

MATERIALES COMPUESTOS:

La mayoría de las tecnologías modernas requiere materiales con una combinación inusual de propiedades, imposible de conseguir con los metales, las cerámicas o los polímeros convencionales.

La producción de materiales compuestos se desarrolla rápidamente, con un crecimiento aproximado del 6% anual.

Generalmente estos materiales **combinan la materia plástica (Polimeros) y el refuerzo con fibras, por lo general de vidrio o de carbono.**

Su costo es más elevado que el de los materiales tradicionales, aportan a sus usuarios importantes ventajas gracias a sus propiedades, en particular la ligereza y la resistencia.

¿QUÉ ES UN MATERIAL COMPUESTO?

Un material compuesto es un sistema material formado por una combinación de dos o más micro o macroconstituyentes que difieren en forma y composición química y que son insolubles entre sí, no son homogéneos.

Su importancia radica en que dos o más materiales distintos se combinan para formar un material compuesto cuyas propiedades son superiores a las de sus componentes.

Su uso permite aumentar **la vida útil** de ciertos equipos gracias a sus **propiedades mecánicas** (rigidez, resistencia a la fatiga) y también gracias a sus propiedades químicas (resistencia a la corrosión, resistencia térmica.)

Las fases constituyentes es estos materiales compuestos están separadas por una intercara (interfase).

FASE MATRIZ Y FASE DISPERSA EN UN MATERIAL COMPUESTO

Los estructurales y fibrosos también se consideran con estas dos fases????

Si, pero dentro de cada lamina. En los fibrosos, la matriz dispersa es la fase fibrosa. Y la fase matriz es la unión de las laminas

Fase Matriz: ES CONTINUA, rodea a la otra fase (dispersa) y es dúctil.

Aumenta la tenacidad e **impide propagación de grietas entre partículas** y las une, distribuye y transmite a la fase dispersa los esfuerzos externos, generalmente una pequeña porción del esfuerzo aplicado es soportado por la matriz.
Se **emplean polímeros (termoplásticos y termoestables) y metales (Al, Cu), porque son dúctiles, pero también puede ser cermica.**

- **PMC,MMC o CMC respectivamente.**

Fase dispersa: Fibras o partículas que aumentan **la resistencia y la rigidez del material.**

Se buscan materiales que posean **alta resistencia específica** (resistencia/peso específico) buen **Modulo específico.**

Las propiedades de los materiales compuestos son función de las propiedades de las **fases** constituyentes, de sus **proporciones** relativas y de la **geometría** de las fases dispersas.

CLASIFICACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS

REFORZADOS CON PARTICULAS:

Se prefieren partículas que sean **equiaxiales y uniformemente distribuidas.**

Dentro de estas partículas se consideran:

-PARTICULAS GRANDES:

Conforman la fase dispersa otorgando dureza y resistencia al restringir a la matriz dúctil.

La mejora del comportamiento mecánico depende de la fuerza de cohesión de la intercara matriz-partícula, ya que una cohesión débil implica que actúen como si fueran elementos o materiales separados.

EJEMPLOS:

CERMETS:

El Cermets que es un compuesto **metal-cerámica**, tiene **partículas muy duras de carburos refractarios cerámicos: CW, CTi**, embebidos en una matriz **metálica de cobalto o níquel (Muy resistente a la corrosión)**. Se utiliza para herramientas de corte para aceros endurecidos.

CW o CTi con Níquel o cobalto

Elastomeros reforzados con humo negro:

Los cauchos se vulcanizan para obtener mayor resistencia utilizando partículas de humo negro, como en los neumáticos.
Los cauchos (Matriz muy elástica y tenaz) aumentan su resistencia mecánica mediante **partículas esféricas de carbono** producida por combustión incompleta (Humo negro).

Es especialmente útil por el aumento de tenacidad y el aumento de la resistencia al desgaste. Suelen tener desde 15% a 30% de humo negro.

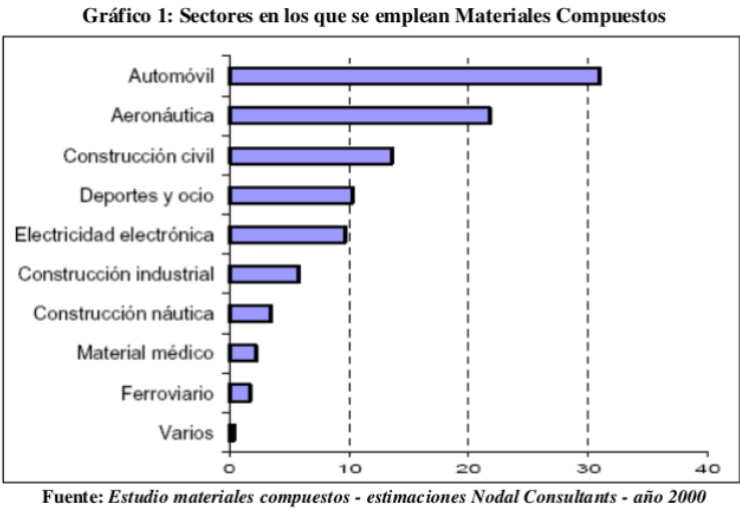
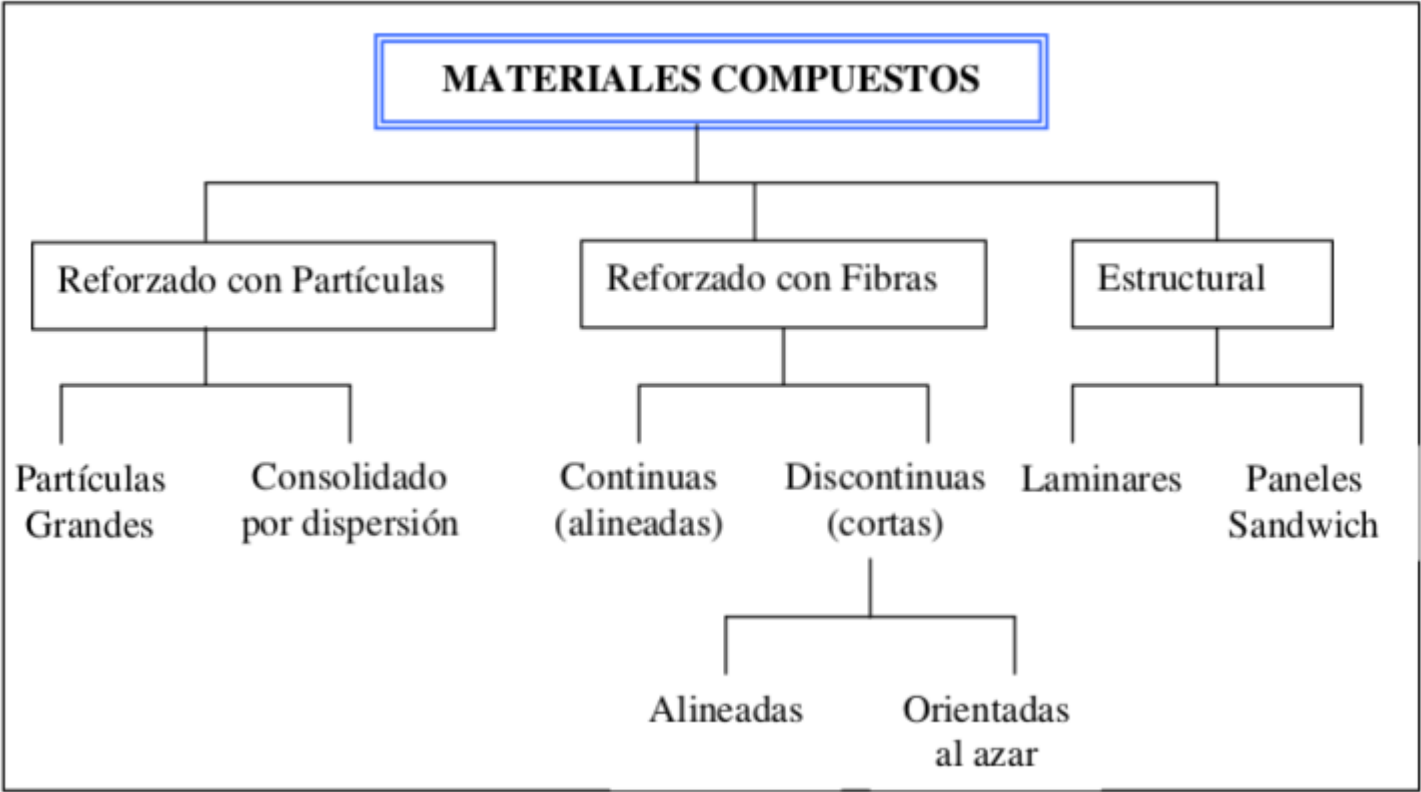


Figura 2: Clasificación de Materiales Compuestos



Hormigón:

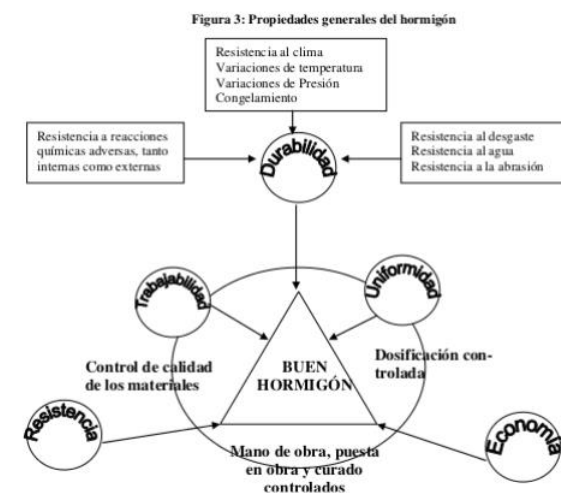
Es un material compuesto donde la fase dispersa se conforma por un agregado de partículas de grava y arena unidas entre sí mediante una fase matriz de cementos ya sean Pórtland. Es decir, **la fase matriz y la fase dispersa son cerámicas**.

