

INTRODUCCION A LOS BIOMATERIALES

GUIA DE ESTUDIO DE LA UNIDAD VI

BIOMATERIALES COMPUESTOS

6.1. Características y tipos de biomateriales compuestos de aplicación biomédica.

Es un material formado por una matriz (resina) y un refuerzo de fibras naturales (por lo general derivados de las plantas de celulosa). Con un amplio rango de usos favorables al medio ambiente, compuestos biodegradables, compuestos biomédicos, para las aplicaciones de ingeniería de tejidos y ortodoncia estética. A menudo imitan la estructura de la materia viva en el proceso, además de las propiedades de refuerzo de la matriz que se utilizó, pero que todavía proporciona biocompatibilidad, por ejemplo, en la creación de andamios en Ingeniería de Tejido óseo.

Los materiales compuestos se obtienen al unir dos o más materiales con la finalidad de alcanzar una combinación de propiedades que no pueden lograrse con los materiales originales por separado. Los biomateriales compuestos están formados por una fase discontinua, también llamada carga, de la cual dependen muchas de las propiedades mecánicas, y por una fase continua o matriz, la cual puede ser polimérica, cerámica o metálica.

En la actualidad, la mayoría de los biomateriales compuestos están formados por matrices poliméricas no reabsorbibles. A través de los años han venido realizando pruebas de polímeros no reabsorbibles con diferentes tipos de cargas, cerámicas, minerales, entre otros.

Los Biomateriales compuestos se caracterizan por el hecho de que están o son:

✓ **Reforzados con Fibras**

- Agente reforzante: fibras que sirven para reforzar la tracción (cerámicas, poliméricas o metálicas).
- Matriz: envuelve y liga las fibras, resiste las deformaciones (poliméricas y metálicas).

➤ **Aplicaciones**

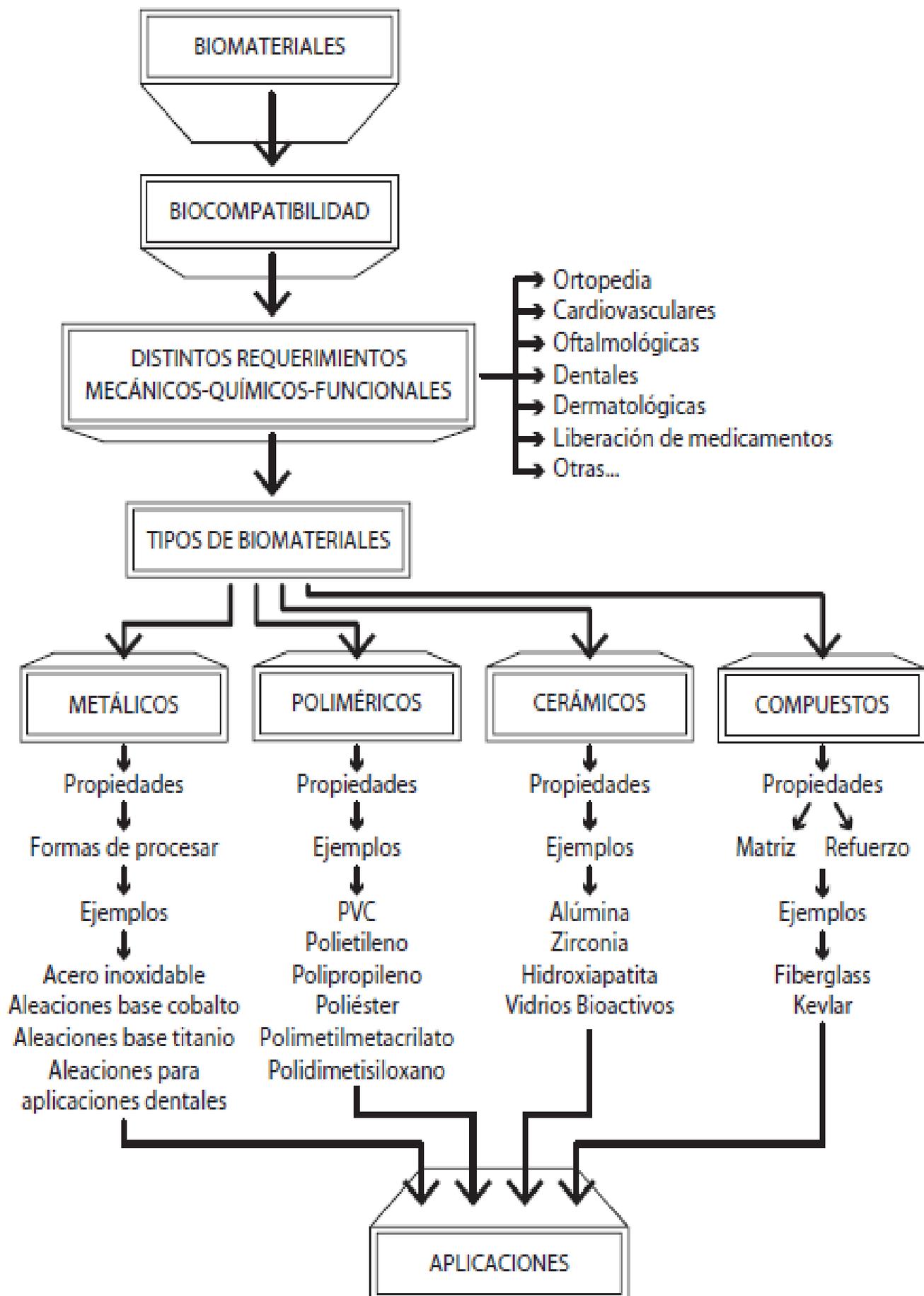
- Implantes de rodilla
 - a. Polietileno de alta densidad con incrustaciones de fibras de carbono.
 - b. Cemento óseo para cirugía de estabilización de columna vertebral
 - c. Cemento de PMMA reforzado con fibras microscópicas (alambres de metal).

