

# Módulos El Mundo de los Materiales

## MWM

---

### Compósitos

**Dr. Roberto Martínez Sánchez,**  
Dr. Ivanovich Estrada Guel, Dr. Carlos G. Garay Reyes





<https://www.mccormick.northwestern.edu/research/materials-research-institute/education/mwm.html>

## Qué son los Módulos?

Los Módulos son unidades prácticas, de investigación y basadas en el diseño para estudiantes de nivel medio superior. Están soportadas en la ciencia de los materiales y los principios de la nanotecnología. El enfoque interdisciplinario involucra a los estudiantes, añade relevancia a la currícula tradicional de enseñanza, y se ha demostrado que ayuda a mejorar el entendimiento y comprensión de la ciencia en los estudiantes.

---

A la fecha existen varios Módulos implementados en México,



Para iniciar esta serie de cursos, empezaremos con **Compósitos**.

# COMPÓSITOS

## MÓDULO

Publicado por



Módulos El Mundo de los Materiales

Un programa educacional de Ciencia y Tecnología basado en la indagación

## Equipo de los Módulos Mundo de los Materiales

### Autores

Matthew Hsu, Northwestern University

Laura Walhof, Glenbrook High School

Ken Turner, Escuela Superior de Schaumburg

### Prueba de Campo

Douglass Halsted  
Profesor de Química  
Evanston Township High  
School Evanston, IL.

Julie Collins, Profesora de Química  
Glenbrook North High School  
Northbrook, IL.

Ann Brandon, Profesora de Física  
Robert DeYoung, Profesor de Química  
Art Glaser, Profesor de Química  
Dave Hooper, Profesor de Química  
Debby Lojkezt, Profesora de Física  
Joliet West High School  
Joliet, IL.

Preston Hayes, Profesor de Química  
Andy Merutka, Profesor de Química  
John Matzko, Profesor de Química  
Glenbrook South High School  
Glenview, IL.

Laszlo Toth  
Profesor de Educación Técnica  
Niles North High  
School Skokie, IL.

Bill Lederhouse, Profesor de Física  
Ron Williams, Profesor de Química  
Krista Wright, Profesora de Biología  
Schaumburg High School  
Schaumburg, IL.

Howard Fogel, Profesor de Química  
Niles West High School  
Skokie, IL.

Karen Lindebrekke, Profesora de  
Biología y de Ciencias del Ambiente  
San Viator High School  
Arlington Heights, IL.

Debby Kray, Profesora de Química  
Hoffman Estates High School  
Hoffman Estates, IL.

Tammy Shibayama, Profesora de Química  
Sullivan High School,  
Chicago, IL.

Charles Jones, Profesor de Química  
Brian Zimmerman, Profesor de Química  
Hononegah High School,  
Rockton, IL.

Tom Young, Profesor de Física  
Waukesha High School  
Waukesha, WI.

## Programa MWM

Fundador  
Prof. Robert P. H. Chang  
Director  
Matthew Hsu  
Desarrollo de los Módulos  
Patrice L. Washington  
Diseño de Instrucciones  
Prof. Brian Reiser  
Coordinador del Programa  
Ruth Rozen  
Apoyo al Desarrollo de los Maestros  
Eric Baumgartner  
Difusión/Sitios de Multiplicación  
Barbara Pallegri  
Consultor en Educación  
Richard Goodspeed  
Red de Comunicación  
Lisa Singh  
Contralor  
Linda Steward

## Diseño del Producto

Diseño del Producto  
Editor, Elizabeth Kaplan  
Diseño de Gráficos, Maria Mariottini  
Reproducción, Dale Beda  
Producción, Patricia Parra

Derecho de Autor © 1996, 1998  
Northwestern University  
Este trabajo no puede reproducirse o transmitirse  
en ninguna forma o por ningún medio electrónico o  
mecánico, incluyendo fotocopias o grabaciones  
o por ningún sistema de almacenamiento o  
reproducción sin la previa autorización escrita de  
la Universidad Northwestern, a menos que esa  
reproducción esté permitida expresamente por la  
leyes federales del derecho de autor.



Este proyecto fue financiado en parte por la  
National Science Foundation  
Los derechos reservados en este documento son propiedad  
de la universidad y no necesariamente de la NSF.



# Programa Módulos “El Mundo de los Materiales” México

## Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C.

Leticia M. Torres Guerra  
Directora general  
Alfredo Aguilar Elguezabal  
Director Académico

## Coordinador Técnico del Programa

Luis E. Fuentes Cobas

## Responsable Técnico del Proyecto

Roberto Martínez Sánchez

## Titulares del Módulo de Compósitos

Roberto Martínez Sánchez  
María E. Montero Cabrera

## Profesores Investigadores del Programa:

Alfredo Aguilar Elguezabal  
Antonino Pérez Hernández  
Erasto A. Zaragoza Contreras  
Guillermo M. Herrera Pérez  
José M. Herrera Ramírez  
Lorena Alvarez Contreras  
Sión Federico Olive Méndez

## Edición del Manual:

Adriana Ramos Palomino  
Benjamín Batista Fierro  
Marcela S. Luévano Jáquez

Programa Patrocinado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y la Secretaría de Educación y Deporte del Estado de Chihuahua (SEyD)

## CONACYT

María E. Alvarez-Buylla Rocas  
Directora general

María J. Rhi Sausi Garavito  
Secretaria Técnica del Programa de Apoyos para Actividades Científicas, Tecnológicas y de Innovación

Miriam Carrillo Barragón  
Arely Sarahi Zaragoza Huerta  
Subdirección de Promoción y Difusión

## SEyD Chihuahua:

Carlos González Herrera  
Secretario de Educación y Deporte

Liliana Rojero Luévano  
Subsecretaria de Educación Media Superior y Superior

Gloria J. Muñiz Villalba  
Secretaria Técnica de la Comisión Estatal para la Planeación y Programación de la Educación Media Superior



## ¡Todo

está hecho de **algo!**

**Decimos que las cosas están hechas de materiales.**

El hombre ha experimentado con los materiales desde tiempos prehistóricos.



Al principio, las herramientas se hacían de piedra, posteriormente el hombre conoció la minería y el forjado de los metales para la fabricación de herramientas más versátiles y durables.

Hoy en día, los científicos y los ingenieros dedican tiempo y esfuerzo al estudio y desarrollo de nuevos y mejores materiales orientados a diversos propósitos.



**El concepto** detrás de los **COMPÓSITOS**  
Compósitos - son materiales hechos de dos o más sustancias visiblemente distintas - son los materiales en los que se centrará nuestra atención en este Módulo

**El concepto** detrás de los **COMPÓSITOS**  
Compósitos - son materiales hechos de dos o más sustancias visiblemente distintas - son los materiales en los que se centrará nuestra atención en este Módulo



# Y luego, ¿Que son los Módulos

**¡Todo**  
está hecho de **algo!**

**Decimos que las cosas están hechas de materiales.**

El hombre ha experimentado con los materiales desde tiempos prehistóricos.



Al principio, las herramientas se hacían de piedra, posteriormente el hombre conoció la minería y el forjado de los metales para la fabricación de herramientas más versátiles y durables.

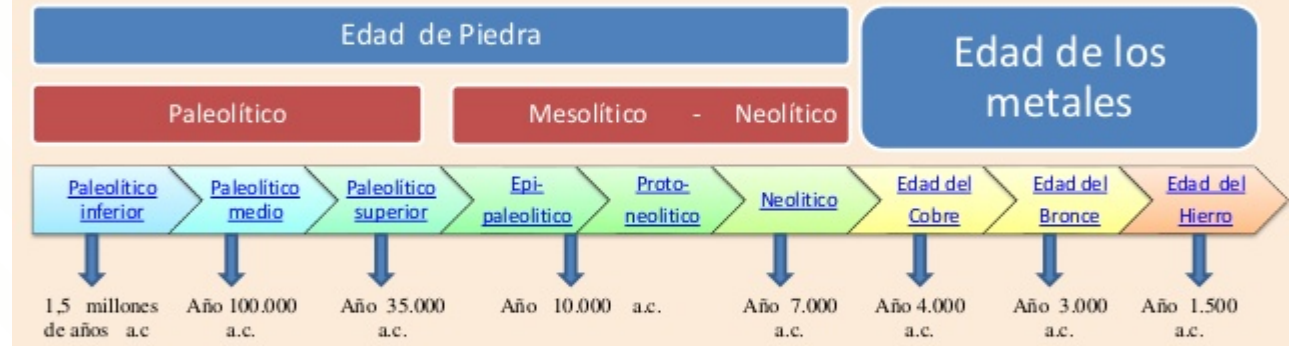


Hoy en día, los científicos y los ingenieros dedican tiempo y esfuerzo al estudio y desarrollo de nuevos y mejores materiales orientados a diversos propósitos.

**El concepto** detrás de los **COMPOSITOS**  
Compósitos - son materiales hechos de dos o más sustancias visiblemente distintas - son los materiales en los que se centrará nuestra atención en este Módulo

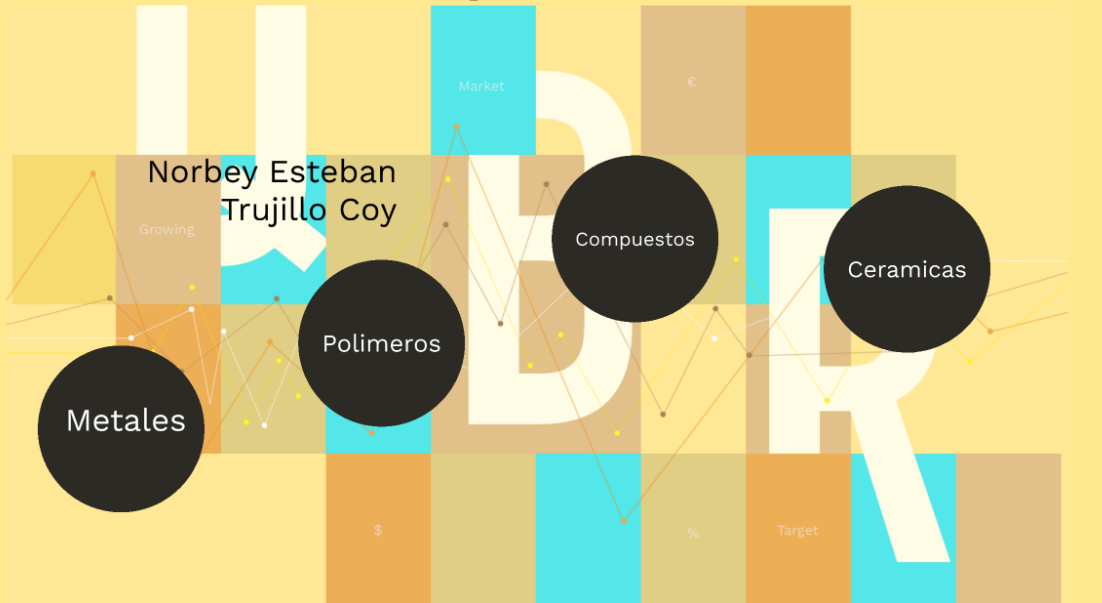


## PREHISTORIA

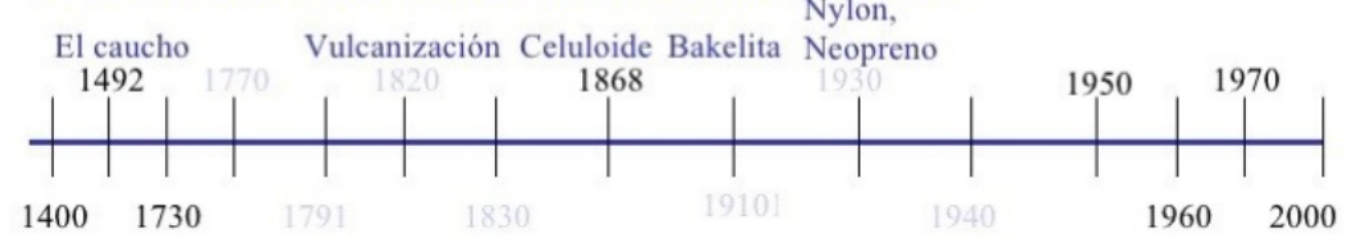




# Linea De Tiempo De Los Materiales



## DESARROLLO DE LOS PLÁSTICOS EN LA LÍNEA DEL TIEMPO EJE DEL DESARROLLO DE LOS POLÍMEROS



## EJE DE ACONTECIMIENTOS HISTÓRICOS



**IMAGINE ESTA ESCENA.**



Año **1211**, eres un temeroso soldado de infantería del ejército Jin, esperando la embestida final del poderoso líder guerrero Genghis Khan y su temible horda mongol.