El cemento Pórtland contiene: caliza (OCa), sílice (SiO₂), alúmina (Al₂O₃) y óxido Ferrico (Fe₂O₃) y endurece al entrar en contacto con el agua, por reacciones de hidratación.

Como bien sabemos, en los cerámicos la resistencia a la tracción suele ser mucho menor que la resistencia a la compresión debida a sus enlaces con carácter iónico, de tal forma que para aumentar su resistencia a la tracción se lo combina con barras de hierro dando como resultado **HORMIGON ARMADO**

La resistencia a la tracción del hormigón armado se puede mejorar además por la **introducción de tensiones de compresión** mediante pretensado utilizando refuerzos de acero denominados tendones. Por lo tanto, estas tensiones de compre

También se puede utilizar una matriz asfáltica.



- CONSOLIDADOS POR DISPERSIÓN:

Los materiales compuestos consolidados por dispersión tiene partículas muy pequeñas y **su interacción con la matriz ocurre a nivel atómico o molecular**.

Similar al endurecimiento por precipitación, en los materiales consolidados por dispersión la matriz es la que soporta una gran cantidad de esfuerzo mientras que la matriz dispersa impide o dificulta los deslizamientos.

La fase dispersa puede ser metálica (Óxidos) o no ser metálica.

El aumento de resistencia se produce por las interacciones entre partículas y dislocaciones que circulan por la matriz.

ENDURECIMIENTO ASFALTICO = CONSOLIDADO POR DISPERSION? NO

Una gran ventaja de estos materiales es que el endurecimiento permanece incluso a altas temperaturas.

En los metales endurecidos por precipitación se suele perder resistencia al subir la temperatura.

Como ejemplo, nanocompuestos como resinas epoxi con nanoarcillas y nanodioxido de titanio.

MATERIALES COMPUESTOS REFORZADOS CON FIBRAS:

En estos tipos de materiales compuestos la fase dispersa adquiere la geometría de una fibra, es decir, una **relación longitud/diámetro muy alta**.

Actualmente los materiales compuestos con fases dispersas en forma de fibras son los más importantes a nivel tecnológico.

Gracias a este tipo de materiales se diseñan materiales compuestos reforzados son fibra con la finalidad de conseguir **elevada resistencia con una baja densidad**.

Generalmente también se suelen obtener materiales muy **rígidos**.

En estos materiales son muy usados los términos de resistencia específica y de modulo elástico específico. (Resistencia y modulo divididos por la densidad)

Además, si utilizamos fibras de baja densidad para la matriz se pueden fabricar compuestos reforzados con fibras que tienen resistencias y módulos específicos excepcionalmente elevados.

FASE FIBROSA:

Una importante característica de muchos materiales, especialmente los frágiles, es que las fibras con diámetros pequeños son mucho más resistentes por si solas que el material macizo.

Este es el fenómeno que se utiliza con ventaja en los reforzados con fibras.

Por lo general se utilizan fibras con excelente resistencia a la tracción.

Las fibras se agrupan en 3 grupos:

Whiskers:

Monocristales muy delgados que tienen una relación longitud – diámetro muy grande, pero el diametro es pequeño.

Como consecuencia de su pequeño diámetro tienen alto grado de perfección cristalina y están prácticamente libres de defectos y fallas, y por ello tienen resistencias excepcionalmente elevadas.

Pueden ser de grafito, carburo de silicio, nitruro de silicio y óxido de aluminio.

Desventajas: difícil incorporación en la matriz (difícil de trabajar) y **costo elevado**.

Fibras:

Son policristalinos o amorfos con una relación longitud-diametro muy grande. Generalmente son polímeros o cerámicas.

Suelen ser de vidrio, carbono, alumina, etc.

Alambre:

En este caso el diámetro es muy grande. Suelen ser de acero, tungsteno o molibdeno. Se utilizan como refuerzos por ejemplo, en mangueras de alta presión. (Ejemplo: neumáticos radiales)

FASE MATRIZ:

En este caso la fase matriz tiene como principal función unir y contener las fibras, para transmitir los esfuerzos aplicados.

También se ocupa de proteger las fibras del deterioro que podrían sufrir por abrasión o por el ataque del ambiente.

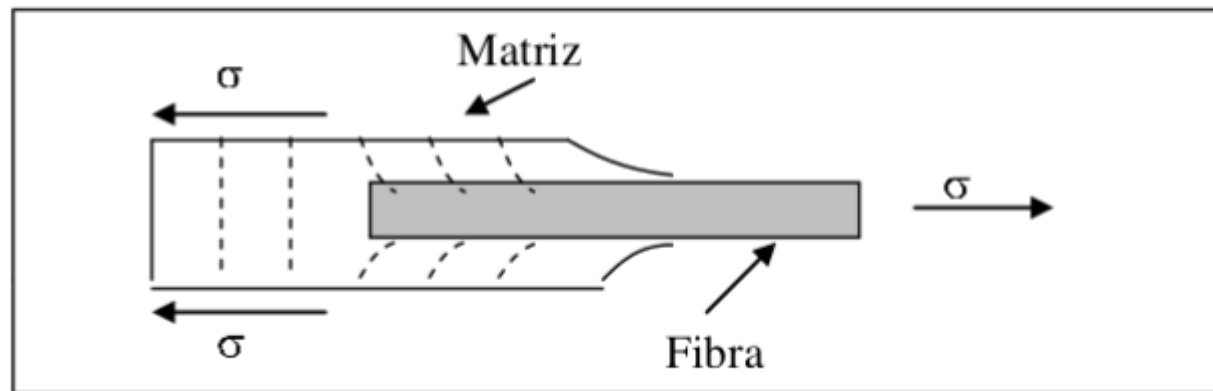
Se busca que la matriz blanda y tenaz para poder absorber las vibraciones y evitar la propagación de grietas.

Es importante que la matriz y las fibras sean compatibles, es decir que tengan buena adherencia para evitar el desprendimiento de las fibras y asegurar la correcta transmisión de esfuerzos.

INFLUENCIA DE LA LONGITUD DE LAS FIBRAS:

Las características mecánicas de los compuestos reforzados con fibras dependen no solo de las propiedades de la fibra, sino también del grado en que una carga aplicada se transmite a la fibra por medio de la fase matriz y por ende la coherencia, debido a que al aplicar el esfuerzo de tracción la unión fibra-matriz, en la matriz se genera un patrón de deformación y la fibra tiende a separarse de la matriz. Es decir que en los extremos de la fibra no hay transmisión de carga desde la matriz.

Figura 5: Patrón de deformación en una matriz que rodea a una fibra sometida a un esfuerzo de tracción.



Existe una longitud de fibra crítica para aumentar la resistencia y la rigidez del material compuesto. Significa que esa longitud tiene que ser lo suficientemente grande para resistir el esfuerzo de corte.

Esta longitud crítica l_c depende de:

- d : Diámetro de la fibra

- σ_f Resistencia a la tracción f de la fibra

- τ_c Resistencia de la unión matriz-fibra o resistencia a la **cizalladura de la matriz**

Se elige la resistencia de la unión matriz/fibra ó la resistencia de corte a la fluencia de la matriz (el que sea menor).

El 2 aparece por tener 2 esfuerzos de corte.

El corte ocurre por los esfuerzos entre la fibra y la matriz?????

Si las fibras son $l \gg l_c$ se denominan **FIBRAS CONTINUAS** ($l > 15 l_c$)

Si las fibras son $l < l_c$ se denominan **FIBRAS CORTAS**

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

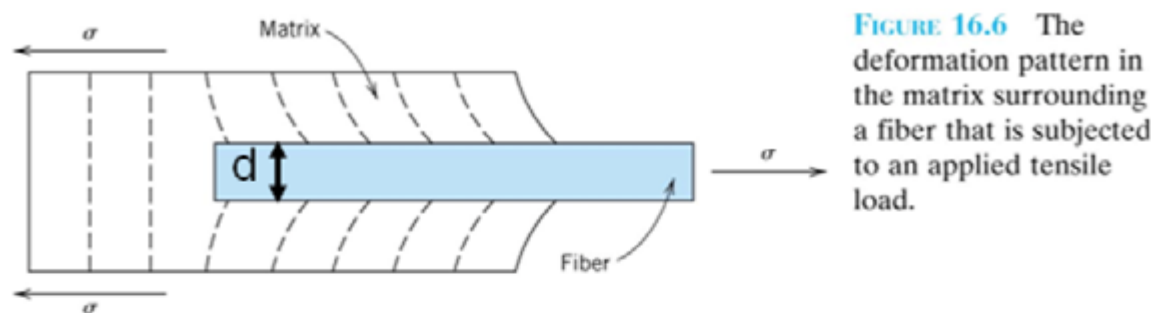
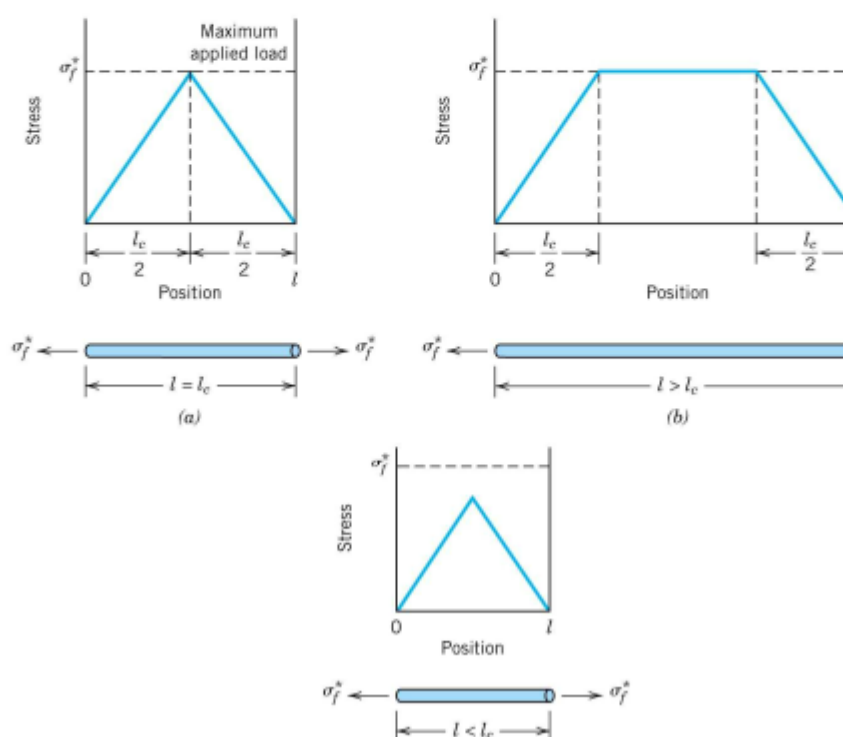


FIGURE 16.6 The deformation pattern in the matrix surrounding a fiber that is subjected to an applied tensile load.