✓ **Porosos**

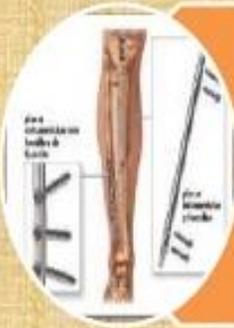
- Matriz con presencia de huecos.

➤ **Aplicaciones**

- Implantes
 - a. Permiten el crecimiento del tejido interno óseo.
 - b. Piel artificial.
 - c. Colágeno poroso Ligamientos artificiales.
 - d. Polipropileno trenzado Reemplazos de vasos sanguíneos.
 - e. Los materiales porosos fomentan el crecimiento de un nuevo revestimiento.



Biomateriales Compuestos



Un biomaterial compuesto es un sólido que contiene dos o más componentes unidos para formar una estructura íntegra.



Ejemplos de estos tipos de compuestos son los utilizados en el área médico-dental, tales como: inclusiones inorgánicas de cuarzo con una matriz acrílico-polímero; Componentes ortopédicos como pueden ser: inclusiones de fibra de carbón con una matriz de polietileno.

Esta definición incluye diversos tipos de materiales: metales, cerámicos o polímeros tanto naturales como sintéticos, que se usan para el diseño de materiales compuestos. Y se clasifican por su duración y forma de contacto con el organismo.



6.2. Propiedades

La consideración del sitio anatómico donde estará localizado un implante implica desafíos para el diseñador del dispositivo biomédico ya que se tendrán requerimientos particulares en cuanto a las propiedades del material a utilizar. Por ejemplo, en cuanto a las propiedades mecánicas, dependerá del tipo de dispositivo a fabricar. Una prótesis de cadera debe ser fuerte y rígida; un material para reemplazar un tendón debe ser fuerte y flexible; una válvula de corazón debe ser flexible y dura; una membrana de diálisis debe ser fuerte y flexible; un reemplazo de cartílago de articulaciones debe ser suave y elastomérico (estos materiales presentan alta elasticidad y se pueden deformar mucho antes de que se rompan, como por ejemplo, una banda elástica).

En cuanto a la durabilidad, un catéter sólo debe durar 3 días, una placa de fijación de huesos debe cumplir su función durante 6 meses o más; una válvula del corazón debe flexionar 80 veces por minuto sin romperse durante toda la vida del paciente (se espera que sea durante 10 años o más); una articulación de cadera no debe fallar bajo cargas pesadas durante más de 10 años.

Finalmente, en cuanto a lo relacionado con las propiedades en volumen, una membrana de diálisis debe tener una permeabilidad específica; la copa acetabular de la articulación de cadera debe tener lubricidad, y las lentes intraoculares deben tener una claridad y requisitos de refracción específicos. Para reunir todas estas características, se debe recurrir a las bases de la ciencia de materiales, la química, la física, etc.

Todo esto lleva a concluir que el tipo de material empleado en la construcción de un determinado dispositivo biomédico, depende de los factores químicos, físicos y mecánicos a los que se verá sometido. Al mismo tiempo que se ha llevado a cabo un gran esfuerzo para investigar cómo funcionan los biomateriales y cómo perfeccionarlos, muchos de ellos surgieron como resultado de una considerable experiencia acumulada, pruebas y errores, suposiciones inspiradas, y a veces azar.