A medida que la caballería montada del Khan se acerca, las flechas caen sin misericordia sobre los compañeros. Pero..... ¿Cómo pueden esas flechas volar tan lejos, saliendo de arcos tan pequeños fácilmente llevados por un arquero a caballo?

No hay tiempo para desconcertarse ...

Un poco peligroso..... Mejor regresamos a los Materiales Compuestos

---

## ***LA RESPUESTA ES SENCILLA Y LETAL...***

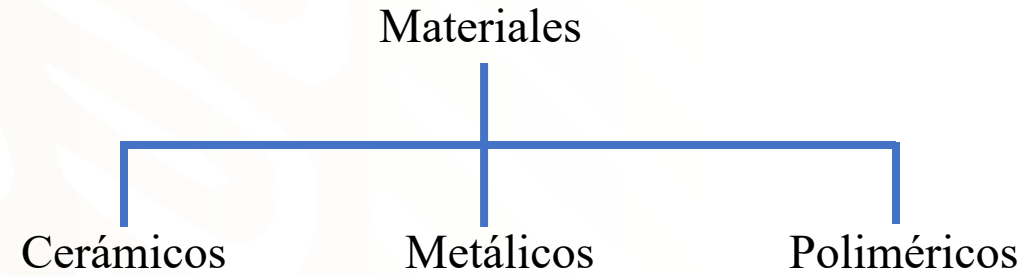
Si bien, los mongoles no puede atribuirse el mérito de haber inventado el arco compuesto (existe desde los griegos y romanos clásicos), sus arcos eran más pequeños, ligeros y convenientes a lomo de caballo. Estaban formados de un núcleo de bambú y revestido con cuerno de animal, una serie de tendones localizados la parte posterior proporcionaban una sobresaliente flexibilidad y alta resistencia a la tracción, brindando mayor potencia y alcance en la batalla.

Básicamente, es el producto del empleo de materiales compuestos sinérgicamente.

---



## Clasificación General de los materiales

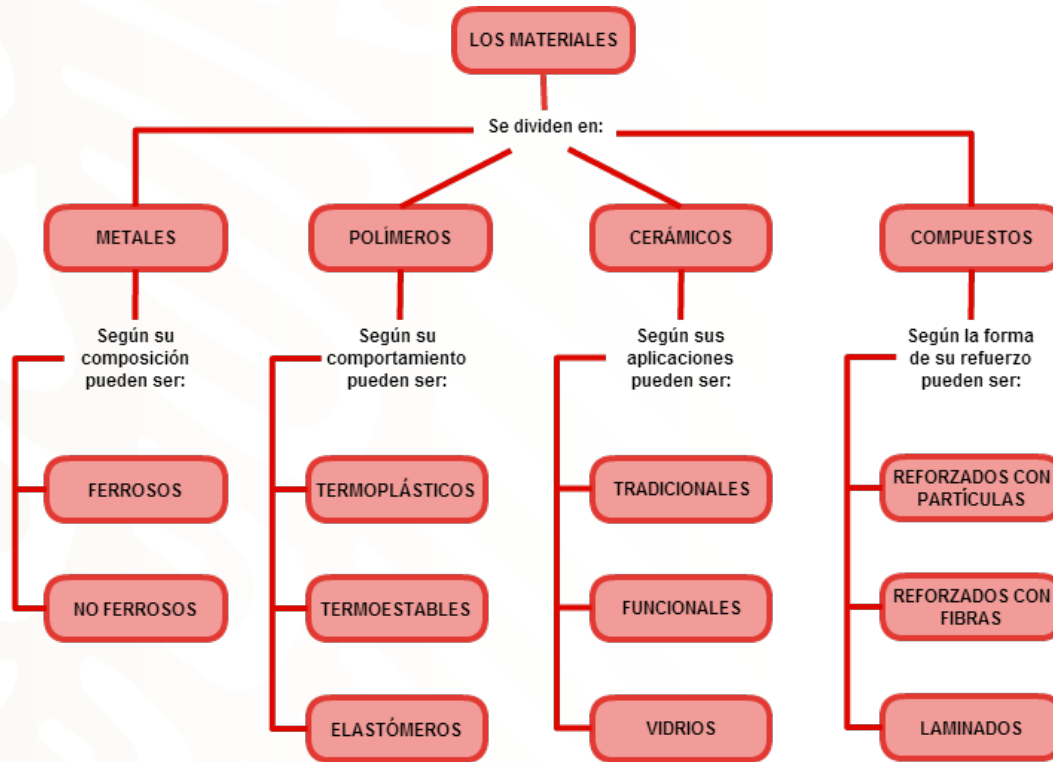


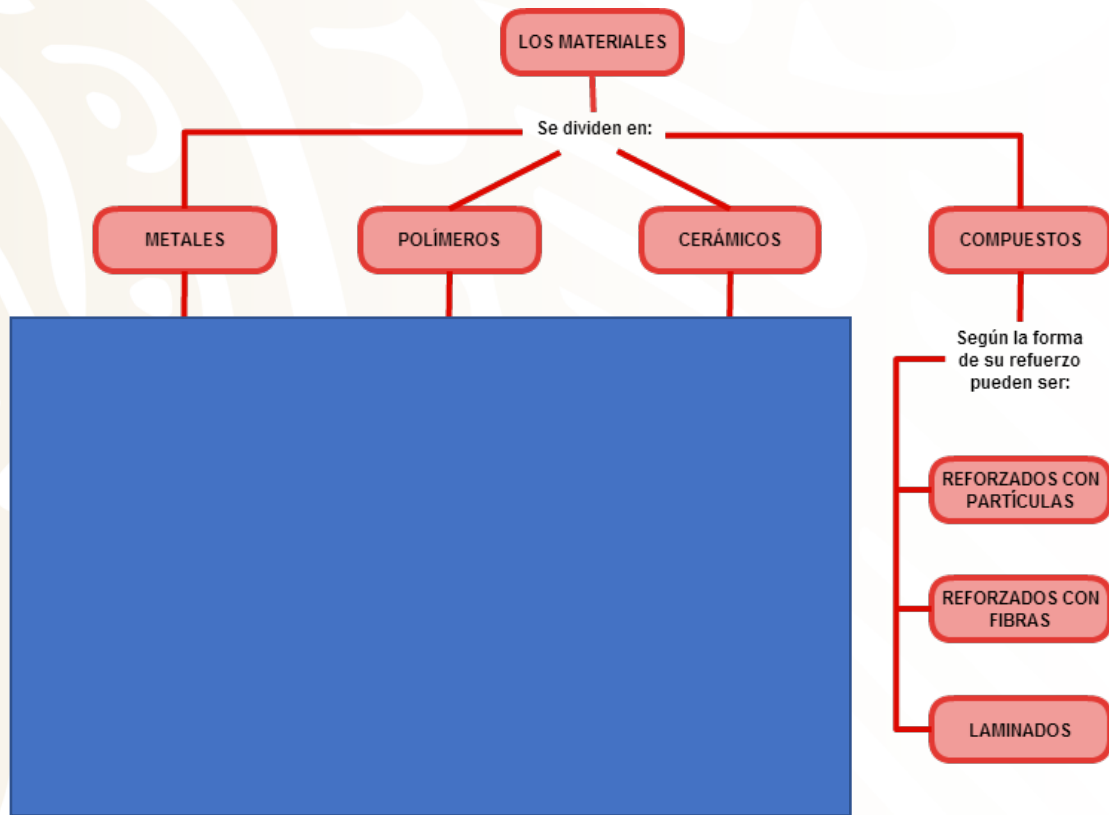
## MATERIALES COMPUESTOS

Se entiende por materiales compuestos aquellos formados por dos o más materiales distintos sin que se produzca reacción química entre ellos.

En todo material compuesto se distinguen dos componentes:

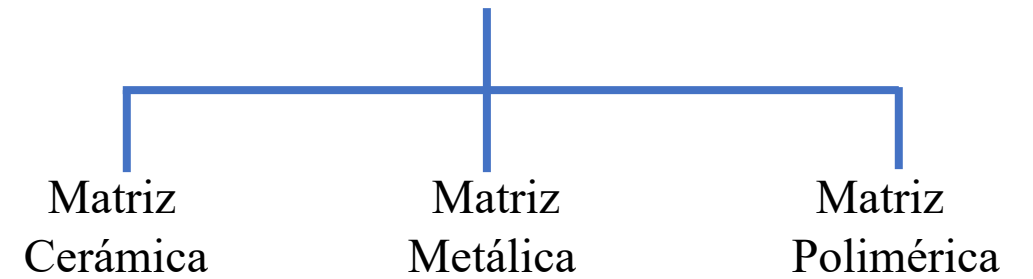
- La **MATRIZ**, componente que se presenta en fase continua, actuando como ligante
- El **REFUERZO**, en fase discontinua, que es el elemento resistente.





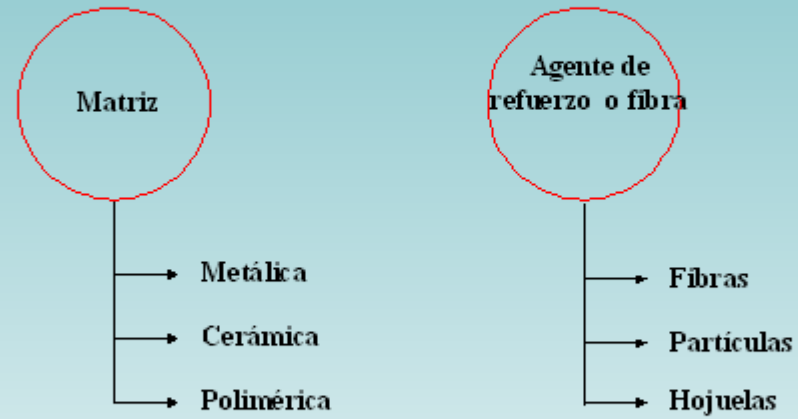
## Clasificación General de los materiales Según la matriz

### Materiales Compuestos



# Componentes de un Material Compuesto

- Los materiales compuestos están formados por dos fases:





## Definición,

En ciencia de materiales reciben el nombre de materiales compuestos aquellos materiales que se forman por la unión de dos o más materiales para conseguir la combinación de propiedades que no es posible obtener en los materiales originales.

En un material compuesto, el material principal se llama matriz y el material o materiales mezclados con la matriz se llaman materiales constituyentes.

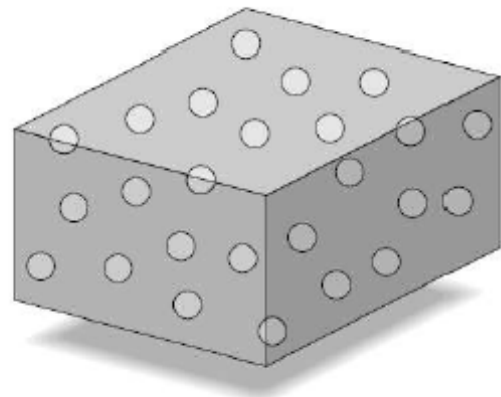
Por ejemplo, en las mezclas para alfarería descritas en la página anterior, la arcilla es la matriz y la paja es el material constituyente.

Los científicos clasifican los compósitos por la manera en que los materiales constituyentes están embebidos en la matriz, ya sea como partículas, láminas o fibras.

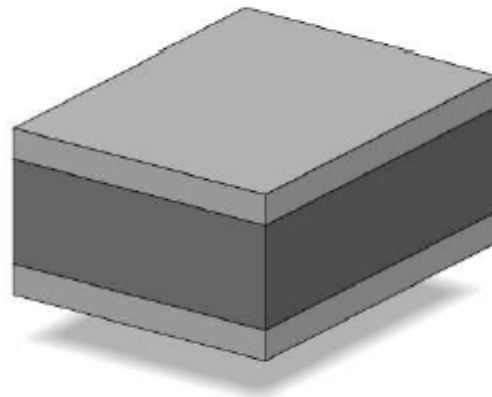
Se les denomina por tanto compósitos particulados a los materiales compuestos de partículas. Los materiales compuestos constituidos en capas se llaman compósitos laminados. Los materiales compuestos con fibras se llaman compósitos fibro- reforzados.