INFLUENCIA DE LA ORIENTACIÓN Y DE LA CONCENTRACIÓN DE LA FIBRA

Con respecto a la orientación existen dos situaciones extremas:

- Alineación paralela de los ejes longitudinales de las fibras (Soportan buenas cargas uniaxiales en la dirección de la fibra)
- Alineación al azar. (Son buenos para cargas biaxiales o arbitrarias)

Las fibras continuas normalmente se alinean, mientras que las fibras discontinuas se pueden alinear o bien se pueden orientar al azar o alinearse parcialmente.

Las mejores propiedades de los materiales compuestos se consiguen con la distribución uniforme de la fibra.

Materiales compuestos con fibras continuas y alineadas:

Carga Longitudinal (DEMOSTRACION IMPORTANTE) Suponemos ISODEFORMACION

SUPONEMOS FIBRAS LARGAS

Las propiedades de un compuesto con fibras alineadas tienen carácter altamente **ORTOTROPO**. Es decir que sus propiedades dependen de la dirección en donde se evalúen.

Conviene considerar que la **deformación de este tipo de compuestos originada por un esfuerzo aplicado se ve afectada lo largo de la dirección de alineamiento**, la dirección longitudinal, por lo tanto la estudiaremos en esta dirección.

Por lo tanto, suponemos que la carga se aplica en la dirección de la fibra alineada

Además, **suponemos que el material compuesto se comporta como un material homogéneo**, es decir que la unión matriz-fibra es muy fuerte, de modo que la deformación es la misma para la fibra y para la matriz.

Además las deformaciones son totalmente elásticas (Se comportan de acuerdo a la ley de Hooke)

$$\varepsilon_c = \varepsilon_m = \varepsilon_f$$

SUPONEMOS que las longitudes del compuesto, de la matriz y de las fibras son iguales L.

La carga soportada por el compuesto F_c es igual a la suma de las cargas soportadas por la **Fase Matriz F_m** y por la **Fase Fibra F_f** .

$$F_c = F_m + F_f$$

Teniendo en cuenta la definición de esfuerzo, $F = \sigma A$,

$$\sigma_c \cdot A_c = \sigma_m \cdot A_m + \sigma_f \cdot A_f$$

Luego, despejamos σ_c y multiplicamos y dividimos por L.

$$\sigma_c \cdot \frac{L}{L} = \sigma_m \cdot \frac{A_m}{A_c} \cdot \frac{L}{L} + \sigma_f \cdot \frac{A_f}{A_c} \cdot \frac{L}{L}$$

Observamos que queda la relación entre el volumen de la matriz y el volumen del compuesto, lo cual da como resultado la **fracción de volumen V_m** correspondiente a la matriz.

Del mismo modo se obtiene la **fracción de volumen V_f** correspondiente a la fibra.

Tal que **$V_c = V_f + V_m = 1$**

$$\sigma_c = \sigma_m \cdot V_m + \sigma_f \cdot V_f$$

Luego, divido ambos miembros por $\varepsilon_c = \varepsilon_m = \varepsilon_f$

$$\frac{\sigma_c}{\varepsilon_c} = \frac{\sigma_m}{\varepsilon_m} \cdot V_m + \frac{\sigma_f}{\varepsilon_f} \cdot V_f$$

Por ley de Hooke. $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$

$$E_c = E_m \cdot V_m + E_f \cdot V_f$$

Suele ser mucho más fácil obtener los datos de la fibra, por lo que despejamos y dejamos en función de los datos de la fibra utilizando **$V_m = 1 - V_f$**

$$E_c = E_m \cdot (1 - V_f) + E_f \cdot V_f$$

De esta forma obtenemos el módulo de elasticidad para un material compuesto

Cargas transversales. Suponemos ISOTENSION

Esta vez la carga se aplica perpendicularmente a la dirección de la fibra alineada

Hacemos las mismas suposiciones anteriores y como el material se comporta de forma homogénea, es decir que las tensiones de las fases será la misma tanto en la fibra como en la matriz, es decir:

$$\sigma = \sigma_c = \sigma_m = \sigma_f$$

Se dice que es un estado **ISOTENSIONADO**.

Esta vez la deformación viene dada por:

$$\varepsilon_c = \varepsilon_m \cdot V_m + \varepsilon_f \cdot V_f$$

Por ley de Hooke. $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$

$$\frac{\sigma}{E_c} = \frac{\sigma}{E_m} \cdot V_m + \frac{\sigma}{E_f} \cdot V_f$$

Dividimos por σ

$$\frac{1}{E_c} = \frac{1}{E_m} \cdot V_m + \frac{1}{E_f} \cdot V_f$$

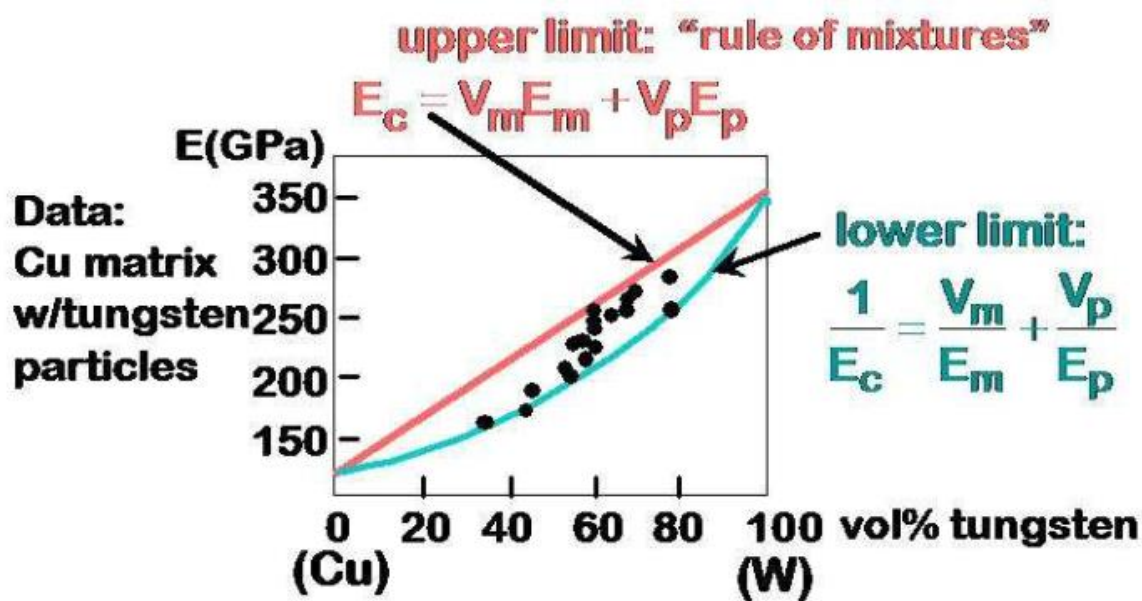
Materiales compuestos con fibras discontinuas y orientadas al azar

Generalmente, cuando **los materiales compuestos tienen fibras orientadas al azar**, éstas suelen ser discontinuas y cortas.

En estas circunstancias, el módulo elástico se expresa mediante una “**regla de las mezclas**”:

$$E_c = K E_m \cdot V_m + E_f \cdot V_f$$

Donde K es el parámetro de eficiencia de la fibra depende del volumen de fibra V_f y de la relación E_f/E_m . Es menor de la unidad, generalmente $k < 0,6$



Modulo elástico en función del volumen fraccionario de la fibra, cae entre los dos valores

Tiene un comportamiento ortótropo

TIPOS PRINCIPALES DE FIBRAS SINTÉTICAS

Las fibras principales son el vidrio, la aramida y el carbono.

La aramida es un polímero aromático. Junto con el carbono son fibras de baja densidad pero suelen ser muy caras.

La fibra de aramida destaca principalmente por su capacidad de alargamiento (Buena absorción de impacto) y gracias a su baja densidad se utiliza como kevlar (Chalecos antibalas)

Las fibras de carbono son las que presentan mejor resistencia, rigidez y baja densidad, es decir que cuenta con excelentes propiedades específicas.

Las fibras de vidrios tienen excelentes propiedades pero son inferiores a las fibras de carbono y fibras de aramidas pero son más baratas, por lo tanto son muy utilizadas.

Las dos matrices plásticas más importantes para plásticos reforzados son las resinas epoxi y poliéster insaturadas. Las tipo poliéster son más baratas, pero generalmente no son tan fuertes como las resinas epoxi.

Las resinas epoxi se utilizan usualmente como materiales matriz para materiales compuestos de fibra de carbono y aramidas.

Fibras de vidrio

La fibra de vidrio es un material inorgánico compuesto consistente en fibras continuas o discontinuas de vidrio embebidas en una matriz plástica

Se fabrica moldeando o soplando el vidrio fundido hasta formar hilos.

El plástico reforzado con fibra de vidrio combina la alta resistencia de las delgadas fibras de vidrio con la ductilidad y la resistencia química del plástico.