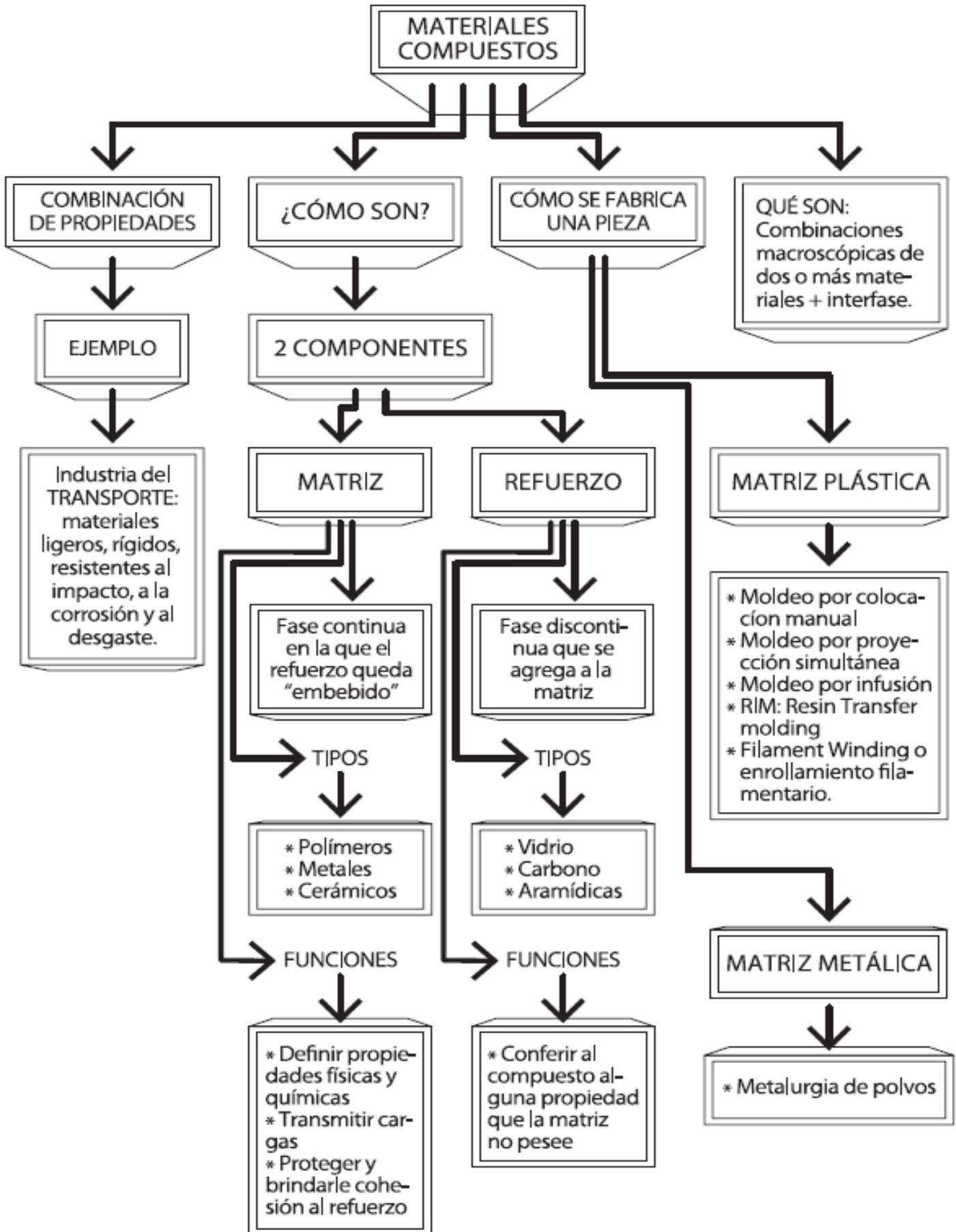
En la actualidad se dispone de una variedad de materiales que realizan satisfactoriamente las funciones biológicas en el cuerpo y los médicos pueden usarlos con razonable confianza, y la función en los pacientes es aceptable. Las complicaciones generadas por los dispositivos biomédicos, de existir, son menores que las que surgen de las enfermedades originales. Estos materiales pueden ser divididos en materiales metálicos, poliméricos, cerámicos y materiales compuestos. La matriz de un material compuesto:

- Soporta las fibras manteniéndolas en su posición correcta.
- Transfiere la carga a las fibras fuertes.
- Las protege de sufrir daños durante su manufactura y uso.
- Evita la propagación de grietas en las fibras a todo lo largo del compuesto.
- Es responsable del control principal de las propiedades eléctricas, el comportamiento químico y el uso a temperaturas elevadas del compuesto.

Las matrices poliméricas son las más comúnmente utilizadas. La mayoría de los polímeros, tanto termoplásticos como termoestables están disponibles en el mercado con el agregado de fibras de vidrio cortas como refuerzo. Los compuestos de matriz metálica incluyen aluminio, magnesio, cobre, níquel y aleaciones de compuestos intermetálicos reforzados con fibras cerámicas y metálicas.

Mediante los compuestos de matriz metálica se cubre una diversidad de aplicaciones aeroespaciales y automotrices. La matriz metálica permite que el compuesto funcione a altas temperaturas pero, a menudo, la producción de una pieza de este tipo de materiales compuestos es más costosa que la de una pieza de compuestos de matriz polimérica.

En los materiales compuestos, también, pueden utilizarse como matriz materiales cerámicos frágiles. Los compuestos de matriz cerámica tienen buenas propiedades a temperaturas elevadas (hasta algunos miles de grados centígrados) y son más livianos que los de matriz metálica a igual temperatura.



Además de las características de las fibras y de la matriz, las propiedades de los materiales compuestos dependerán de cómo sea la interfase (la región de contacto) entre estos dos componentes. Si la interfase es débil, la transferencia de carga de la matriz a la fibra no será eficiente y/o bien será la matriz la que termine soportando las cargas (y fallando, puesto que no es muy resistente), o se producirán huecos entre la matriz y las fibras, lo cual llevará a la rotura de la pieza.