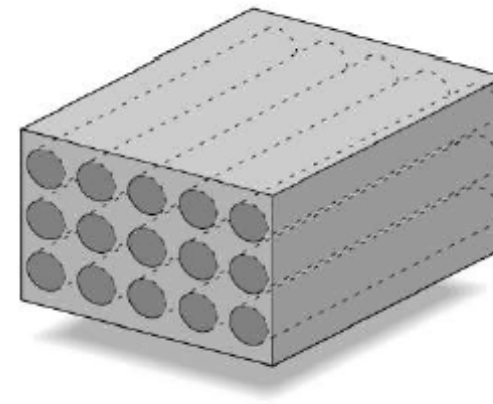
Los diagramas muestran las secciones transversales de estas tres categorías de compósitos.



**Compósito reforzado con Partículas**



**Compósito reforzado con Láminas**



**Compósito reforzado con Fibras**

## ACLARANDO CONCEPTOS...



Hay una diferencia importante entre un compósito y un objeto o una estructura.

Un material, ya sea puro o compósito, es la sustancia de la que está hecho un objeto o una estructura. Así, por ejemplo, una casa es una estructura, no un compósito. Pero una casa está construida con numerosos compósitos, incluyendo concreto, paneles de triplay, tablaroca, etc.

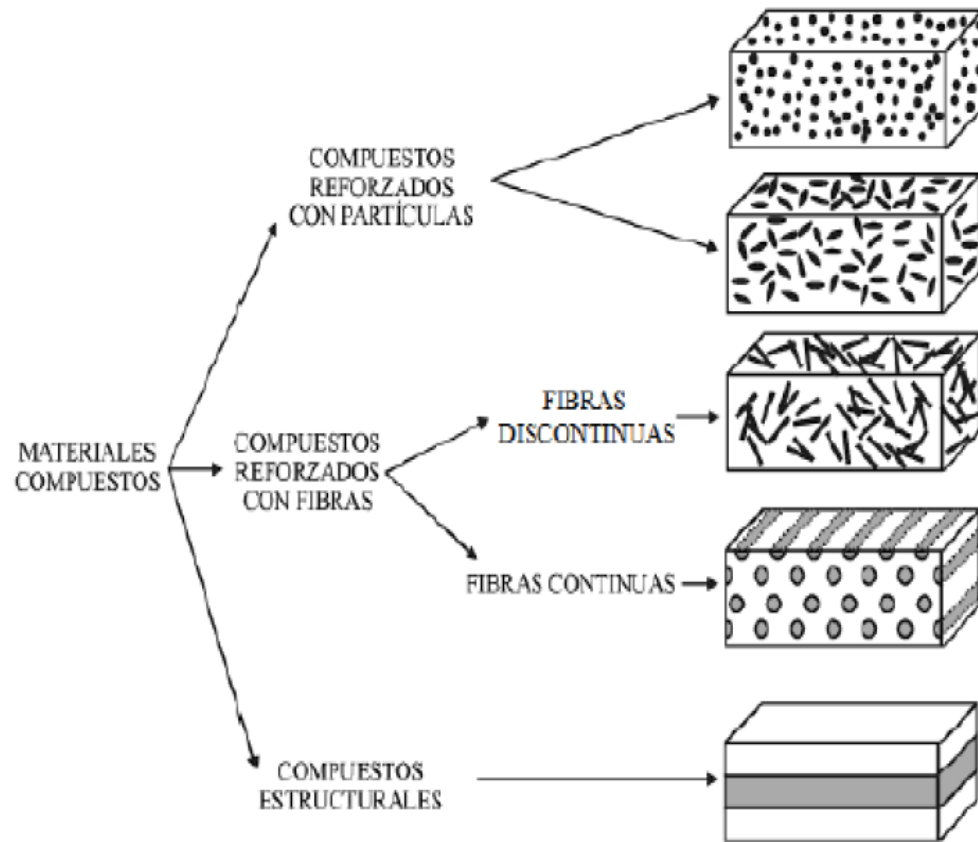


Figura 1. Clasificación de los materiales compuestos según el tipo de refuerzo. Fu

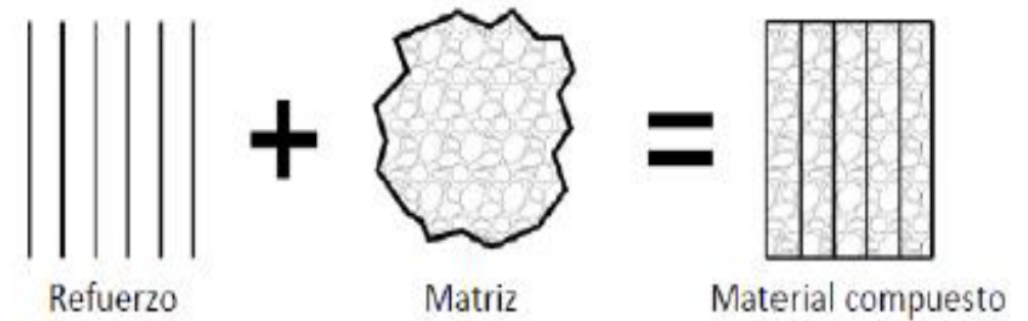


Figura 3. Componentes del material compuesto. Fuente: (Guerrero, Dávila, Galeas, Pontón, Sotomayor & Valdivieso, 2011)

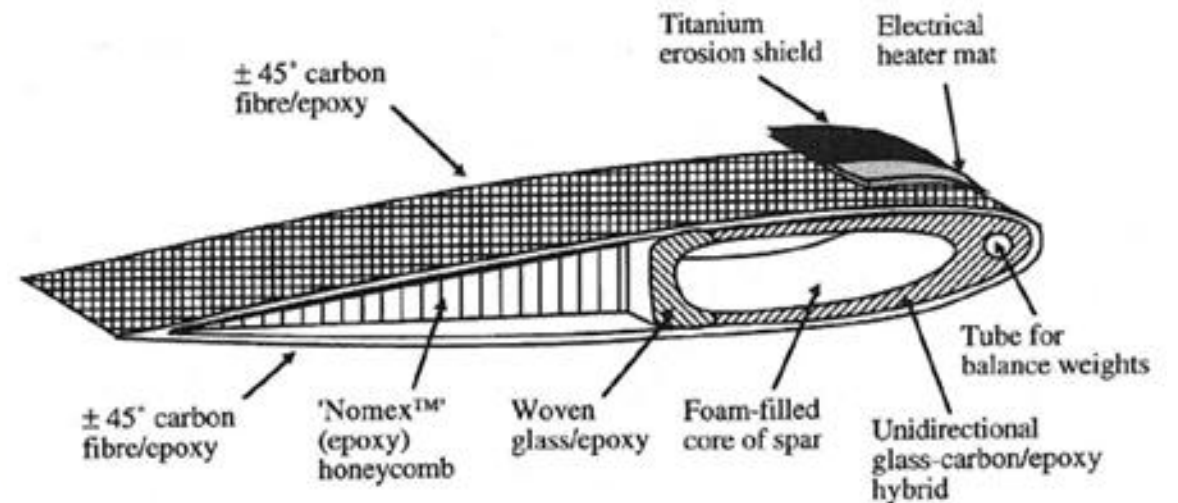


En los últimos años ha habido un rápido crecimiento de estos materiales, los que han ido reemplazando a otros materiales, en especial a los [metales](#).

Las aplicaciones de acuerdo a cada área son:

- **Aeronáutica.** Alas, fuselaje, tren de aterrizaje.
- **Automóviles.** Piezas de carrocería, alojamiento de faros, parrillas, parachoques bastidores de los asientos, árbol del motor.
- **Náutica.** Cascos, cubiertas, mástiles.
- **Química.** Conducciones, recipientes de [presión](#).
- **Mobiliario y equipamiento.** Estanterías, armazones, sillas, mesas, escaleras.
- **Eléctrica.** Paneles, aislantes, cajas de interruptores.
- **Deportes.** Cañas de pescar, palos de golf, piscinas, esquís, canoas.

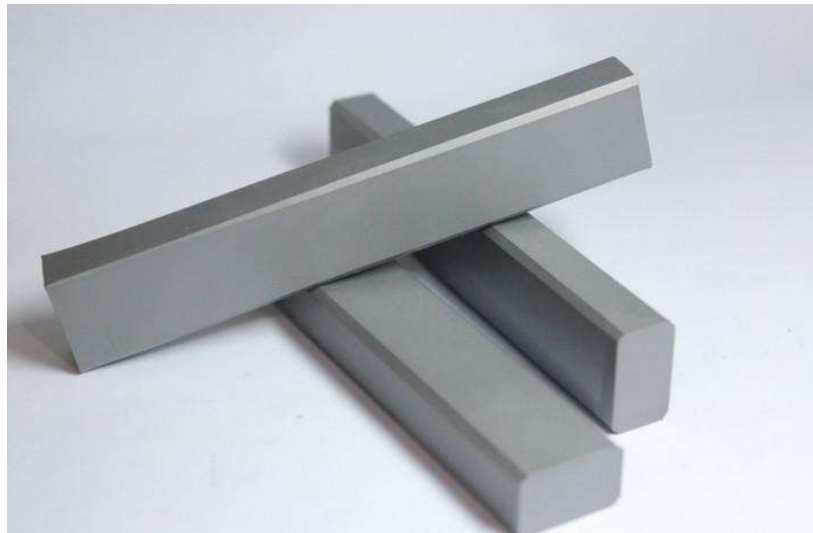
Fig.2 esquemática en sección a través de una construcción típica de compuestos para una pala de rotor de helicóptero.



## Reforzados con partículas

El refuerzo es tanto más efectivo cuanto más pequeñas sean las partículas y cuanto mejor distribuidas estén en la matriz. Además, la fracción de volumen de las dos fases influye en el comportamiento: las propiedades mecánicas aumentan al incrementarse al contenido de partícula.

Todos los materiales( metales, polímeros y cerámicas) se utilizan para fabricar MC con partículas grandes. Un ejemplo lo constituyen los compuestos metal-cerámica: los **cermets**. El cermet más común es el carburos refractarios cerámicos, como el carburo de tungsteno (WC) o el titanio (TiC), embebidas en una matriz metálica de cobalto o níquel (empleado como herramienta de corte para aceros endurecidos).



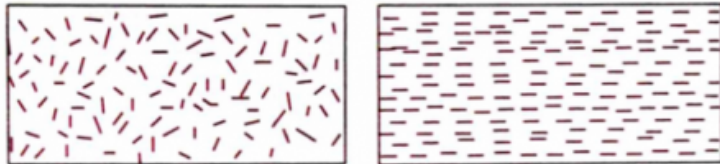
## Reforzados con fibras

Tecnológicamente, los materiales compuestos con fases dispersas en forma de fibras son los más importantes. Los mismos se subclasifican según la longitud de la fibra en:

- Continuas: cuando las fibras presentan la misma longitud que la dimensión de la pieza a reforzar.
- Discontinuas o fibras cortas: de longitud sensiblemente inferior a la dimensión de la pieza a reforzar.

En este último caso, la disposición u orientación relativa de las fibras y su concentración y distribución influyen, radicalmente, en la resistencia y en otras propiedades del material compuesto. Con respecto a la orientación existen dos situaciones extremas:

- Alineación paralela de los ejes longitudinales de las fibras
- Alineación al azar



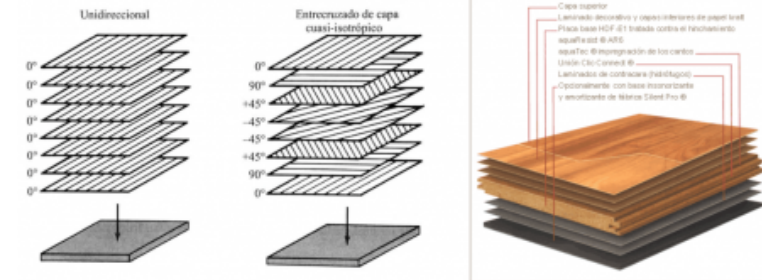
Raqueta de tenis constituida por una matriz polimérica reforzada con fibras de grafito.