Muchas veces se prefieren las fibras de vidrio por ser económicas y resistentes, además de ser aptas para ser hilado.

La matriz más común para las fibras de vidrio es el poliéster.

Como observamos la combinación del poliéster y las fibras de vidrio dan un buen material y muy económico, pero con propiedades inferiores a las aramidas o fibras de carbono en matriz de epoxi.

Las fibras de vidrio **se producen mediante el estirado de monofilamentos de vidrio que provienen de un horno que contiene vidrio fundido.**

Al unir una determinada cantidad de monofilamento obtenemos un cordón de fibra de vidrio. Los cordones se utilizan para hacer hebras o mechas de fibra de vidrio.

Las mechas de fibra de vidrio se suelen llamar **MECHAS URDIDAS.**

Las mallas para reforzar las fibras, están hechas de cordones continuos o cortados. Destacan por su gran elongación.

Su bajo costo permite que sean las más utilizadas, incluso más que la fibra de carbono y que la fibra de aramidas

Fibras De Carbono

La combinación de fibras de carbono en una matriz epoxi destaca por ser una combinación de escaso peso, con alta resistencia y tenacidad.

Posee un precio muy alto, por lo que su uso está limitado a áreas específicas de la industria, como el área automovilística y el área aeroespacial.

Proceso de Producción de Fibras de Carbono.

Los dos materiales que se emplean como precursores para las fibras de carbono son el poliacrilonitrilo (PAN) y la brea.

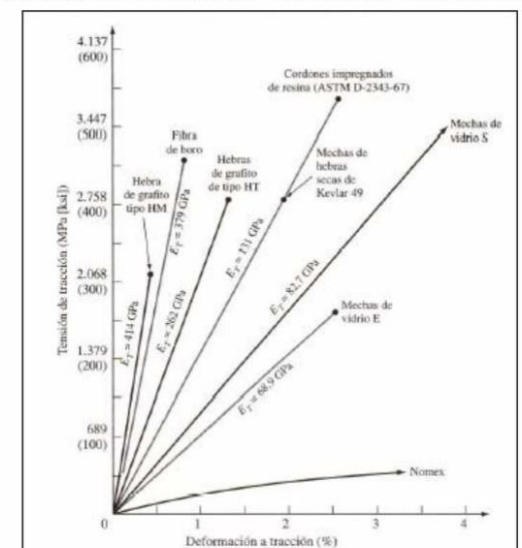
Para la elaboración se debe:

Estabilización: consiste en estirar las fibras (PAN) para formar una malla o red fibrilar, paralelamente a un eje, y luego son oxidadas en aire a una temperatura de 200 a 220 °C mientras se mantiene la tensión.

Carbonización: Las fibras ya estabilizadas son calentadas hasta su transformación en fibra de carbono mediante la eliminación de O, H y N de la fibra original. El tratamiento de carbonización con calor se lleva a cabo normalmente en una atmósfera inerte (Químicamente inactiva) de 1.000 a 1.500°C.

Durante la carbonización se forman hebras o cintas de estructuras estratificadas como el grafito dentro de cada fibra, aumentando enormemente la resistencia a la tensión del material.

Gráfico 2: Comportamiento tensión de tracción- deformación de varios tipos de fibras de refuerzo.



Grafitización: Se emplea si lo que se desea es un aumento del módulo de elasticidad a expensas de una disminución un poco de resistencia a la tracción. Durante la grafitización, que es llevada a cabo a una temperatura superior a los 1.800°C, aumenta el grado de orientación preferido de los cristales tipo grafito dentro de cada fibra.

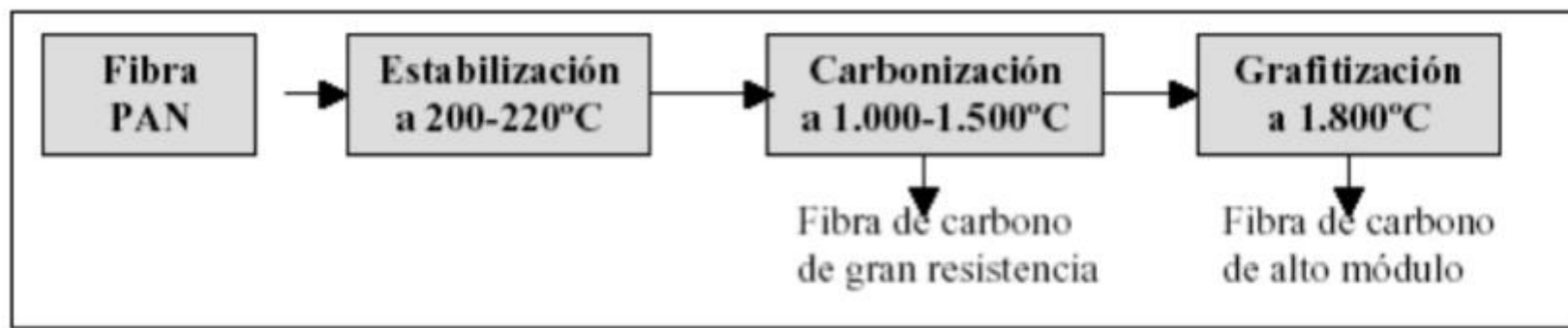


Figura 7: Etapas del proceso de fabricación de fibras de carbono de alta resistencia y de alto módulo a partir de poliacrilonitrilo (PAN) como material precursor.

Un cordón o haz se forma con aproximadamente 6.000 fibras de carbono.

Fibras De Aramidas

Dentro de las Fibras: Los enlaces por puente de hidrógeno mantienen la cohesión transversal de las cadenas poliméricas.

Por esto, **estas fibras tienen mayor resistencia en dirección longitudinal** que en dirección transversal.

Entre las Fibras: la estructura de anillo aromático proporciona mayor rigidez a las cadenas poliméricas, haciendo que éstas exhiban una estructura a modo de barra.

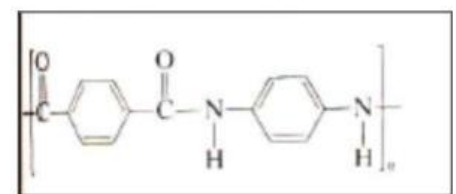


Figura 8: Unidad estructural repetitiva de las fibras de Kevlar

CONFORMACIÓN DE LOS MATERIALES COMPUESTOS REFORZADOS CON FIBRAS

Para la fabricación de plásticos reforzados con fibras, éstas **deben estar uniformemente distribuidas en la matriz y por lo general deben estar orientadas en la misma dirección.**

Las nuevas técnicas desarrolladas para conformar estos materiales son: **pultrusión, bobinado de filamentos y procesos de producción con preimpregnados.**

-PULTRUSION:

El objetivo es formar piezas alargadas de sección constante.

En esta técnica las fibras continuas (Es decir, al menos 15 más grandes que 1µ) se impregnan primero con una resina termoestable y luego se las hace pasar **(por tracción)?? Se tracciona la fibra a lo largo de la resina? SI, y luego tracciona al conjunto completo** a través de un molde matriz de acero que las conforma en una preforma y establece la relación resina-fibra .

Luego, se lo hace pasar por otro molde caliente de curado para que iniciar el curado de la resina y otorgar la forma final.

Un mecanismo de tracción arrastra el material a través de los moldes y también determina la velocidad de producción. La pultrusión es un proceso continuo susceptible de ser mecanizado.

Una de las ventajas de este método es que tiene velocidad de producción muy alta con un costo relativamente bajo.

Que es lo que se obtiene? Una estructura rigida?