Lograr una buena adhesión entre la fibra y la matriz no es tarea fácil, ya que en general se trata de materiales de familias diferentes (polímero - vidrio, metal - cerámico) y la buena adhesión depende del contacto íntimo de los átomos en la superficie de uno y otro componente. Es por eso que existe toda un área de desarrollo de aditivos con los cuales recubrir a las fibras para que resulten más compatibles con la matriz, y aumenten la adhesión entre los componentes del material compuesto.

El Material de Refuerzo

El refuerzo puede ser en forma de partículas o de fibras. Como regla general, es más efectivo cuanto menor tamaño tienen las partículas y más homogéneamente distribuidas están en la matriz o cuando se incrementa la relación longitud/diámetro de la fibra. Si bien, como veremos más adelante, los materiales de refuerzo pueden presentarse en forma de partículas en un amplio grupo de materiales compuestos, los más numerosos y ampliamente utilizados son aquellos reforzados con fibras.

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

- **Fibra de vidrio**

Cuando sometemos a estos materiales frágiles a tensiones, los defectos presentes al azar en el sólido, provocan la ruptura del mismo a esfuerzos mucho menores que su resistencia teórica. Para solucionar este problema, estos materiales son producidos en forma de fibras de manera tal que, si bien existen esos mismos defectos orientados al azar, estos se observarán en algunas de las miles de fibras, mientras que el resto podrá dar cuenta de la resistencia esperada del material sin defectos. Sin embargo, las fibras sólo pueden exhibir esta alta capacidad de resistir esfuerzos en la dirección de las mismas, como ocurre con los filamentos que forman una soga.

Luego, las propiedades mecánicas son generalmente anisotrópicas y varían mucho según el grado de ordenamiento de las fibras en el interior del material: ordenadas uniaxialmente, parcialmente ordenadas y desordenadas. Son las fibras más comúnmente utilizadas, en principio porque su costo es menor a las de carbono o aramídicas. Las matrices más comunes son las resinas de poliéster. Tienen una densidad y propiedades a la tracción comparable a las fibras de carbono y aramida pero menor resistencia y módulo de tensión, aunque pueden sufrir mayor elongación sin romperse.

- **Fibra de carbono**

La estructura atómica de la fibra de carbono es similar a la del grafito, consiste en láminas de átomos de carbono arreglados en un patrón regular hexagonal. La diferencia recae en la manera en que las láminas hexagonales que forman el grafito se inter cruzan. El grafito es un material cristalino en donde las hojas se sitúan paralelamente unas a otras regularmente. Cuando uno escribe, mayormente lo que pasa es que las hojas se deslizan fácilmente unas sobre otras, transfiriéndose al papel.

Las uniones químicas entre las hojas son relativamente débiles, dándoles al grafito su blandura y brillo característicos. La fibra de carbono es una forma de grafito en la cual estas láminas son largas y delgadas. Los manojos de estas cintas se empaquetan entre sí para formar fibras, de ahí el nombre fibra de carbono.

La fibra de carbono es un material amorfo: las cintas de átomos de carbono están azarosamente empaquetadas o apretadas, juntas. Esto hace que ante una tensión de tracción, las hojas se “traben” unas con otras, previniendo su corrimiento entre capas e incrementando, grandemente, su resistencia.

La fibra de carbono que utilizamos en la actualidad como refuerzo de materiales compuestos se fabrica a partir de un polímero llamado poliacrilonitrilo (PAN), a través de un complicado proceso de calentamiento. Los filamentos de fibra de carbono tienen un diámetro que oscila entre 5 y 8 mm y están combinados en mechas que contienen entre 5000 y 12000 filamentos. Estas mechas pueden retorcerse en hilos y formar tejidos. Las fibras de carbono tienen alta resistencia mecánica y alta rigidez, pero son poco resistentes al roce y al impacto de baja energía.

- **Fibras orgánicas**

La aramida es un filamento orgánico que proviene de ciertos derivados del petróleo. Su nombre se deriva de las funciones orgánicas que poseen: aromático y amida. Se utilizan en estructuras compuestas, como en las fibras de Kevlar. El KEVLAR es un polímero totalmente aromático, infusible que, químicamente es muy similar al nylon T. Sólo se fabrica como fibra (mediante fricción en solución), tiene una estabilidad y resistencia térmica y a las llamas muy altas.

Sus propiedades de tracción son superiores a las de las fibras textiles normales debido a un alto grado de orientación molecular resultante de sus moléculas lineales rígidas y de su propensión a formar cristales líquidos durante la fricción en solución. Se utilizan, ampliamente, en los composites más ligeros que aislantes eléctricos que se basan en fibra de carbono. Sus propiedades mecánicas suelen ser inferiores.

Su coeficiente específico de tracción es alto y cercano al de los composites de fibra de carbono pero su resistencia a la compresión es bastante débil. Las fibras de aramida tienen una alta resistencia al impacto y la corrosión y son extremadamente resistentes al ataque químico, exceptuando ácidos fuertes y bases a altas concentraciones.