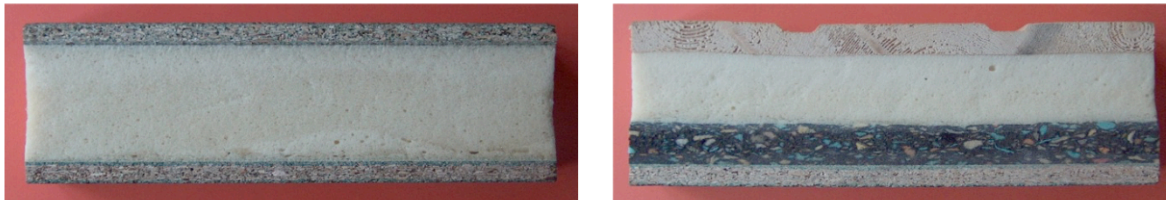
## Compuestos estructurales

Entre los compuestos estructurales destacan los laminados y los paneles sandwich.

Un material compuesto laminar consta de láminas o paneles que tienen una dirección preferente con elevada resistencia, apiladas y pegadas entre sí, de modo que la orientación de la dirección varía en cada una de las sucesivas capas.

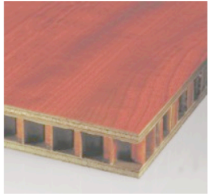
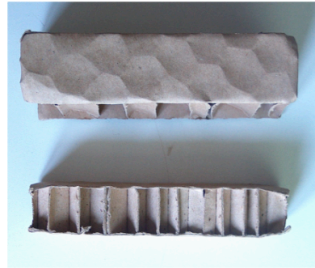
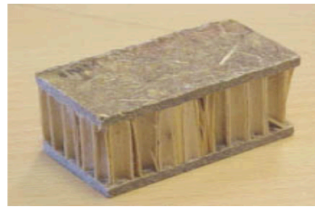
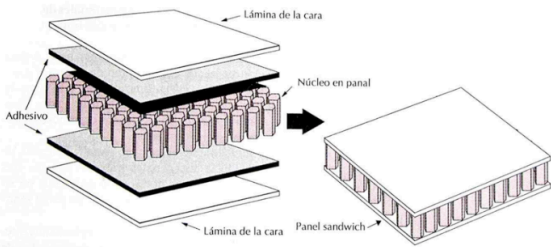


Los paneles sandwich consisten en dos láminas externas fuertes, o caras, separadas por una capa de material menos denso, o núcleo, que tiene baja rigidez y baja resistencia. Las caras resisten la mayor parte de las cargas en el plano y, también, cualquier esfuerzo de flexión transversal.



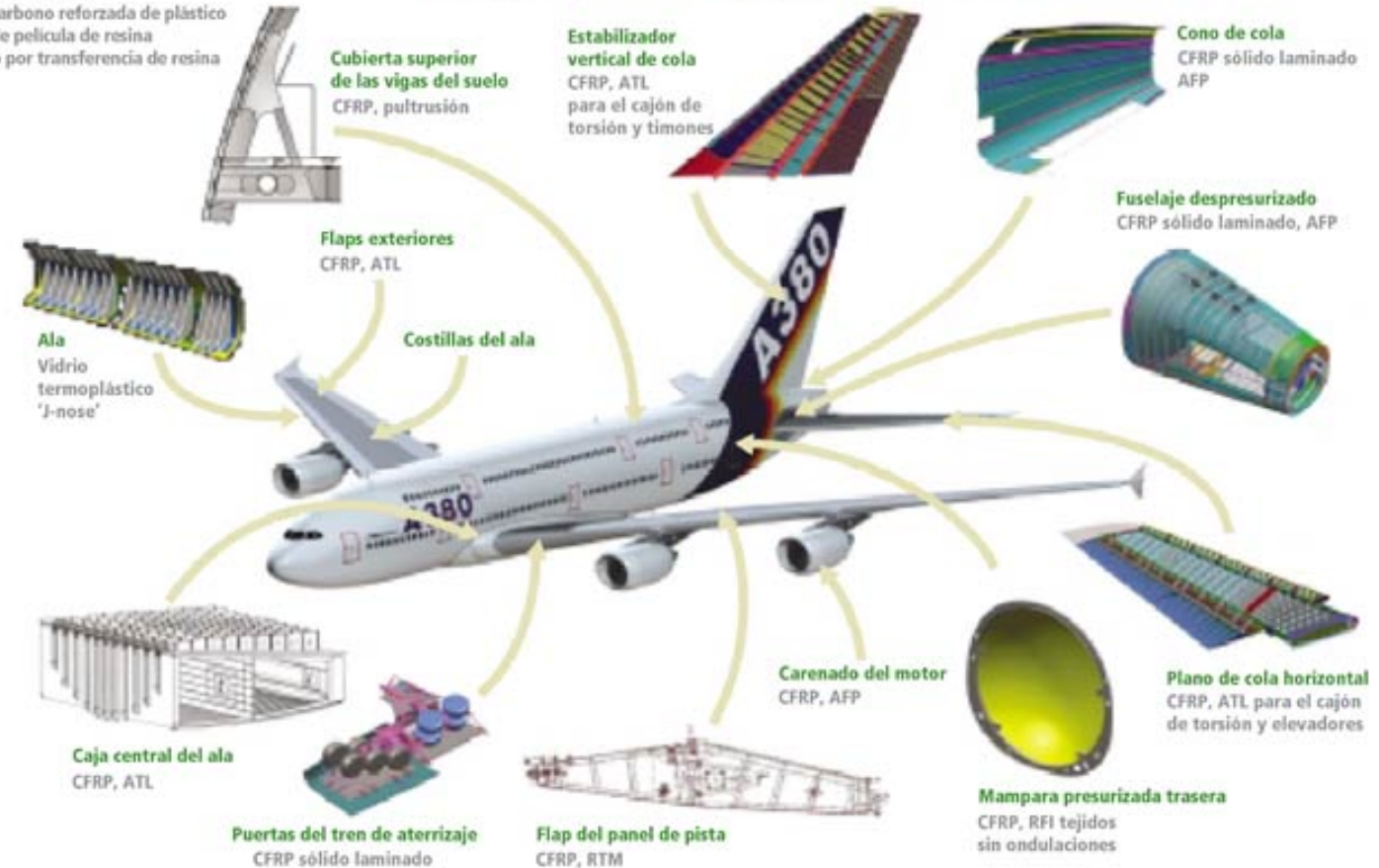
Estructuralmente, el núcleo tiene dos funciones. En primer lugar, separa las caras y resiste la deformación perpendicular al plano de la cara. En segundo lugar, aporta cierto grado de resistencia a cortante a lo largo de los planos perpendiculares a las caras.

# Otros ejemplos



- AFP Colocación automatizada de fibras
- ATL Encintado automático
- CFRP Fibra de carbono reforzada de plástico
- RFI Infusión de película de resina
- RTM Moldeado por transferencia de resina

## Principales piezas CFRP y aplicaciones termoplásticas



Como se mencionó anteriormente,

Las aplicaciones de acuerdo a cada área son:

- **Aeronáutica.** Alas, fuselaje, tren de aterrizaje.
  - **Automóviles.** Piezas de carrocería, alojamiento de faros, parrillas, parachoques bastidores de los asientos, árbol del motor.
  - **Náutica.** Cascos, cubiertas, mástiles.
  - **Química.** Conducciones, recipientes de presión.
  - **Mobiliario y equipamiento.** Estanterías, armazones, sillas, mesas, escaleras.
  - **Eléctrica.** Paneles, [aislantes](#), cajas de interruptores.
  - **Deportes.** Cañas de pescar, palos de golf, piscinas, esquís, canoas.
-

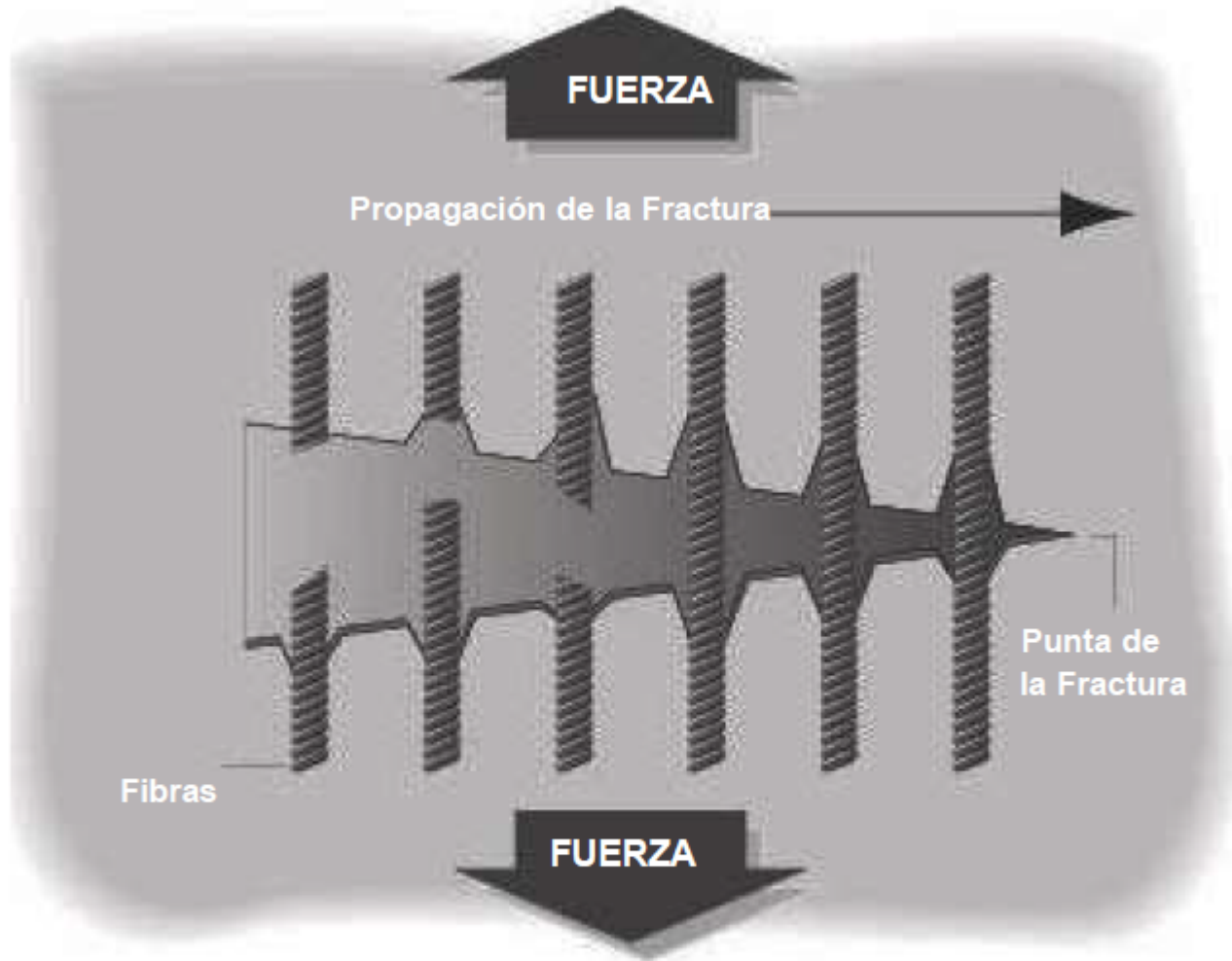
Video 1

Video 2

---



Cual es la razón de que las fibras de papel hagan al hielo más resistente?  
Esta figura puede ayudarnos a entenderlo.



Que es lo que importa en los Materiales Compuestos?  
Que se busca?



3

## INTRODUCCION

En la Actividad 2 se aprendió que los compósitos tienen una gran variedad de usos. Estos usos se basan en propiedades específicas del compósito.

**C** El  
**concepto**  
detrás de los  
**COMPÓSITOS**

En un compósito, dos o más materiales están combinados para formar un material con propiedades mejoradas sobre aquellas de la matriz y de los materiales constituyentes. Entre las propiedades que los científicos a menudo buscan mejorar están la resistencia y la rigidez de un material.

**Resistencia mecánica.-** Es la capacidad de los cuerpos para resistir las fuerzas aplicadas **sin fallar**.

**Rigidez.-** Es la propiedad que tiene un material o elemento estructural para oponerse a las deformaciones o, dicho de otra manera, la capacidad de soportar cargas sin deformarse o desplazarse excesivamente.