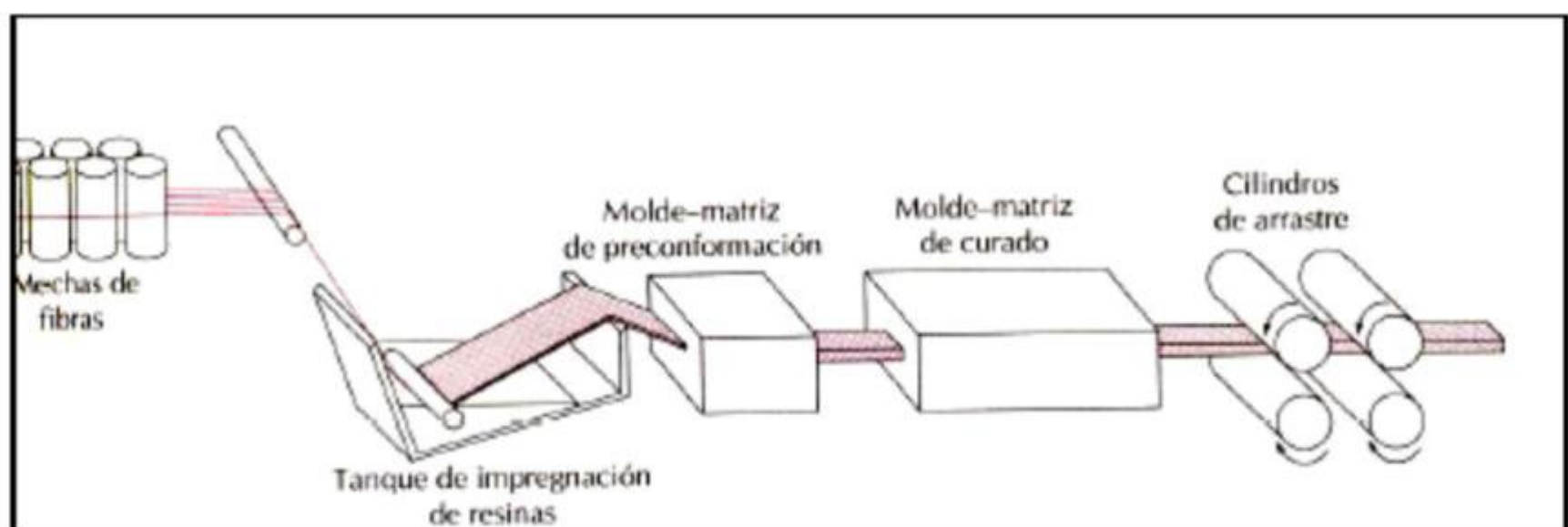
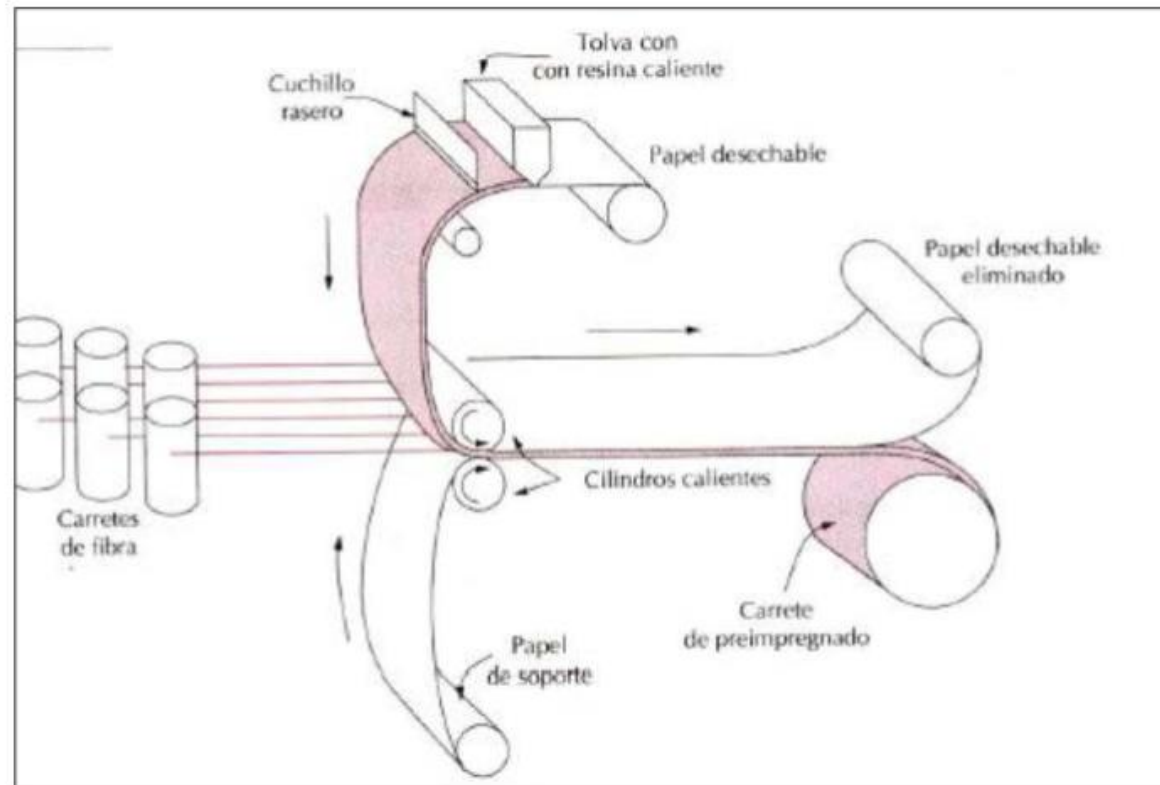


Figura 9: Diagrama Esquemático del Proceso de Pultrusión

Procesos de producción con preimpregnados

Las fibras continuas impregnadas previamente con una resina polimérica parcialmente curada, se entregan a los usuarios en forma de cinta, los cuales moldean y curan totalmente el producto sin necesidad de añadir ninguna resina. Estas fibras se colocan entre dos hojas de papel, una desechable y otra de soporte, y se prensan mediante rodillos calientes en un proceso llamado "calandrado". El producto preimpregnado final, es una delgada cinta que consiste en fibras continuas y alineadas embebidas en una resina parcialmente curada se prepara para el empaquetamiento por bobinado en un núcleo de cartón.

Figura 10: Diagrama esquemático de producción de cinta de preimpregnado utilizando polímeros termoestables



Para la matriz se utilizan resinas termoestables y termoendurecibles y el material de refuerzos son fibras de carbono, vidrio o de aramidas.

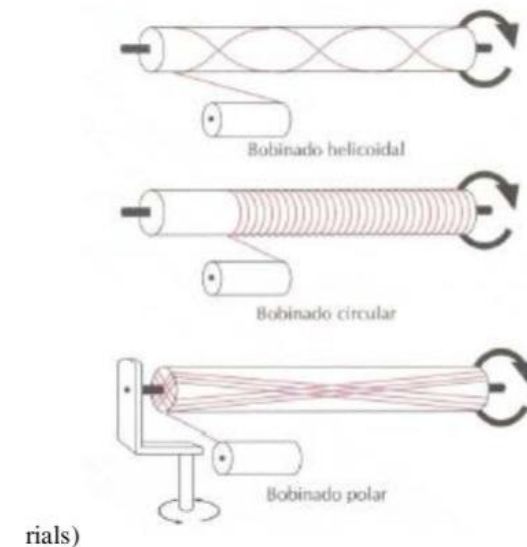
Bobinado de filamentos o mandrilado:

Éste es un proceso por el cual las fibras continuas se colocan cuidadosamente según un modelo predeterminado, usualmente en forma de cilindro hueco.

Las fibras, sean de filamentos individuales o mechas, se hacen circular por un baño de resina líquida y después se bobinan de modo continuo sobre un mandril mediante un equipo automático.

Después de aplicar el número apropiado de capas, se lleva a cabo el curado en un horno, o incluso a temperatura ambiente, y luego se saca del mandril.

Figura 11: Representación esquemática de las técnicas de bobinado de filamentos helicoidal, circular y polar (De N. L. Hancox, editor, Fibre Composite Hybrid Materials)



MATERIALES COMPUESTOS ESTRUCTURALES (Laminares y paneles sándwich)

Este tipo de materiales se conforma mediante materiales homogéneos y también otro tipo de materiales compuesto. Si geometría no solo depende de las propiedades de sus constituyentes, sino también de la geometría de los M.C. Estructurales.

Se destacan los laminares y los paneles sándwich:

MATERIALES COMPUESTOS LAMINARES

Un material compuesto laminar consta de láminas o paneles que tienen una dirección preferente con elevada resistencia, tal como ocurre en la madera y el los plásticos reforzados con fibras continuas y alineadas.

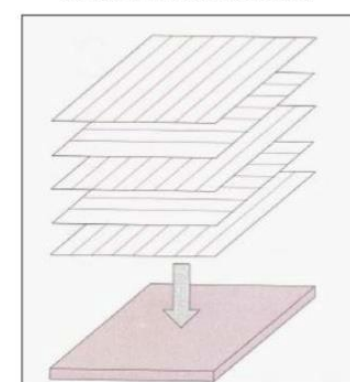
Las capas se apilan y se pegan entre sí, cuidando que la orientación de la dirección de elevada resistencia de cada capa varié sucesivamente para obtener un material resistente en todas las direcciones de interés.

Un problema es el control necesario para su conformación, ya que no deben quedar burbujas durante el proceso por la fragilidad que les da. (Ver proceso de autoclave, tratamiento de terminación)

Material con comportamiento ortótropo, dificulta los cálculos y se deben utilizar matrices.

Si las coloco en variaciones de 45° obtengo un comportamiento quas isotropo.

Figura 12: Apilamiento de capas reforzadas en sucesivas orientaciones para construir un material laminar



MATERIALES COMPUESTOS PANELES SÁNDWICH

Son un tipo de materiales compuestos estructurales los cuales **consisten en dos láminas externas fuertes, separadas por una capa de material menos denso, o núcleo, que tiene baja rigidez y baja resistencia.**

Los materiales de las caras suelen ser aleaciones de aluminio, plásticos reforzados con fibras, titanio, acero, etc.

El núcleo tiene dos funciones.

Por un lado separa las caras y resiste la deformación perpendicular al plano de la cara.

Por otro lado, aporta cierto grado de resistencia a la cizalladura a lo largo de planos perpendiculares a las caras.

Como núcleo se utilizan varios tipos de materiales y estructuras como polímeros espumosos, cauchos sintéticos, cementos orgánicos y madera balsa.

Para núcleos es muy popular utilizar una estructura de tipo “panal” generalmente de cobre o de aluminio.

Se usa en impresión 3D y en las alas de los aviones debido a que son especialmente resistentes a la flexión. También se puede usar como núcleo de elementos deportivos.

Madera:

La madera tiene un amplio uso en la carpintería por sus propiedades y por la estética. En la ingeniería su uso se volvió mucho más interesante gracias a la implementación de materiales compuestos.

La madera es un material compuesto natural que está formado principalmente por una compleja disposición de células de celulosa armadas con una sustancia polimérica denominada lignina y otros compuestos orgánicos.

MACROESTRUCTURA DE LA MADERA

La madera no es homogénea, por lo tanto sus propiedades pueden no ser iguales en toda la distribución del material.

La resistencia de la madera es una propiedad fuertemente ANISOTRÓPICA (Depende de la dirección en que se estudie)

CAPAS DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL (Madera en un árbol.)

- A) Capa de la **corteza exterior**: constituida por tejido muerto y seco, da protección al árbol.
- B) Capa de **corteza interior**: húmeda y blanda, transporta el alimento a todas las partes en crecimiento del árbol.
- C) Capa de **cambium**: capa de tejido entre la corteza y el tronco formada por las células.
- D) **Albura**: Parte ligeramente coloreada que forma la parte una gran parte del exterior del tronco del árbol. Contiene algunas células vivas que conducen la savia desde las raíces hasta las hojas.
- E) **Duramen**: es la región interna del árbol más antigua, **no está viva**. Proporciona resistencia al árbol.
- F) **Médula**: es el tejido blando situado en el centro del árbol alrededor del cual se produce el primer crecimiento del árbol.