- **Fibras naturales**

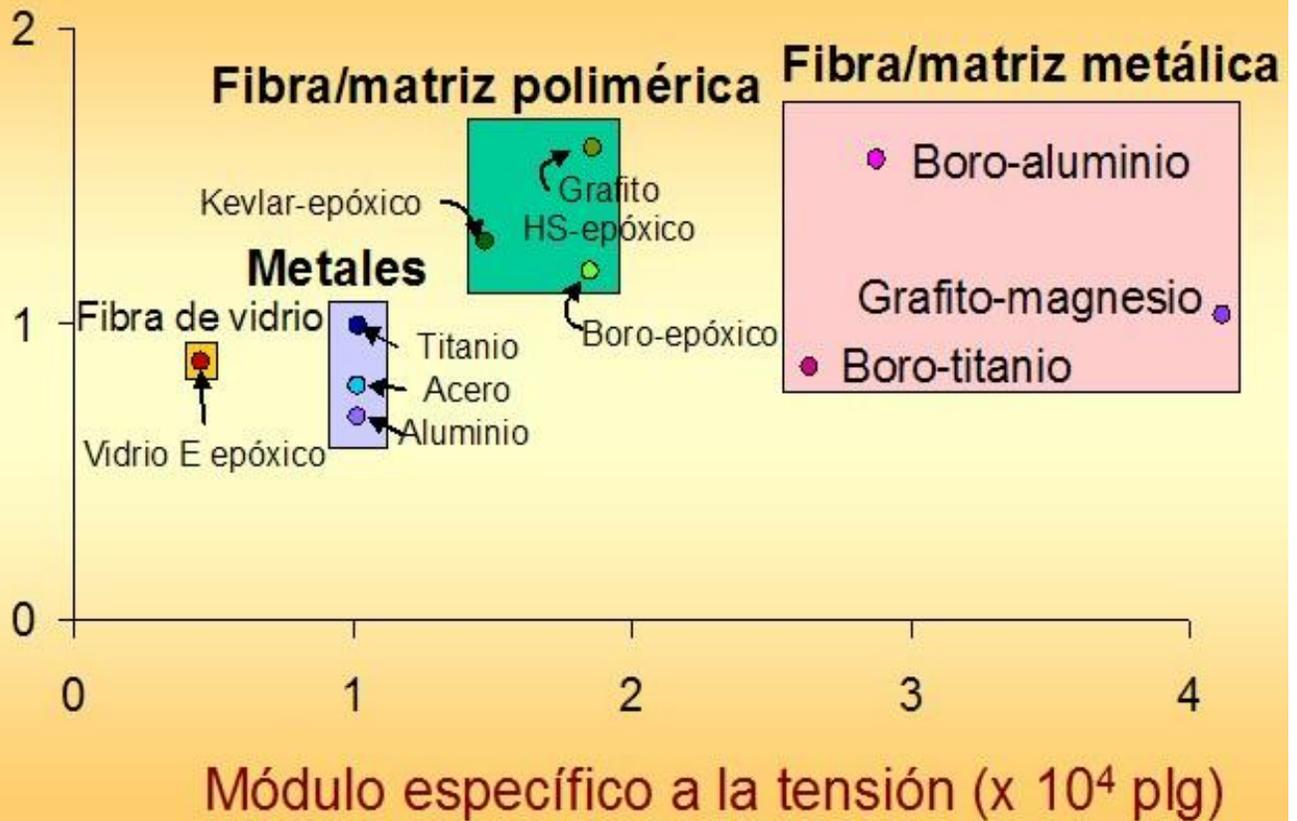
Actualmente, cada vez se utilizan más materiales reforzados con fibras que sean más económicas y de menor impacto medioambiental. Para ello, se están reforzando muchos polímeros con fibras provenientes de productos naturales como el lino o la fibra de coco; utilizándose más en la industria del automóvil donde según una directriz de la UE para el 2015 el 95 % de la masa de un coche debe ser reutilizable.

Además, si las fibras de refuerzo provienen de vegetales, el impacto medioambiental total en la fabricación de las piezas es mucho menor. Se está dedicando mucho esfuerzo de investigación en la fabricación de materiales compuestos completamente “ecológicos” o “verdes”.

En ellos se refuerza la matriz del polímero natural (p. ej. celulosa) con fibras de origen vegetal (p. ej. fibra de lino). Ya existen polímeros comerciales completamente “verdes” y se prevé que su producción aumente en el futuro (aunque, actualmente, los precios son mayores que los análogos obtenidos del petróleo).