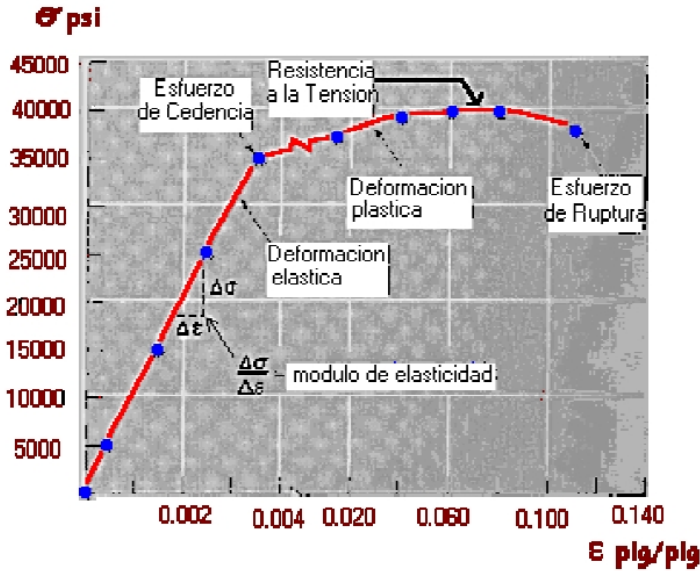
**Rigidez.-** Es una medida cualitativa de la resistencia a las deformaciones elásticas producidas por un material, que contempla la capacidad de un elemento estructural para soportar esfuerzos sin adquirir deformaciones.

Del Libro Compósitos MWM



Resistencia es la medida de la fuerza requerida para romper algo o causarle deformación u otro tipo de falla. Rigidez es una medida de qué tanto un material se deformará, flexionará o se elongará cuando una fuerza (o peso) se aplica o se cuelga del mismo.



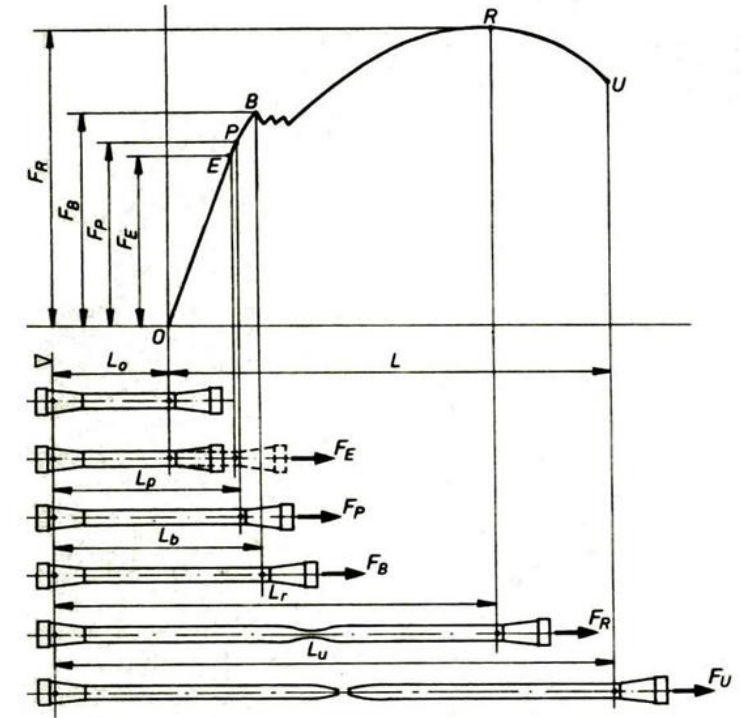


$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

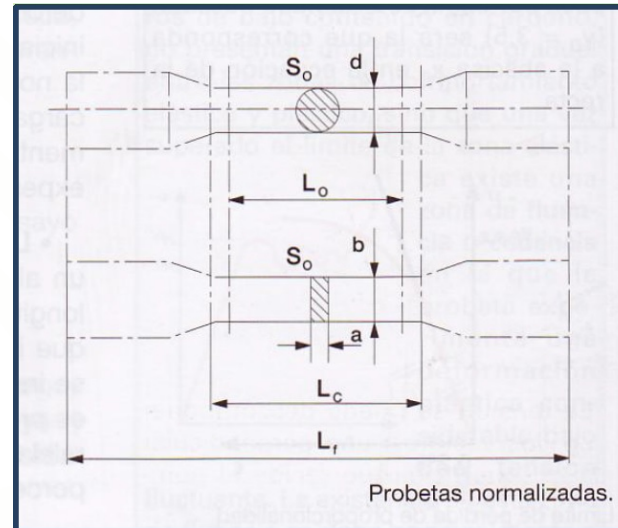
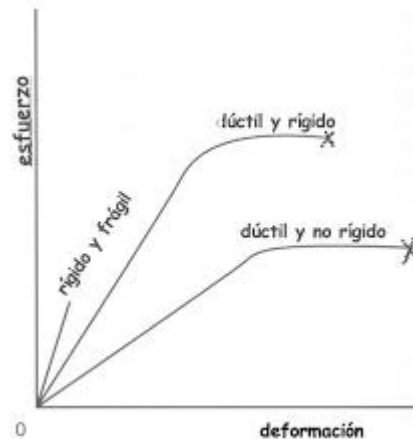
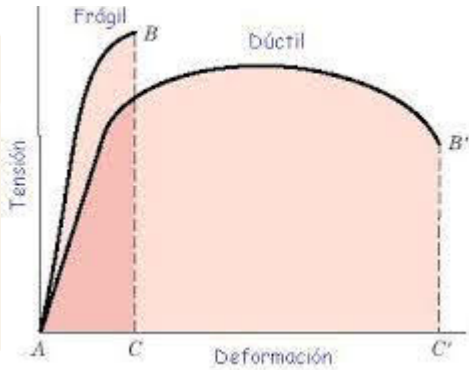
F = Fuerza,  $A_0$  = Área inicial

$$\epsilon = \frac{l-l_0}{l_0}$$

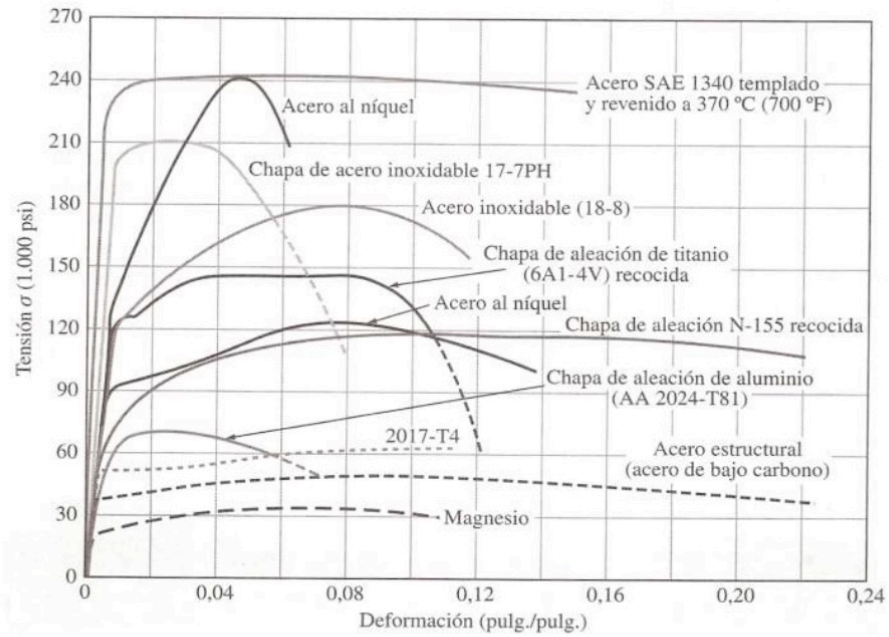
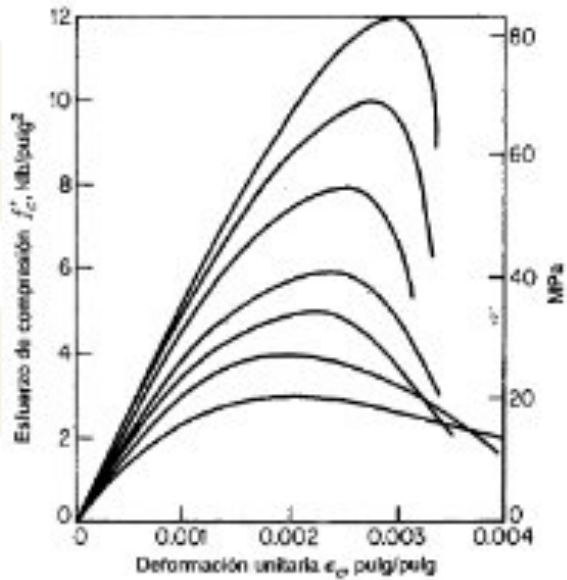
l = Longitud media,  $l_0$  = Longitud inicial



- E límite de elasticidad
- P límite de proporcionalidad
- B límite aparente de elasticidad o límite de fluencia
- R límite de rotura
- U rotura efectiva



Probetas normalizadas.



Curvas tensión deformación de algunos metales y aleaciones



**ASTM** Designation: E 8M – 00  
METRIC

## Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials [Metric]<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation E 8M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

ALGUNOS EJEMPLOS...

COMPÓSITOS NATURALES

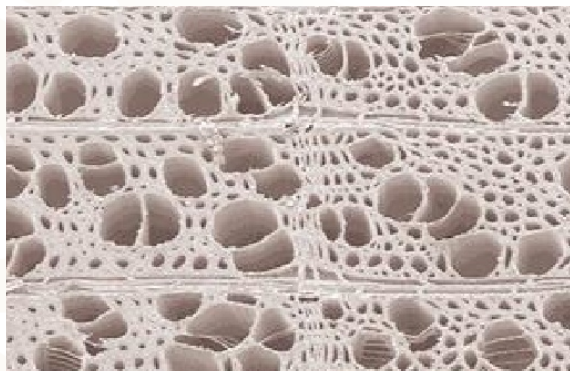
---

## *Compuestos naturales*



Un material compuesto se genera cuando dos o más materiales se combinan para crear un nuevo material con mejores propiedades comparados con los componentes originales. Piense que como dice *Joaquín Sabina*,  $2 \neq 1 + 1!!!$ . En materiales compuestos (compósitos), podríamos decir que  $1 + 1 = 3!!!$

Hablando de compósitos, existen grandes avances en el desarrollo y diseño; sin embargo, la **Naturaleza** llegó primero. Desde árboles y bambú hasta la humilde planta de maíz, muchos elementos estructurales clave en la **Naturaleza**, son materiales compuestos, los cuales están formados por la unión de fibras diferenciadas.



Peso del coche = 1500 kg = 14.700 N

$$\text{Masa} = \frac{W}{g} = \frac{14.700 \text{ N}}{9.8 \text{ m/s}^2} = 1500 \text{ kg}$$



$$KE_{\text{inicial}} = \frac{1}{2}mv^2$$

Velocidad = 50 km/hr = 13,9 m/s

$$KE = \frac{1}{2}(1500 \text{ kg})(13,9 \text{ m/s})^2$$

KE = 144.908 Joules

d = 1 pie = 0,305 m tras el impacto.



$$F_{\text{med}} d = -\frac{1}{2}mv^2$$

$$F_{\text{med}} = \frac{144.908 \text{ J}}{0,305 \text{ m}} = 475.418 \text{ N} = 48,6 \text{ toneladas!}$$

¿Qué efecto tendría sobre la fuerza de impacto si el coche fuera más rígido, colapsando en solamente 6 pulgadas?