Ejes de simetría:

Como dijimos previamente, la madera tiene un comportamiento anisotrópico, por lo tanto es importante relacionar las direcciones en un árbol con la microestructura de la madera.

Se elige el siguiente criterio:

El eje paralelo al tranco se denomina longitudinal (L).

El eje perpendicular al anillo anual de crecimiento del árbol se llama eje radial (R).

El tercer eje, tangencial, es perpendicular a ambos, longitudinal y radial (T).

Microestructuras

Según el tamaño y propiedades de las capas se pueden diferenciar maderas **DURAS** y maderas **BLANDAS**.

Un criterio botánico para saber el tipo de madera es:

Si la semilla está descubierta, se trata de árbol de madera blanda (abetos, pinos, cedros), mientras que si está cubierta, es del tipo de madera dura (roble, olmo, cerezos, abedules).

MADERAS BLANDAS

La madera blanda consta principalmente de células tubulares de paredes delgadas llamadas **traqueidas**, las cuales ocupan el 90 % del volumen.

Se puede decir que poseen una albura significativa?

El gran espacio abierto entre en el centro de las células se denomina lumen y se utiliza para la conducción de agua. **(Lumen = MEDULA??)**

Figura 13: Diagrama esquemático de la fabricación de un panel sándwich con un núcleo en panal (Reproducido con permiso de Engineering Material Handbook)

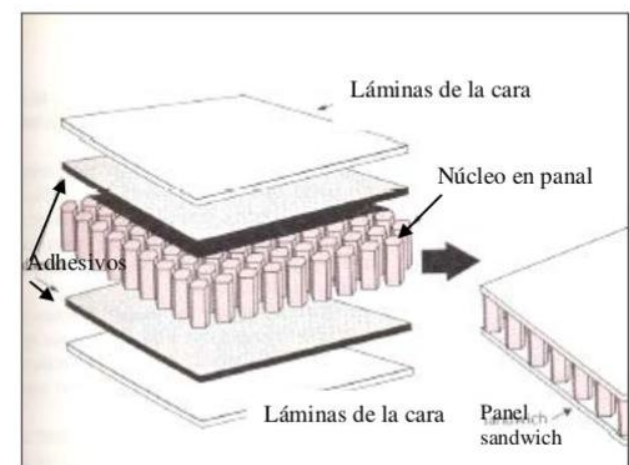


Figura 15: Esquematización de la sección transversal de un árbol

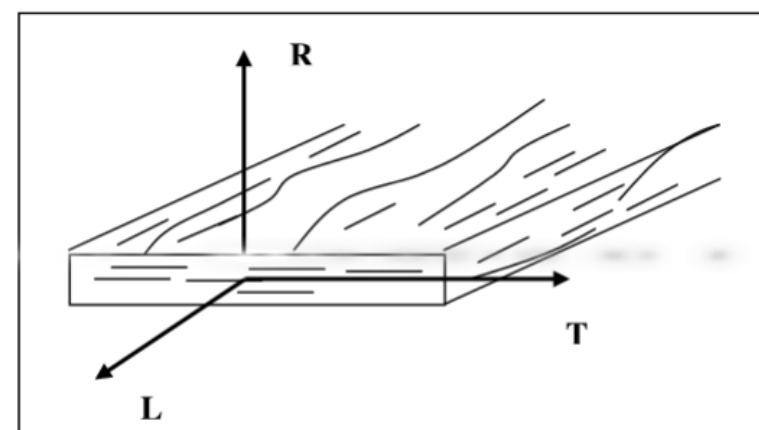
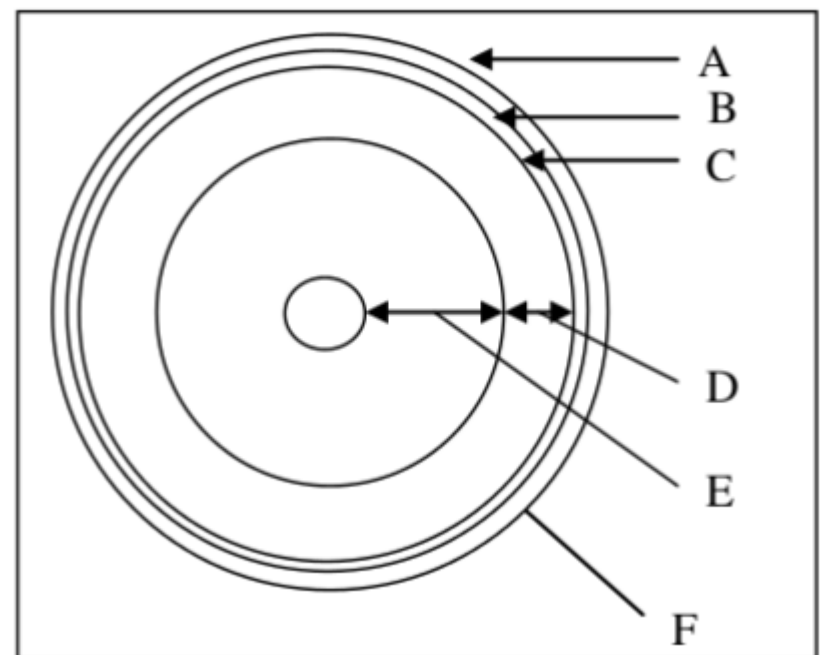


Figura 16: Ejes en la madera

Las células de madera temprana tienen un diámetro relativamente grande, paredes delgadas y un lumen de gran tamaño.
Las células de madera tardía tienen un diámetro más pequeño, paredes gruesas un tamaño de lumen también más pequeño.

MADERAS DURAS

Las maderas duras tienen vasos de gran diámetro para la conducción de fluidos, pudiendo ser de poros en anillo o de poros diseminados, dependiendo de cómo los vasos estén distribuidos en los anillos de crecimiento. **(Albura???)**

Las células longitudinales responsables de la sustentación del tronco del árbol de madera dura son células alargadas terminadas en punta y normalmente de paredes gruesas.

PROPIEDADES DE LA MADERA

CONTENIDO DE HUMEDAD

La madera antes de ser secada contiene humedad. El agua se halla en la madera absorbida en las fibras de las células o bien como agua libre en el lumen de las fibras. Por convenio, el porcentaje de agua en la madera se define por la ecuación:

Contenido de humedad (% en peso) = $\frac{\text{peso de agua en la muestra}}{\text{peso de la muestra de madera seca}} \cdot 100\%$

Los arboles tiene gran contenido se agua, **el contenido de humedad puede superar el 200% con respecto a una madera totalmente seca.**

RESISTENCIA MECANICA

Por lo general las maderas definidas como blandas son blandas, y de igual manera con las maderas duras, pero existen algunas excepciones.

Suponemos un ensayo de compresión. Si lo realizamos de forma paralela a los granos y fibras, a la resistencia puede alcanzar valores incluso 10 veces superior a que si lo hiciéramos en dirección transversal a las fibras. Esto se debe a que los enlaces covalente de las microfibrillas de celulosa se ubican longitudinalmente con respecto al tronco del árbol, en cambio, en dirección perpendicular al tronco del armo de unen mediante enlace puente de hidrogeno

En enlace puente de hidrogeno es más débil que el enlace covalente.

CONTRACCIÓN

A la hora de trabajar con maderas se debe tener cuidado con la contracción debido a que la madera verde se contrae a medida que se eliminan de ella la humedad, creándose una distorsión en las direcciones radial y tangencial de una sección transversal de un árbol.

La madera se contrae considerablemente más en la dirección transversal (10- 15%) que en la dirección longitudinal (0,1%).

Por esta razón se debe tener cuidado cuando se fabrican tazas de madera a partir del centro del tronco de un árbol.

Aleaciones con Memoria de Forma:

Metales Inteligentes

Existen metales que una vez que han aprendido algo lo recuerdan; aunque, puede parecer de ciencia ficción, lo cierto es que poseen una propiedad que les permite recuperar su forma original tras haber sido sometidos a una deformación previa.

Los materiales inteligentes presentan sensores y mecanismos de control, intrínsecos, por los cuales son capaces de responder ante un estímulo de forma determinada en un tiempo apropiado y de volver a su estado original.

La Real Academia de la Lengua Española, define a la inteligencia como la capacidad de percibir, memorizar, actuar y reaccionar; pero también se refiere al conocimiento, la reflexión y resolución de problemas; en ese sentido, frente al tema de materiales, de alguna manera, las primeras cuatro características sí describen parte de las propiedades de los ‘materiales inteligentes’.

Gracias a esto se ha adoptado como un modo válido para calificar y describir a la clase de materiales que tienen la capacidad de cambiar sus propiedades físicas y estructurales (rigidez, elasticidad, viscosidad, forma, color, entre otras.) con la influencia de un estímulo externo concreto.

Estos materiales tienen “Sensores” en su estructura físico química que permite que el material modifica sus propiedades mediante “actuadores” los cuales actúan de forma controlada en un tiempo de respuesta corto y poseen la capacidad de volver a su estado original tan pronto como el estímulo termina.

Básicamente son materiales con mecanismos de control internos, los cuales pueden ser electro activos o magneto activos, foto activos o cromo activo, o materiales con memoria.

Los materiales con memoria de forma se denominan **AMF (Aleaciones con memoria de forma)**

Los AMF tiene la capacidad de “Recordar” su forma primitiva incluso luego de severas deformaciones.

El efecto de memoria de forma se basa en la transición que se produce entre dos fases sólidas, Entre martensítica y austenítica.
El material se deforma en la fase martensítica y recupera, de forma reversible, sus dimensiones originales mediante el calentamiento por encima de una temperatura crítica de transición.

Estos materiales basan su funcionamiento en el tipo de transformación martensítica y austenítica.
En general, la temperatura a la cual comienza y termina una transformación no existe como tal, es decir que no existen un número como tal que indique que justo a esa temperatura comienza la transformación, si no que existe un rango de temperaturas donde se produce el cambio en la estructura.

