos pocos por debajo de la misma (por esta razón cuando se quiere comprobar la calidad de un hormigón, se realizarán ensayos a distintas edades del hormigón: 7 días, 14 días y 28 días).

De acuerdo con estas resistencias características se clasifican los hormigones y se define su uso.

Clase de Hormigón	Usos y aplicaciones	Resistencia característica a los 28 días (Mpa)
H13	Contrapisos, veredas	13
H17	Estruc. De Hº simple y armado Fundaciones en medios no agresivos.	17
H21	Estruc. De Hº simple y armado	21
H25	Est. de Hº simple y arm. Pisos indust. Pavimentos de tránsito medio	25
H30	Est. De Hº simp. Y arm. Pisos ind. Pavimentos de tránsito intenso	30
H47	<u>Est. Especiales. Edif. Gran altura</u>	47
H60	<u>Est. Especiales. Edif. Gran altura</u>	60

Resistencia a la tracción es muy débil ($1/10$ a $1/20$ de la resistencia a compresión), razón por la cual en los cálculos prácticamente no se tiene en cuenta. Donde reviste importancia es en lo relacionado con la fisuración, debido a la retracción que sufren los elementos de hormigón armado. La resistencia a tracción depende de la adherencia de la pasta cementicia con los áridos y de su rugosidad y forma de las partículas, por eso los hormigones de piedra partida son más resistentes a la tracción que los de canto rodado.

Resistencia al corte es la que opone un hormigón, cuando fuerzas exteriores tienden a producir un deslizamiento de un lado de un elemento con respecto al resto del elemento que se encuentra del otro lado. Esa resistencia mide la cohesión del hormigón y depende de la calidad del hormigón, está comprendida entre $1/3$ y $1/5$ de la resistencia a compresión.

Resistencia a flexión es importante cuando se proyectan pistas o pavimentos donde este esfuerzo es fundamental y como consecuencia de esta flexión aparecen tensiones de tracción las que a su vez tienen influencia en la figuración.

Resistencia al desgaste por rozamiento: La necesidad de producir superficies de hormigón, que resistan el desgaste por rozamiento, se presenta generalmente cuando deben soportar una circulación intensa como sería pavimentos, peldaños de escalera, bordes de andenes o pisos interiores de locales industriales. Para la obtención de

resistencia al desgaste, es importante un buen recubrimiento y un encaje sólido entre los granos, por lo que influyen la composición granulométrica y la naturaleza de los áridos empleados. Se aconseja una relación agua/cemento baja para que el material sea lo más compacto posible, se tratará que la cantidad de arena fina sea la menor posible y que la cantidad de agregado grueso sea la mayor posible ya que las piedras serán las que mayor resistencia al desgaste ofrecerán. Para mejorar la resistencia al desgaste se aconseja realizar una capa superficial de hormigón duro que contenga limaduras de fundición de acero o cuarzo o bien un mortero especial que contenga resina epoxi.

Resistencia al impacto: Es la capacidad del hormigón para soportar golpes y absorber la energía producida. Tiene mucha importancia en la hincapi de pilotes y en aquellos lugares donde hay posibilidad de circulación vehicular con la consecuente probabilidad de impacto accidental. La resistencia es mayor si el agregado grueso es anguloso y de superficie áspera. Si el módulo de elasticidad es elevado produce fragilidad mientras que el bajo permite absorber las fuerzas del choque porque soporta mayores deformaciones. También si el elemento se encuentra bajo agua tendrá mayor resistencia al impacto. Se ha comprobado que cuanto mayor es la resistencia a compresión, mayor es la resistencia al impacto (y será menor la energía absorbida por cada golpe para causar el agrietamiento)

8.6.3.4. Otras características importantes:

Acción de los sulfatos: las aguas con sulfato de calcio y sulfatos alcalinos son agentes agresivos para el hormigón endurecido. Cuando se prevé que los elementos estarán en contacto con sulfatos disueltos en el agua o presentes en el subsuelo se deberán usar hormigones muy compactos (poco porosos), limitando la relación agua/cemento a valores menores a 0,5 y tener en cuenta que por capilaridad se puede transportar el agua peligrosa al interior de las estructuras.

Acción de productos químicos: el hormigón puede resistir o degradarse más o menos rápidamente a consecuencia del contacto con productos químicos. Estas agresiones son más peligrosas en el caso de hormigón armado razón por la cual si se prevén estos ataques deberán usarse hormigones compactos (relación A/C baja), aumentar el espesor del recubrimiento de la y si la agresión es ácida aplicar recubrimientos especiales en base a resinas sintéticas.