Trabajo requerido para parar el coche

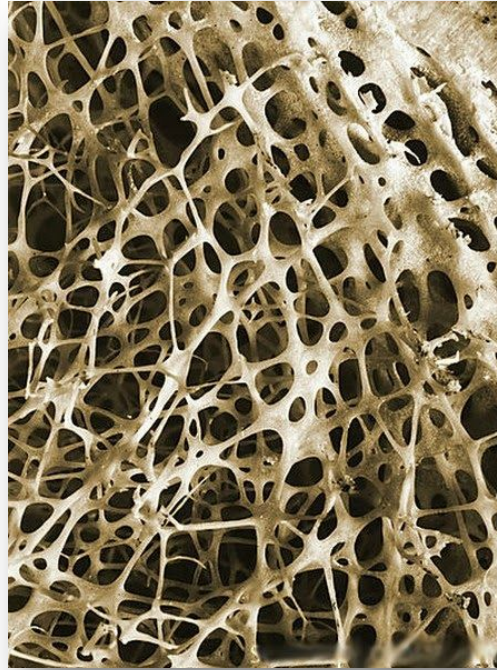
## La madera

Esta compuesta por células en forma de estructura tubular hueca, lo que permite una excelente relación resistencia/peso. Componentes principales:

- Celulosa: polisacárido rígido e insoluble en agua, con una resistencia a la tracción de 10,000 kg/cm<sup>2</sup> (superior a la del acero).
- Lignina: es la única fibra no polisacárida conocida. Actúa como aglomerante de la celulosa, presenta una resistencia a la compresión de 2,400 kg/cm<sup>2</sup> (superior a la del hormigón).

Estas células transportan la savia al árbol, sirven de sujeción y almacenan sustancias nutritivas

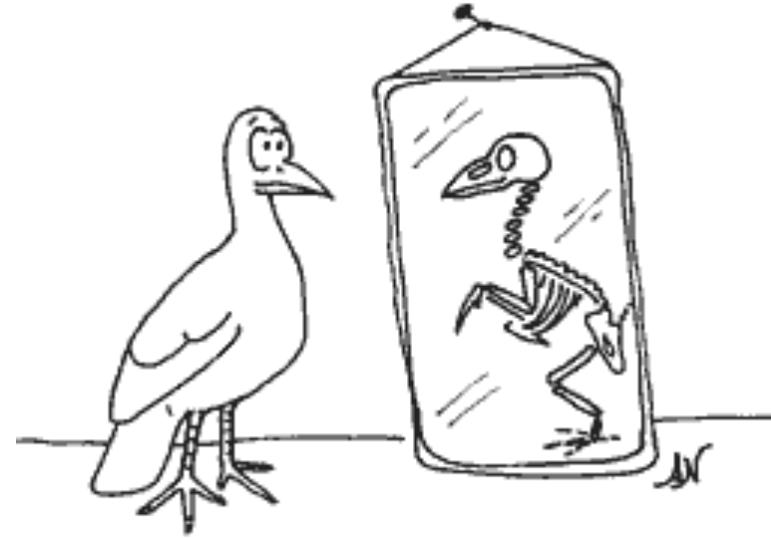
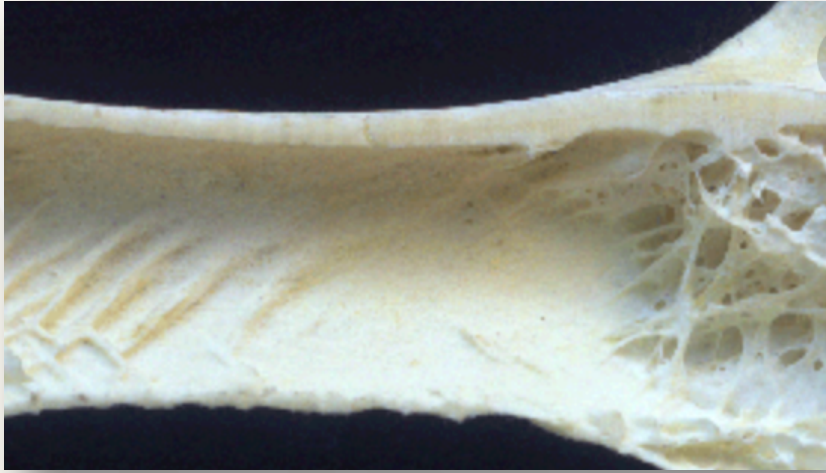
# *Huesos*



El tejido óseo es un material compuesto bifásico que presenta una fase mineral y una orgánica. Es un material natural formado por **fibras blandas y poco resistentes** de colágeno embebidas en una matriz de un **mineral frágil** denominado apatita.

Biomecánicamente, puede describirse como un elemento fuerte y vidriado incrustado en uno más débil y flexible. El cual es más fuerte en relación al peso de los constituyentes. Funcionalmente, sus propiedades mecánicas más importantes son resistencia y rigidez.

---



## *Caso especial...*

El esqueleto en las aves es por mucho, mas liviano que el de los mamíferos pues gran parte de sus huesos contiene aire (neumatización) en lugar de medula ósea y están comunicadas con el sistema respiratorio. El águila calva, de unos 4 Kg de peso, presenta un plumaje de 600 g mientras su esqueleto no supera los 300 g. Los huesos de las aves son mas ricos en minerales y una cortical muy fina con una red de trabéculas que aumentan mucho su resistencia.

Esto da a lugar a que sus huesos sean mas frágiles y menos elásticos por lo que se astillan fácilmente.

ALGUNOS EJEMPLOS...

COMPÓSITOS ARTIFICIALES

---



## *Adobe-Ladrillo*

El ladrillo ha ido evolucionando según las necesidades del hombre:



- Al comienzo se fabricaban procesando únicamente barro del suelo con un palo, después lo mezclaban con agua y más tarde lo amasaban hasta darle una forma más o menos rectangular, luego se secaban al sol.
  - Posteriormente, se descubrió que los ladrillos de barro seco, podían soportar cargas más pesadas y permanecer intactos durante más tiempo si se reforzaban con hierba seca o paja (**material compuesto**).
  - Después se realizó la invención del molde, la cocción, la introducción del esmaltado y la invención de difíciles diseños para unir juntas. Posteriormente se empezaron a marcar la parte superior con espinas de pescado o la huella del dedo pulgar del fabricante.
-



## ***Madera terciada (triplay)***

La historia de los compósitos industriales forma parte de la revolución industrial. Un antecedente es la patente para laminado de madera del ingeniero Samuel Bentham (1797) que consistía en laminar capas de chapa con pegamento para formar una pieza más gruesa, lo que produjo una versión temprana de la madera terciada industrial, que se convertiría en un artículo de consumo industrial.

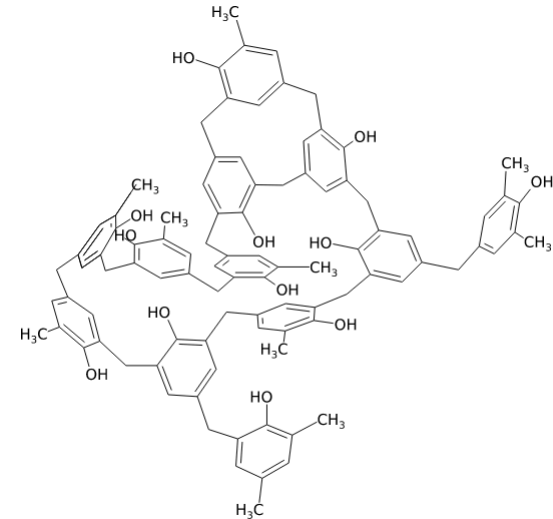
---



## *Baquelita*

A comienzos del siglo XX se descubrió el primer **plástico sintético reforzado con fibras** inventado por el químico Leo Baekeland (a partir de fenol y formaldehído). Las propiedades de durabilidad, aislamiento y resistencia al calor de la baquelita la convirtieron en la preferida de la emergente industria eléctrica (radios y teléfonos). Nació con ello la edad de los plásticos.

---

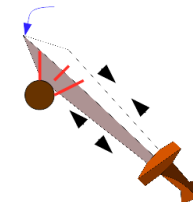




*Si quieres comprar una katana genuina, hecha a mano, usando técnicas tradicionales espera pagar pagar de **10 a 30K USD** ¿Qué la hace tan especial?*

Lo que distingue a estas espadas y cuchillos chef japoneses de alta calidad, es el proceso de creación de la hoja, que es doblando una fina lámina de metal una docena de veces o más.

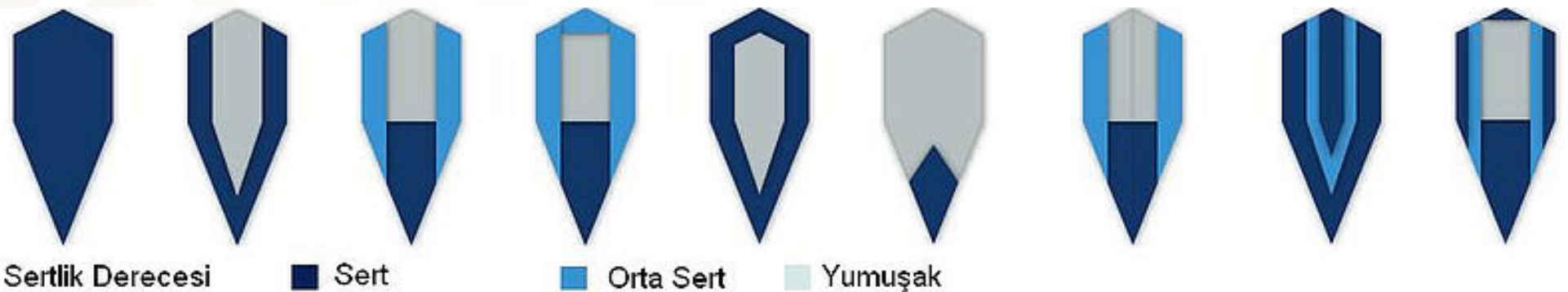
Para que? Debido a que la espada debe ser capaz de resistir simultáneamente fuerzas de tracción y empuje simultáneamente al golpear un objetivo (ver el diagrama), debe sr dura, pero al mismo tiempo flexible.



Sabemos que el acero es hierro con algunos átomos de carbono diseminados a través del metal; cuanto más carbono contiene, más duro suele ser. Desafortunadamente, cuanto más rígido se hace, más frágil se vuelve y un choque repentino lo agrietará fácilmente.

Entonces, ¿Qué haces si requieres un objeto lo suficientemente duro como para atravesar una armadura y lo suficientemente flexible como para no romperse bajo el impacto?

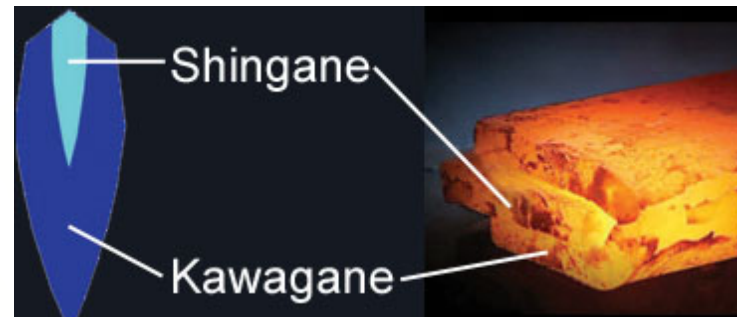
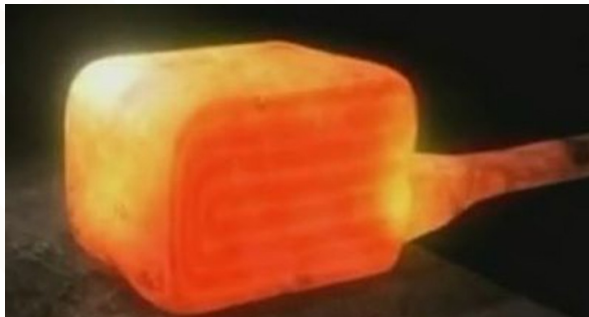
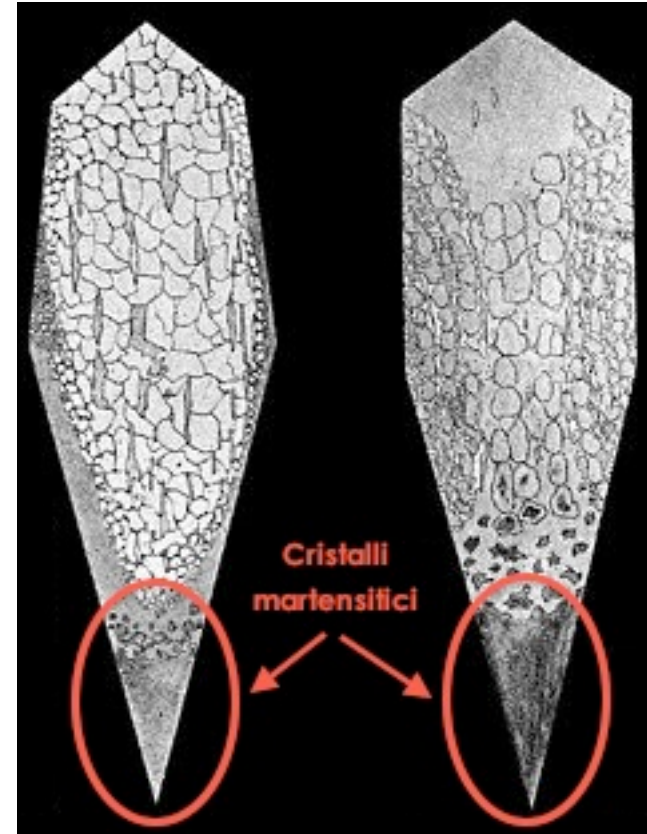
Un herrero capacitado debe aprender a identificar las diferentes categorías de acero de acuerdo a su contenido de carbono, separarlo y conocer el fin para utilizarlo. Los diseños tradicionales usan el metal más duro para la punta y el borde afilado (para aumentar el poder de corte) y el hierro más flexible para evitar que el arma se rompa. Esto requiere un laborioso proceso continuo de martilleo (forja), plegado y montura de los componentes del acero.