Si el efecto memoria solo ocurre una vez, es un material de simple memoria. Actualmente se fabrican materiales de doble memoria con la inclusión de aleaciones
Cuando estos materiales se calientan por encima de la temperatura de transición se contraen y recuperan su forma. Los materiales con doble memoria se someten a un tratamiento térmico denomina “Adiestramiento” o “De educación”

Las aplicaciones más extendidas en los últimos años son en productos con superelasticidad como monturas de gafas, alambres dentales y antenas móviles.

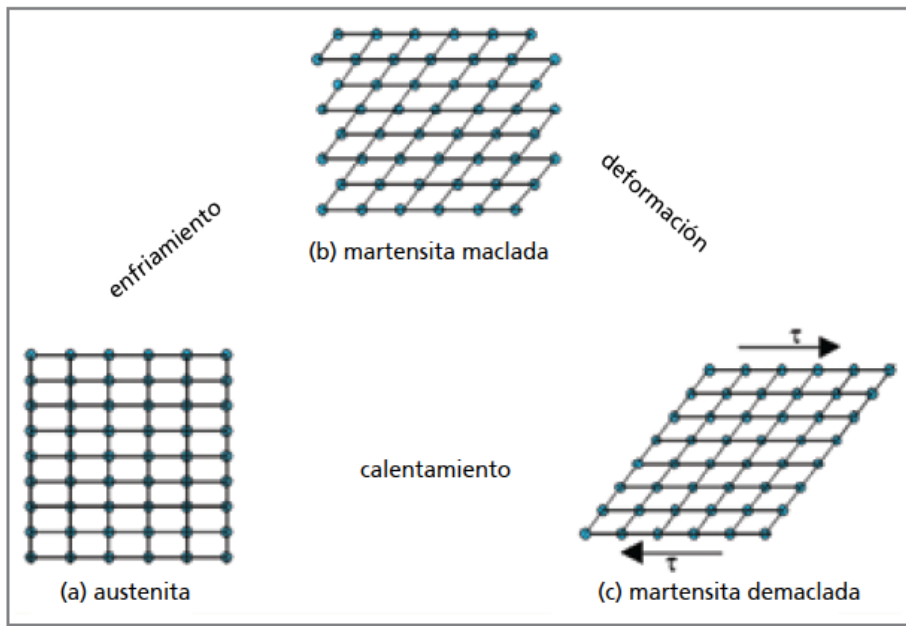


Figura 1. Descripción microscópica del proceso de memoria de forma; la austenita (a) es enfriada para formar martensita maclada (b), aunque hay una acomodación de átomos no sufre cambio en la forma. Posteriormente se deforma moviendo las fronteras del maclado (c), para que así al calentar el material a la temperatura de transición, tanto en el estado (b) como (c), éste volverá a la estructura y forma original austenítica.

OSEA QUE BASICAMENTE CONSISTE EN MACLAR Y DESMACLAR PIEZAS???

QUE CAUSA EL MACLADO? En el apunte dice que es causado por deformaciones en frio y tratamientos térmicos bruscos, pero ¿???

Las aleaciones metálicas con propiedades de memoria de forma se tienen conocimiento desde la década de los 30, pero su auge y mayor desarrollo comenzó con la aparición de aleaciones de **níquel – titanio (Ni-Ti)**, descubiertas y desarrolladas entre 1962

El primer tipo de aleación (Ni-Ti) es conocido comercialmente con el nombre de Nitinol. Entre sus propiedades destacan la ductilidad, estabilidad térmica y resistencia a la corrosión.

Las nuevas aleaciones de Ti-Pt (Titanio – Platino) Destacan por su efecto memoria, capas de operar hasta los 1000°C.

El Nitinol es actualmente uno de los materiales más usados en alambres.

Para su formación se produce la aleación en vacío, en una atmósfera completamente inerte. Se trabajan en caliente, luego en frío y luego se los somete al tratamiento térmico “de educación”

Para obtener este tipo de material con una forma específica se debe contactar con un proveedor y especificar absolutamente todas las propiedades necesarias, ya que comercialmente solo se consiguen “Chispas” de nitinol (de 1 a 2mm). Esto se debe a que un pequeño cambio en el proceso implica un gran cambio en sus propiedades

También se debe tener en cuenta que este material solo se puede soldar por láser o plasma, debido a la fragilidad que se obtiene. Esto se debe a que el calor produce un elemento intermetálico.

Uno de los inconvenientes del nitinol es que al ser un material muy nuevo y en constante investigación es que no hay una normalización sobre este material.

Además, si bien actualmente se utiliza en muchos ámbitos medicinales hay investigaciones respecto al Níquel ya que el Ni es un elemento muy tóxico que puede provocar alergias y reacciones cancerígenas. La formación de la capa de óxido de titanio en la superficie genera una importante disminución de liberación del titanio.

Las aleaciones con memoria de forma

El cambio a una forma específica es una cualidad de los materiales.

El primer fenómeno de un material con memoria fue observado en 1930. En 1960 se descubrió el Nitinol (NiTi)

Microscópicamente, el llamado efecto memoria de forma consiste en el desplazamiento de los átomos en ciertas aleaciones cuando éstas se enfrían bruscamente. Técnicamente se trata de un cambio de fase denominado transformación martensítica.

Al principio, se solía llamar martensita una fase de alta dureza y que se encontraba en los aceros tras un proceso de templado que permitía la transformación de una fase cúbica centrada en las caras llamada austenita en una fase tetragonal centrada denominada martensita. Esta transformación de estado sólido de primer orden se llama transformación martensítica.

Tiempo después se ha generalizado esta denominación a otras transformaciones de fase que tienen características típicas de la transformación de los aceros pero que tienen lugar en otro tipo de materiales, como aleaciones no férricas.

Hoy en día se habla de transformación martensítica cuando la transformación ocurre sin difusión y con una distorsión en la red cristalina, y de manera instantánea.

El hecho de que la transformación no esté difusiva implica que se consigue una nueva fase mediante pequeños desplazamientos de átomos, o sea desplazamientos en distancias inferiores a las interatómicas. Esto implica que la transformación permite mantener la composición y el orden atómico de la fase inicial, por lo tanto se puede realizar a cualquier temperatura.

Existe un intervalo finito de temperaturas durante el cual existe una coexistencia de las dos fases: austenita, o fase matriz, y martensita.

Sabemos que la transformación en martensita inicia a una temperatura M_s y finaliza a M_f .

De forma inversa, cuando la martensita se transforma en austenita, la transformación inicia a la temperatura A_s y termina a A_f .

Generalmente siempre se cumple que $A_s > M_f$ y que $A_f > M_s$, lo cual implica la existencia de una histéresis térmica.

La inducción de la martensita también es posible mediante la aplicación de un esfuerzo externo sobre el material aunque a una temperatura mayor que A_f .

La propiedad por la cual la deformación conseguida es reversible al relajar el esfuerzo, a través de la transformación inversa, se le denomina habitualmente superelasticidad.

Cuando no se aplica ningún esfuerzo externo, la martensita se induce exclusivamente por temperatura, si aumentamos la temperatura sin tensión comienza la formación de austenita, pero si aumentamos la tensión podemos inducir martensita exclusivamente por tensión y se denomina MIT.

Para obtener MIT, a mayor temperatura, se necesita mayor tensión.

Hay que diferenciar:

Transformación martensítica termoelástica: Se caracterizan por un histéresis de más o menos una decena de grados, un cambio de volumen muy pequeño y por una cizalladura producida en el material.

La transformación se produce por la disminución de temperatura y necesita un enfriamiento continuo ya que de otra manera la transformación se detiene.

Además, la transformación inversa solo avanza cuando hay calentamiento. Por estas razones se dice que la transformación es **atérmica** porque la transformación es sólo función de la temperatura a la que la aleación se enfría o calienta, independientemente del tiempo. Esto es importante desde el punto de vista tecnológico por el efecto memoria de forma y otras propiedades peculiares relacionadas con la transformación.

Transformación martensítica tipo BURST o no termoelástica: El cambio de volumen es notablemente superior al producido en las transformaciones termoelásticas, y pueden tener lugar en intervalos muy pequeños de temperaturas y son menos reversibles que las anteriores. Esto produce fuertes irreversibilidades en el proceso reflejándose en histéresis muy elevadas (varios cientos de grados).

Superelasticidad

Transformación martensítica termoelástica:

Es posible inducir la transformación martensítica por esfuerzo cuando el material está en austenita, a una temperatura mayor que A_f .

Al aplicar este esfuerzo, el material inicialmente en austenita, se deforma elásticamente. Cuando se retira el esfuerzo externo tiene lugar la transformación inversa, pero existe una histéresis. Este efecto se conoce como superelasticidad.

A pesar de que la transformación es inducida de manera mecánica, la temperatura juega un papel muy importante.

Debido a esta histéresis, si la temperatura no es suficientemente alta (sólo ligeramente superior a M_s) puede darse el caso de que la MIT no retransforme y por lo tanto o podría incrementar la deformación.

Pero si la MIT se retransforma, debido a la histéresis, puedo incrementar la deformación hasta un 18% gracias a la transformación. De esta forma se pueden obtener transformaciones reversibles al relajar el material.

Efecto de memoria simple

Se enfría el material hasta obtener martensita, la transformación se produce sin cambios dimensionales significativos.

Como bien sabemos, la martensita se encuentra en un estado de gran energía interna. La deformación mecánica provoca un maclado, lo cual disminuye la energía del sistema.

Luego, al calentar el material se recupera la estructura original, para esto se debe calentar por encima de A_f .

Analicemos el caso del **Nitinol (NiTi)**

Suponemos que tenemos una placa de Nitinol en fase austenítica a T_1

Luego, mediante un enfriamiento rápido a T_2 convertimos la austenita en martensita. En este punto conserva su forma pero cambia de fase.