MATRICES		
TERMOPLÁSTICAS	TERMOESTABLES	ELÁSTOMEROS
Polipropileno PP Poliamidas PA Policarbonatos PC	POLIÉSTER INSATURADO UP Resinas Epoxi Resinas Viniléster Fenoles	Poliuretanos PU Siliconas SI

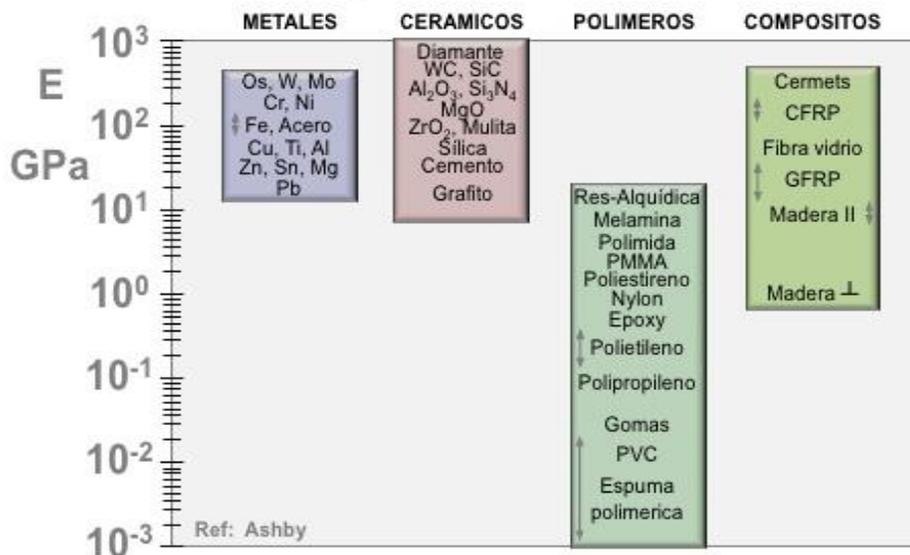
Resistencia específica a la tensión ($\times 10^6$ plg)



CIENCIA DE MATERIALES



Módulo de Young



6.3. Metodologías de procesamiento.

Los biomateriales compuestos avanzados están constituidos por matrices poliméricas convenientemente reforzadas con entramados de fibra continua. Se trabajan en el desarrollo de este tipo de materiales y en sus tecnologías de transformación, diseñándolos a la medida de aplicaciones industriales concretas para la obtención de piezas y componentes con altos requerimientos estructurales.

➤ PROCESOS DE FABRICACIÓN EN MOLDE ABIERTO

Se aplican de forma más general sobre preformas elaboradas a partir de fibra preimpregnada de resina (prepregs). Hacen uso de una sola superficie de molde, consiguiéndose la compactación de la estructura mediante bolsas de vacío.

- Procesos de curado en autoclave para la programación de ciclos de vacío, presión y temperatura para el curado de estructuras de gran tamaño elaboradas sobre molde abierto.
- Procesos de infusión de resina: Contamos con experiencia en el desarrollo de procesos de infusión de resina líquida (LRI, Liquid Resin Infusion) o semicatalizada en forma de film (RFI, Resin Film Infusion) para el procesado en molde abierto de preformas de fibra seca.

❖ Moldeo por colocación manual

El *hand lay-up* o **moldeo por colocación manual** es denominado así debido a las bajas o nulas presiones que necesita. Es muy utilizado en la industria aeroespacial debido a su gran flexibilidad. Se trata de un proceso muy lento, con más de 50 etapas individuales. La etapa de colocación manual de las láminas consume en torno a la mitad del tiempo total del proceso.

Los posibles defectos que pueden presentar las piezas fabricadas mediante este método son: arrugas en la superficie, burbujas de aire atrapadas, poros y picaduras, cuarteado y grietas, mala adherencia al molde, áreas pegajosas y afloramiento de fibras.

MATERIALES COMPUESTOS

Moldeo por colocación manual

FELIPE
DISEÑO E
INGENIERÍA

moldeo por colocación manual es denominado así debido a las bajas o nulas presiones que necesita. Es muy utilizado en casi todas las industrias debido a su gran flexibilidad.

Ventajas

- Gran versatilidad, facilidad de fabricar diferentes geometrías
- Proceso de operación sencilla
- Uso de herramientas e instalaciones de bajo costo.
- Bajo costo de producción



❖ Filament Winding

El **bobinado** o *filament winding* es un proceso de fabricación en el que se enrollan refuerzos continuos a grandes velocidades y de forma precisa sobre un mandril que rota en torno a su eje de giro. Las velocidades de trabajo se encuentran entre los 90 - 100 m/min para fibras de vidrio y entre los 15 - 30 m/min para fibras de carbono y aramida. Mediante este proceso se pueden alcanzar volúmenes de fibra de hasta un 75%, siendo posible controlar el contenido de resina. No obstante, es necesario que la pieza sea de revolución y sin curvaturas entrantes.