Reacción álcali-agregado: algunos agregados producen una reacción química lenta con las sustancias alcalinas normalmente presentes en el hormigón. Esta reacción es la base de la expansión del hormigón y provoca una fisuración importante además de una considerable pérdida de resistencia. Para prevenir esta reacción es conveniente usar un hormigón muy compacto a fin de evitar la entrada de agua al interior, o usar cementos con cantidades significativas de escoria o puzolana no alcalina.

Resistencia al fuego: El hormigón no se quema, aún expuesto a temperaturas muy elevadas no libera ni humo ni gases tóxicos. Frena la propagación del fuego y expuesto a las llamas se calienta muy lentamente, por lo cual constituye una excelente barrera contra el fuego. Solamente una exposición extensa y prolongada causa un agrietamiento del hormigón que cubre la armadura. Puede soportar temperaturas de hasta 30°C sin dañarse.



8.6.4. Hormigón armado:

Es un material compuesto donde el refuerzo está constituido por barras de acero. Ambos materiales actúan en forma conjunta cuando se encuentran sometidos a distintos esfuerzos.

El fundamento de su uso son las siguientes propiedades de ambos materiales:

- Elevada resistencia a compresión del hormigón y elevada resistencia a tracción del acero. En la transmisión de esfuerzos de compresión el hormigón es considerablemente más barato que el acero, resultando éste último tres veces más caro que el hormigón para soportar dichos esfuerzos. En cambio, para soportar esfuerzos de tracción la relación es exactamente inversa, es más, debido a que el hormigón tiene muy poca resistencia a tracción, ésta es prácticamente absorbida por las tensiones originadas en la contracción de fragüe, razón por la cual el hormigón resultaría 10 veces más caro si se quisiera que soportara los esfuerzos de tracción presente.
- Trabajo conjunto del hormigón y el acero asegurado por las propiedades de adherencia de ambos materiales: para conseguir la colaboración del acero y el hormigón, es fundamental que ambos materiales se deformen en igual grado cuando están sometidos a esfuerzos, esto sólo ocurre cuando, gracias a la adherencia y al rozamiento entre el acero y el hormigón, se consigue que los esfuerzos de un material puedan ser transmitidos al otro. Esta forma de trabajo se denomina efecto de colaboración.
- Coeficientes de dilatación térmica de ambos materiales aproximadamente iguales: acá sólo vale acotar que el acero absorbe calor (unas 30 veces más que el hormigón), pero esto tendría importancia en caso de incendio.
- Protección de la oxidación del acero por el hormigón que lo envuelve: la corrosión sólo puede suceder cuando existen iones de hierro para la reacción con hidróxido. La propiedad de la protección antioxidante del hormigón se basa en el hecho de que puede impedir la formación de iones de hierro:
 - ✓ Porque un recubrimiento de hormigón suficientemente denso y compacto mantiene alejados los elementos agresivos del acero (protección física)
 - ✓ Porque en un ambiente alcalino se forma una capa de carácter pasivo (protección química). La alcalinidad proviene de la cal libre que se forma durante el fraguado del cemento y que se disuelve en el agua de los poros.

8.6.5. Hormigón pretensado y post-tensionado:

La resistencia del hormigón armado puede ser mejorada posteriormente introduciendo esfuerzos compresivos en el hormigón por pretensado o postensado utilizando como refuerzos cables o barras de acero tensado. La ventaja del hormigón pretensado es que los esfuerzos compresivos introducidos por los cables de acero tienen que ser contrarrestados antes de que el hormigón sea sometido a esfuerzos de tracción.

En el hormigón pretensado el refuerzo (o tendón) se encuentra en forma de cables trenzados a partir de alambres múltiples y es tensado entre un anclaje externo para el tendón y un gato ajustable para aplicar la tensión. Después se vierte el hormigón sobre los tendones que se encuentran en estado de tracción. Cuando el hormigón alcanza la

resistencia requerida, se descarga la presión del gato. Los cables de acero deberían encogerse elásticamente, pero esto no es posible debido a que están enlazados al hormigón. De este modo se introducen los esfuerzos compresivos en el hormigón.

En el hormigón post-tesado se colocan generalmente conductos huecos que contienen los tendones de acero en el encofrado que va a contener al hormigón (por ejemplo una viga), antes de verter el hormigón. Los tendones pueden ser cables trenzados, alambres paralelos empaquetados, o barras sólidas de acero. Después se adiciona el hormigón y cuando se encuentra suficientemente duro, se ancla cada tendón en uno de los extremos del molde mientras se aplica tensión mediante un gato al otro extremo.

Autor: Ing. Rosa Lefevre

2014

5to. T.C.O.