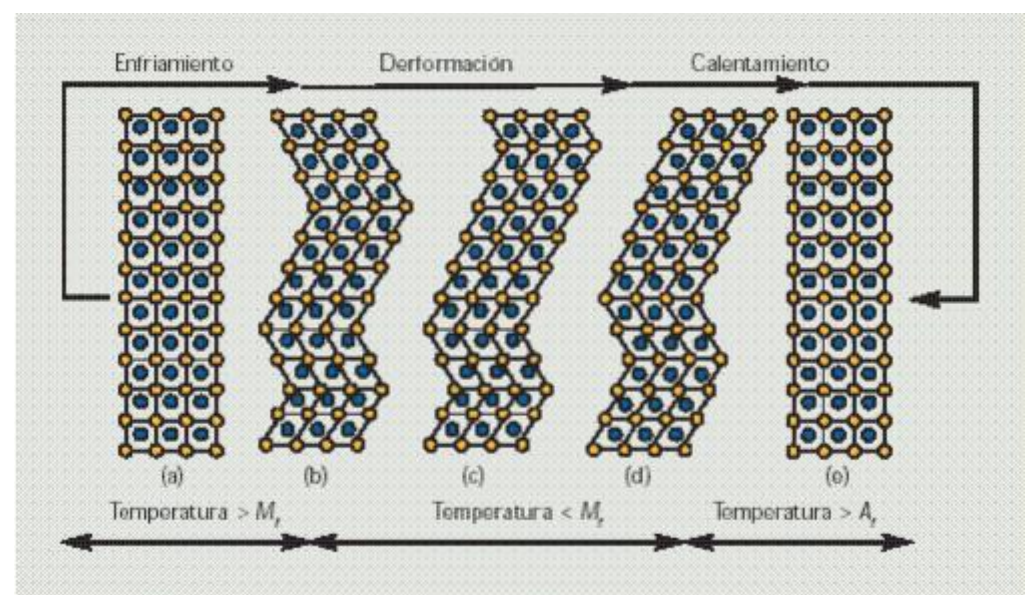
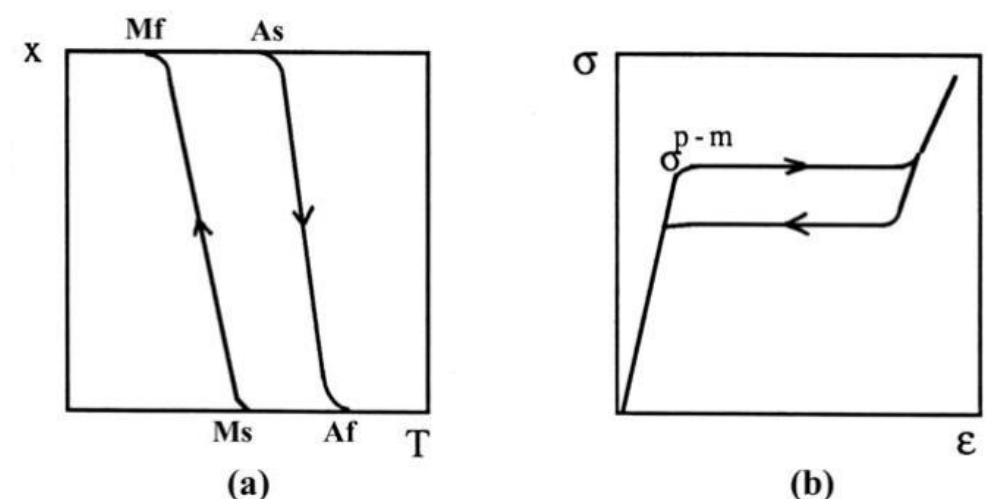
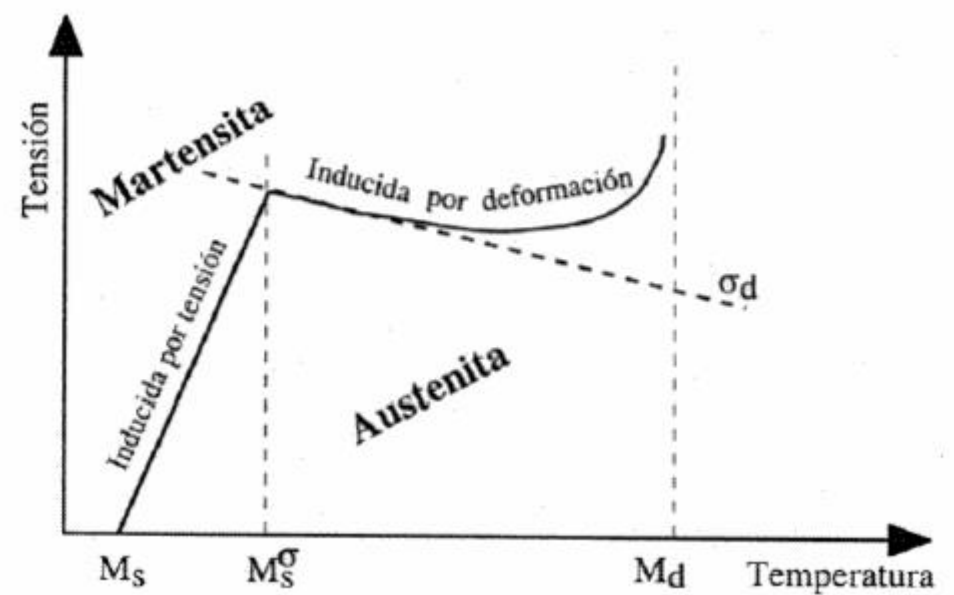
Si en esta fase y a la temperatura T_2 se aplica un esfuerzo creciente, la plaqueta se deformará en dos etapas:

-Primero: De manera elástica

-Segundo: se deforma por reorientación de granos de diferente orientación cristalográfica (Maclas).

En esta segunda etapa se llegan a obtener deformaciones hasta de un 10% sin que se inicie la deformación plástica del material, debido a que se aprovechan la deformación por maclado, obteniendo martensita maclada.

Luego, si volvemos a T_1 , la placa regresa a su fase austenítica y recubre su forma original.



Se dice que el material recuerda la fase y forma que tenía a la temperatura T1, y de aquí el nombre de fenómeno de "memoria de forma simple".

Efecto de memoria doble:

Existe también el fenómeno de "memoria de forma doble", que consiste en que el material recuerda tanto la forma geométrica observada en la fase austenítica o fase a alta temperatura, como la de la fase martensítica o de baja temperatura, de tal modo que siempre que el material se encuentre a la temperatura T1 tomará la forma que "aprendió" en tal condición y ocurrirá lo mismo a la temperatura T2.

APLICACIONES

La aleación con memoria de forma la más comercial es el Nitinol, o sea níquel Ni y titanio Ti, el NOL viene por Naval Ordinance Laboratory

Los materiales con efecto de memoria simple son muy útiles para fusibles y activadores térmicos.

Los materiales con efecto de memoria doble son muy útiles para válvulas térmicas o relevadores térmicos.

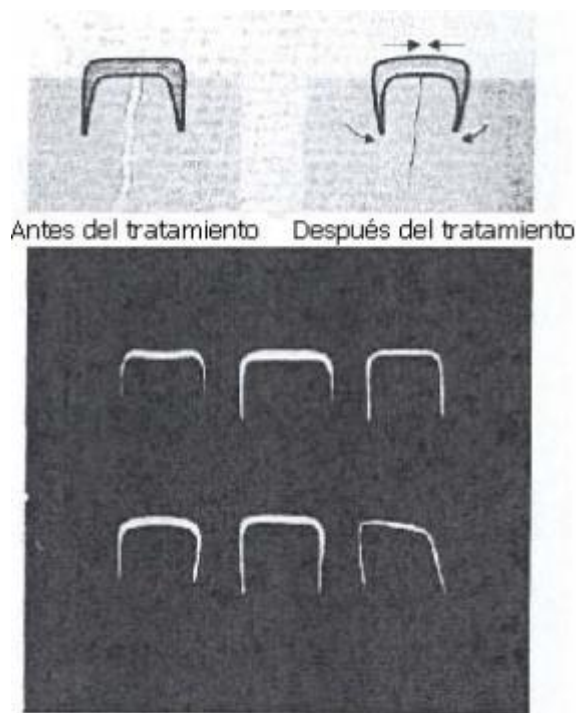
Se está estudiando su uso para la medicina por la facilidad que implica el uso de materiales con memoria, actualmente el nitinol es el mas empleado pero sigue siendo controversial por el níquel, como se dijo previamente. Destaca por sus propiedades mecánicas y por su resistencia a la corrosión

El NITINOL es ampliamente utilizado en hilos de ortodoncia, debido a que se pueden deformar en estado martensítico y por ende obtener la forma adecuada, pero deben ejercer fuerzas constantes

Con el calor de la boca intentan recuperar su forma austenítica de tal forma que ejercen un esfuerzo constante y recuperan la forma que necesitan, dando como resultado un esfuerzo constante logrando una dentadura con la forma buscada.

Otra aplicación son los implantes, el implante se introduce deformado para que pueda ingresar fácilmente y luego con el calor de la boca o del cuerpo recupera su forma logrando una gran sujeción como si fuera un hueso.

También es útil para cerrar fracturas, como si fuera una especie de engrapadora.



También es útil para mantener las arterias coronarias abiertas, cuando estas se encuentran obstruidas ya que pueden ingresar en un tamaño reducido y crecer con el calor del cuerpo humano.

PROPIEDADES MECANICAS:

Las propiedades mecánicas varían dependiendo de la fase existente (martensita o austenita).

En la zona martensítica tenemos una zona inicial donde obtenemos grandes deformaciones con tensiones bajas, en esta etapa se desmacha la martensita, esta etapa se considera recuperable con la temperatura.

Luego, una zona donde el esfuerzo para lograr deformaciones se incrementa ya que el material quedó totalmente desmachado, por lo tanto si seguimos deformando estamos alterando la estructura interna del material y no es recuperable con la temperatura.

Ovoide de vino – De concreto.