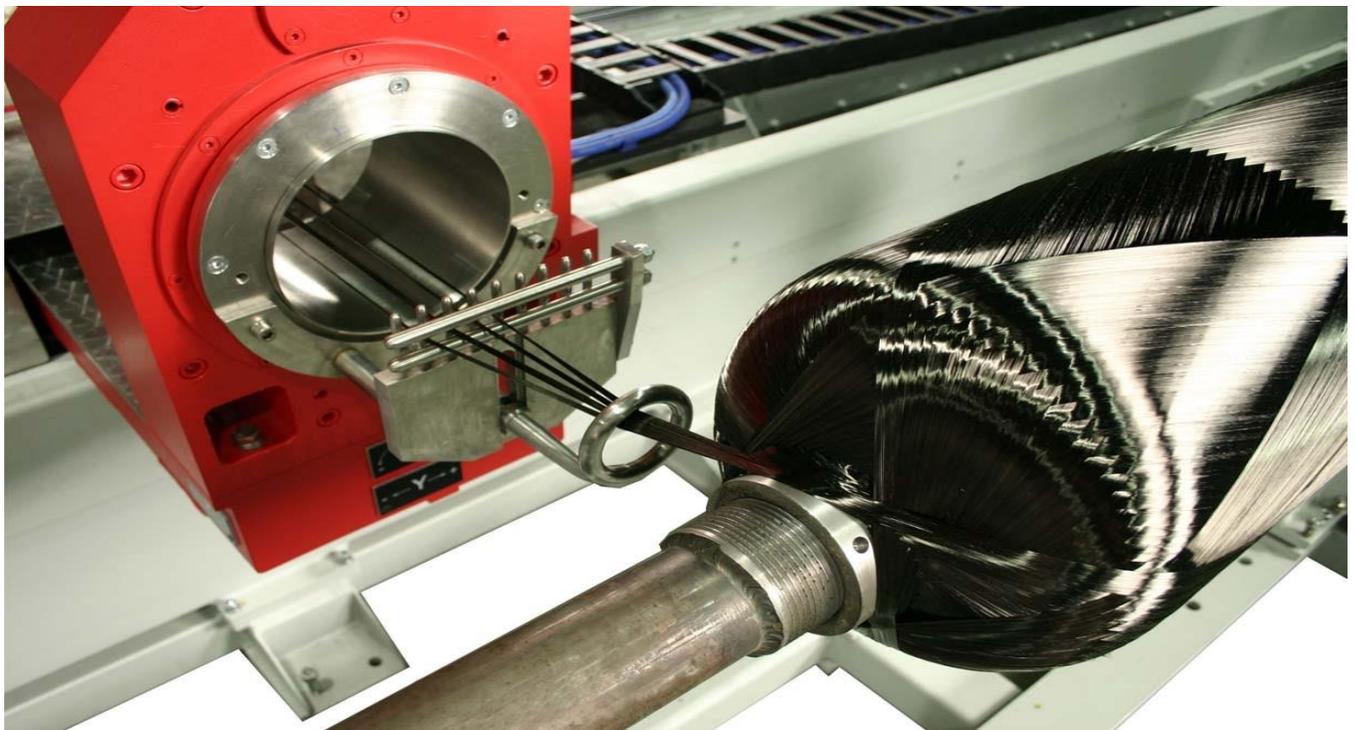
La forma de la pieza debe permitir la extracción del mandril. Existen tres modelos de bobinado:

- Bobinado helicoidal: el movimiento de rotación del mandril se combina con el movimiento de traslación longitudinal del cabezal de impregnación.
- Bobinado circunferencial: se trata de una variante del bobinado helicoidal pero con un ángulo de enrollado de 90°.
- Bobinado polar o plano: tanto el movimiento de rotación como el de traslación longitudinal es realizado por el mandril, permaneciendo fijo el cabezal de impregnación.

Este proceso se utiliza para producir cilindros huecos de alta resistencia. La fibra es proporcionada a través de un baño de resina y después es bobinada sobre un cilindro apropiado. Cuando han sido aplicadas suficientes capas, el cilindro (mandril) se cura en un horno. Por último, la pieza moldeada es separada del mandril.

Los modelos del proceso proporcionan la siguiente información en función de la posición y del tiempo:

- Temperatura en el interior del material compuesto y del mandril.
- Grado de curado en el interior del material compuesto.
- Viscosidad en el interior del material compuesto.
- Posición de las fibras
- Tensiones en el interior del material compuesto y en el mandril.
- Nivel de porosidad en el interior del material compuesto.
- Tiempo de curado.