## Procesamiento según las técnicas antiguas

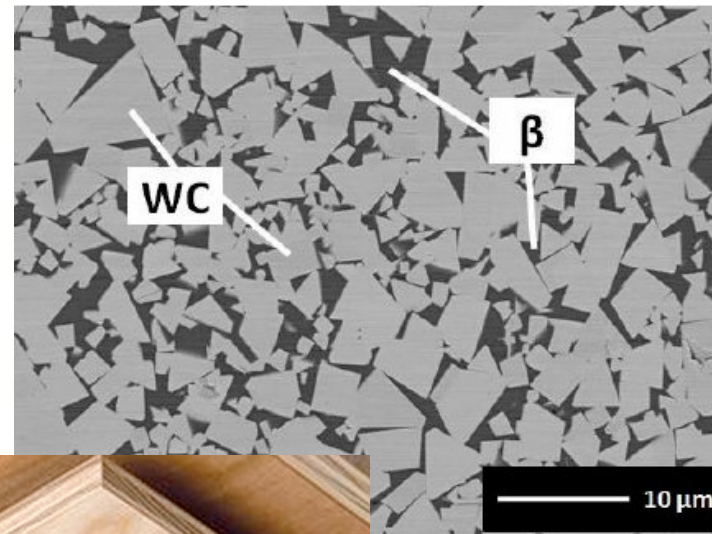
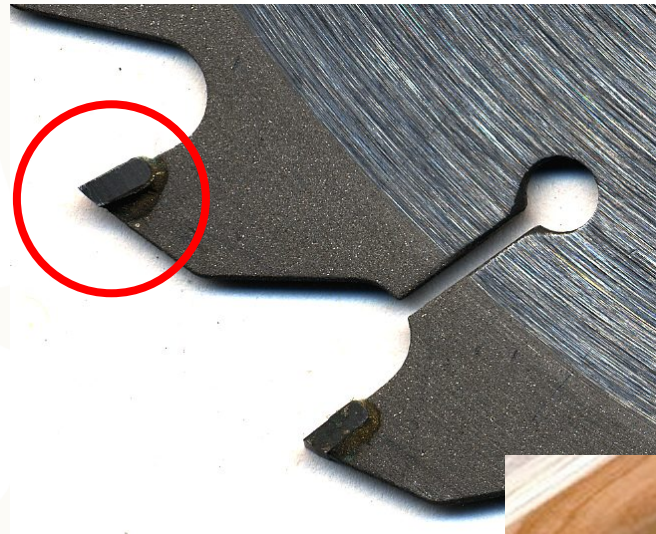
Las hojas están forjadas con *tamahagane*, un acero cuyas capas contienen diferentes cantidades de carbono. Esta hoja se calienta, ablanda y dobla cuidadosamente para eliminar impurezas e igualar el contenido de carbono en el metal. "Una sola capa se convierte en dos capas, luego dos se convierten en cuatro, cuatro se convierten en ocho y así sucesivamente. Al doblarlo 15 veces, se producen más de 32 mil capas".

El siguiente paso es darle forma a la espada, (comienza completamente recta). A medida que el acero se endurece a través de un proceso de calentamiento y enfriamiento repetidos (800 C e inmersión en agua) conocido como *yaki-ire*, las diferentes densidades en la estructura de la hoja crean su distintiva curva. Esta debe demostrar un equilibrio de fuerza, flexibilidad y durabilidad. Un taller puede tardar un mes en producir una sola espada, mientras que las adiciones más complejas (como empuñaduras y guardamanos) a veces llevan hasta un año.



Mencionamos anteriormente los **Compósitos reforzados** por partículas, pero....

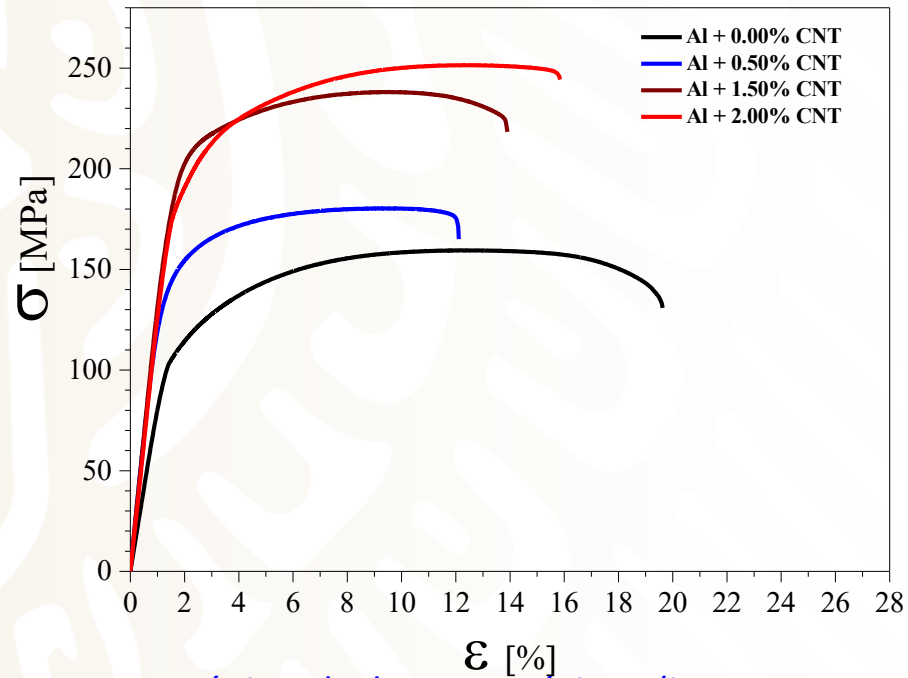
Como se ven por dentro?



Compósito laminado

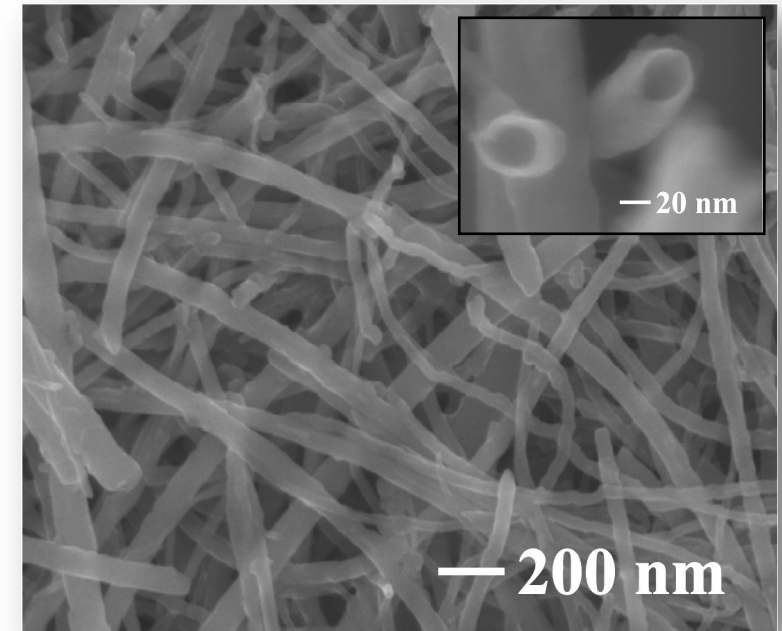
## Ejemplos de nuestro Laboratorio

### Materiales Compuestos Aluminio Nanotubos de Carbono (Al-NTC)

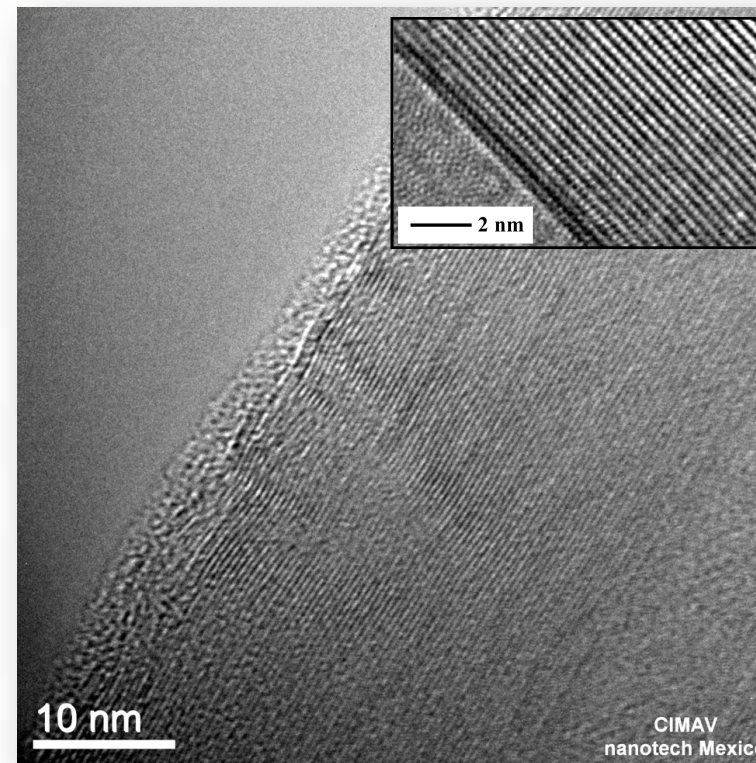
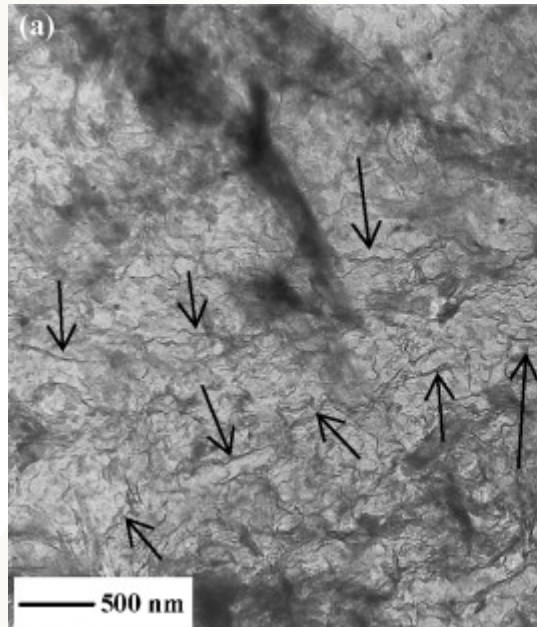


Respuesta mecánica de los compósitos (incremento de cedencia y moderada perdida de ductilidad).

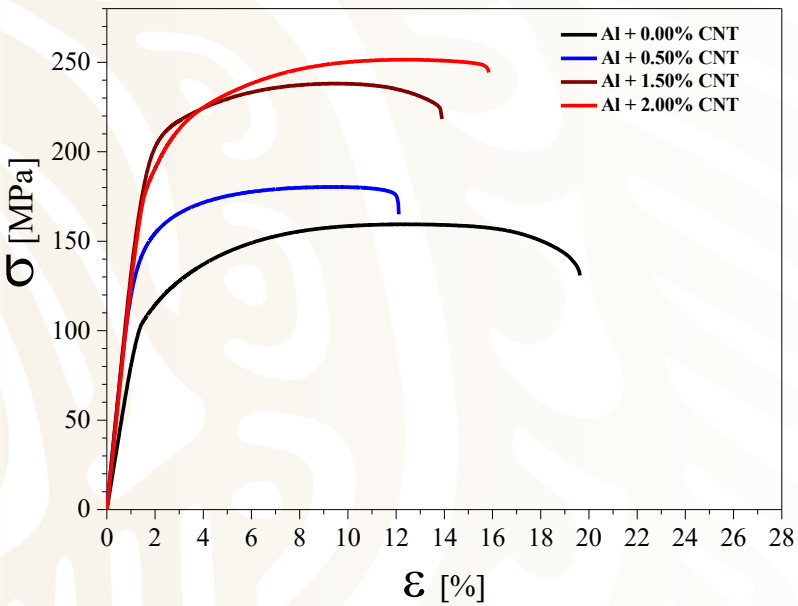
NTC



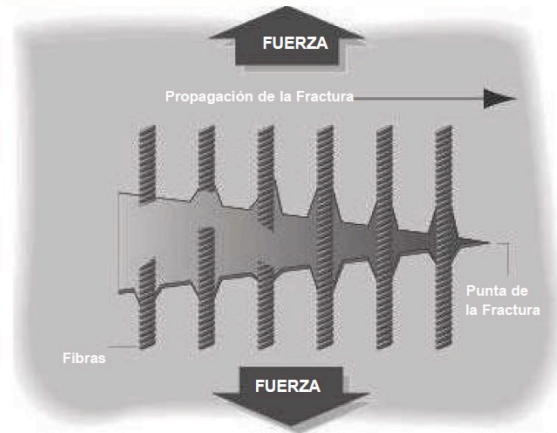




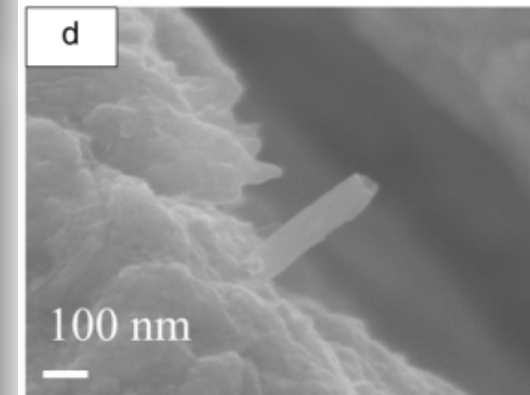
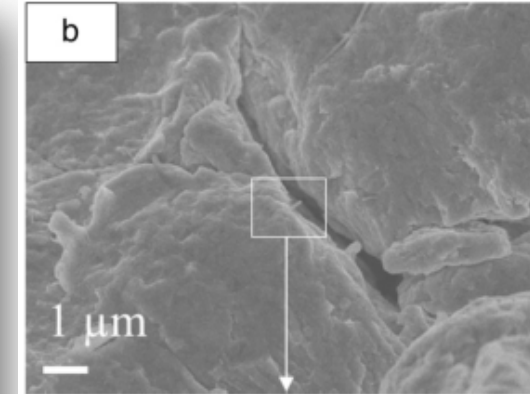
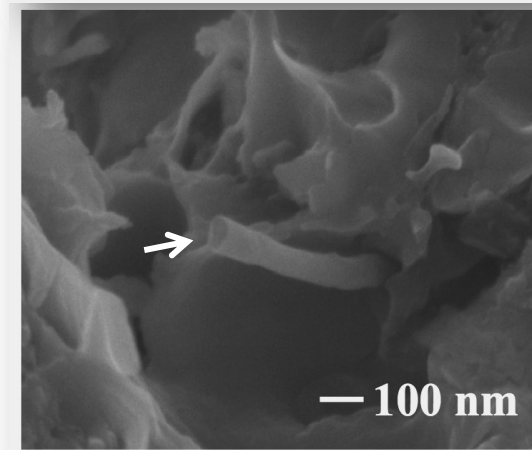
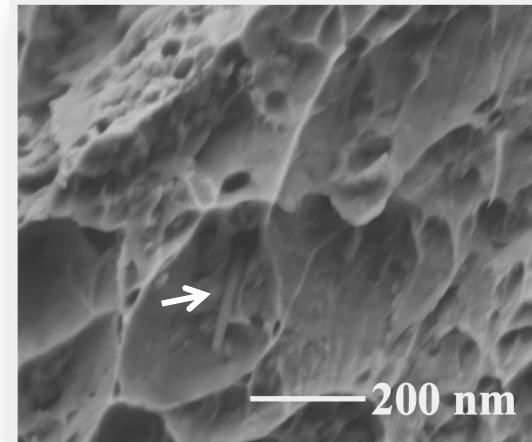
## Porqué se incrementa la resistencia mecánica?



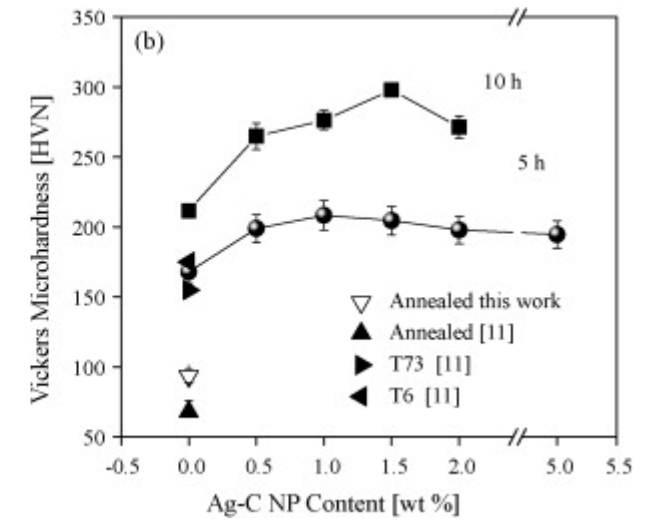
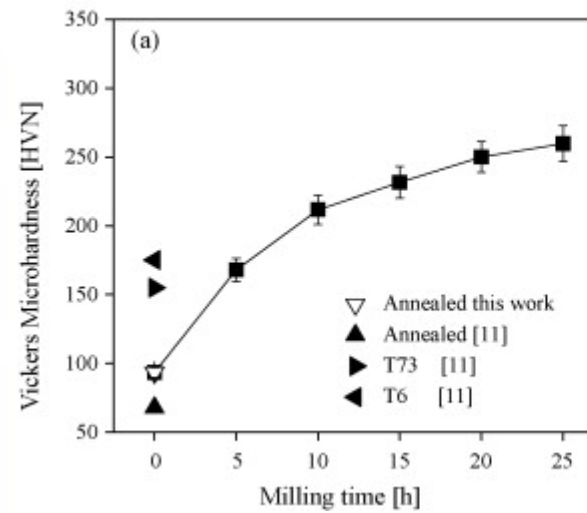
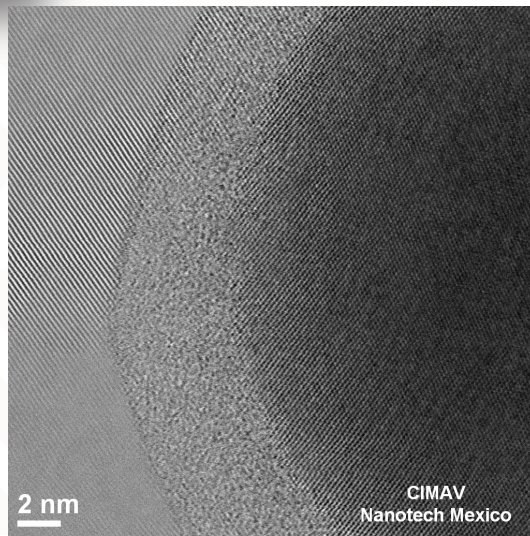
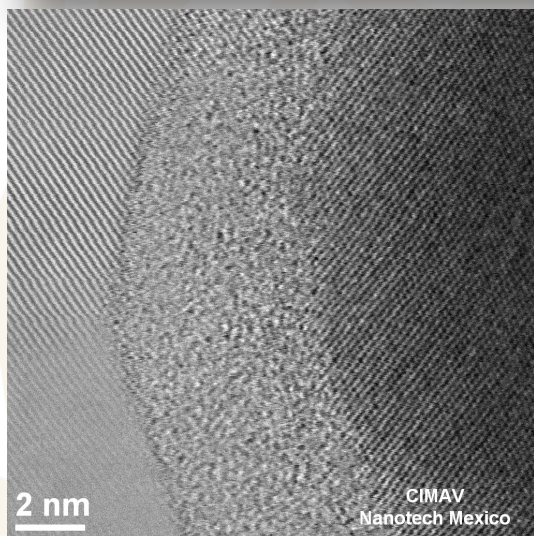
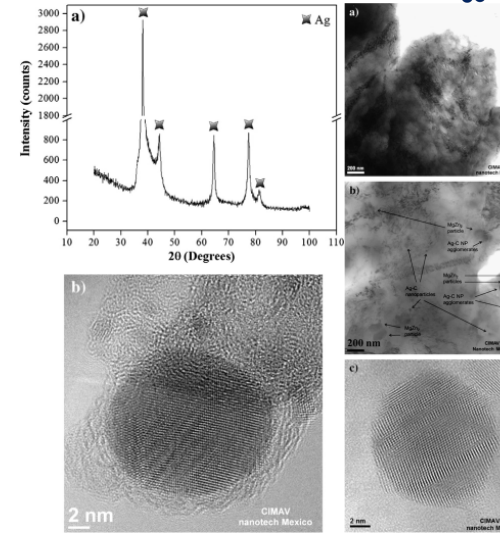
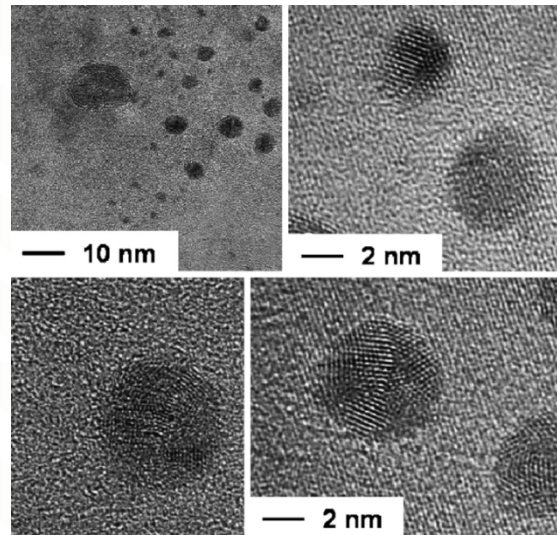
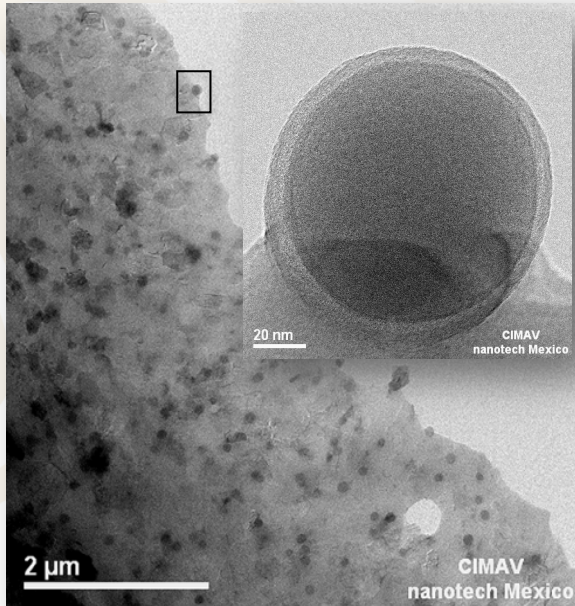
*Recuerdan esta figura?*



Al adicionar las fibras al aluminio se activan diferentes mecanismos de reforzamiento, **mencionemos 1**



# Materials Compuestos Aluminio Nanopartículas



¡GRACIAS!

[roberto.martinez@cimav.edu.mx](mailto:roberto.martinez@cimav.edu.mx)