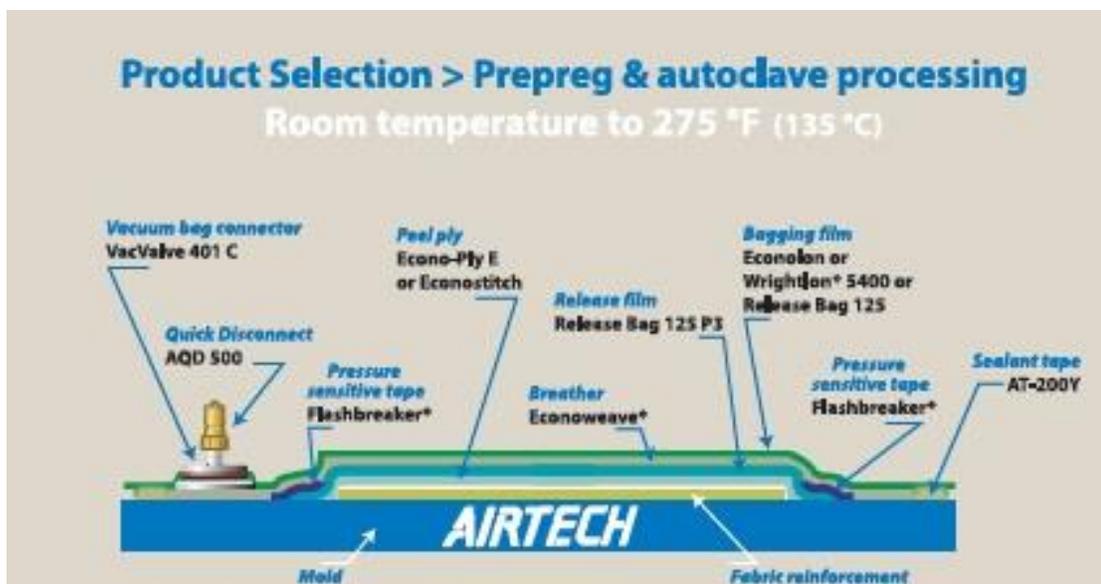
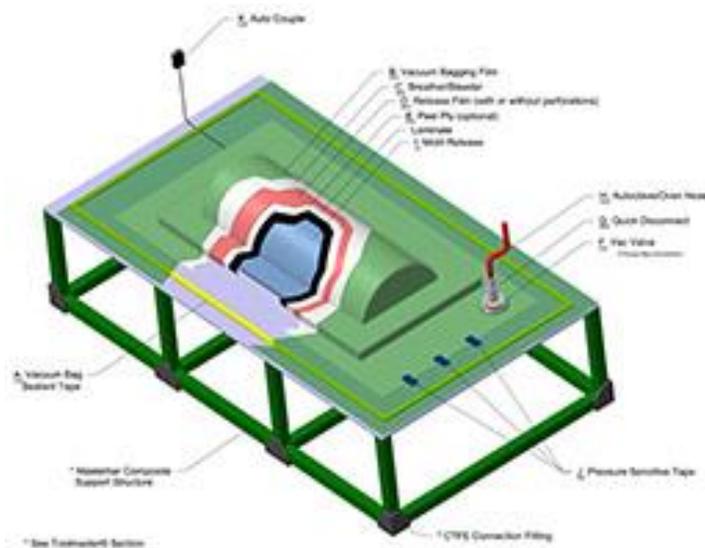


❖ Procesado en autoclave

Este proceso se lleva a cabo en un autoclave de materiales compuestos y es utilizado para consolidar y curar componentes realizados con materiales compuestos poliméricos, mediante el uso de temperatura y presión. Las variables de las que depende principalmente este procesado son la temperatura y la presión aplicadas, y vienen definidas por el tipo de material a procesar:

- En materiales termoestables son necesarias altas temperaturas para reducir la viscosidad del polímero e iniciar la reacción química de curado. Estas condiciones están en el rango de 175°C y 600 KPa (poliimidas, PMR-15) pero pueden llegar en ocasiones a rangos de 300-400°C y 1MPa (PEEK, PEI).
- En materiales termoplásticos los requerimientos de temperatura no son los mismos que en termoestables, ya que no hay reacción química que activar para conseguir el curado.
- El uso de presión en el proceso es necesario para mantener en todo momento las láminas juntas, y eliminar posibles defectos que pudieran formarse (poros, deslaminaciones).

La mayor ventaja del conformado en autoclave es la gran flexibilidad para procesar distintas familias de materiales. De hecho, cualquier material polimérico puede ser procesado, siempre y cuando su ciclo de cura se encuentre dentro de las limitaciones de temperatura y presión del autoclave.



➤ PROCESOS DE FABRICACIÓN EN MOLDE CERRADO

Se llevan a cabo sobre preformas de fibra seca y exigen la utilización de conjuntos calefactados de molde y contramolde con cierre estanco. De las distintas variantes de proceso que se engloban en esta categoría, destaca nuestra experiencia en:

- Procesos RTM (Resin Transfer Moulding) con resinas de curado lento a alta temperatura y con las prestaciones estructurales exigidas en aplicaciones aeronáuticas
- Procesos RIM (Reaction Injection Moulding) con resinas multicomponente, generalmente de curado rápido y adaptables, por tanto, a los ciclos de fabricación de un mayor número de sectores industriales

Este tipo de procesos se han optimizado para la obtención de estructuras con geometría compleja e incluso estructuras aligeradas con núcleos de espumas estructurales, paneles de abeja, etc

❖ SMC (Sheet moulding compounds)

El SMC o Sheet Moulding Compounds consiste en el moldeo de una resina termoestable reforzada generalmente con fibra de vidrio en forma de hilos cortados o continuos, obteniendo la pieza final a través de polimerización de la resina por aplicación de presión y temperatura.

Este método de fabricación posee una etapa preliminar en la que se crea el preimpregnado que después se utilizará para realizar la pieza final deseada. Este pre-proceso se basa en utilizar mechas de fibra de vidrio en cordones continuos que se cortan en pedazos (de unos 5cm) sobre una capa de relleno de resina transportada sobre una película de polietileno.

Posteriormente, una vez la capa inferior tiene todas las fibras distribuidas se coloca otra capa de relleno de resina sobre la primera formando un sándwich. Este sándwich se compacta y enrolla en rodillos de embalaje calibrados. Los rollos de preimpregnado se almacenarán para dejar que la fibra se asiente con la matriz termoestable.

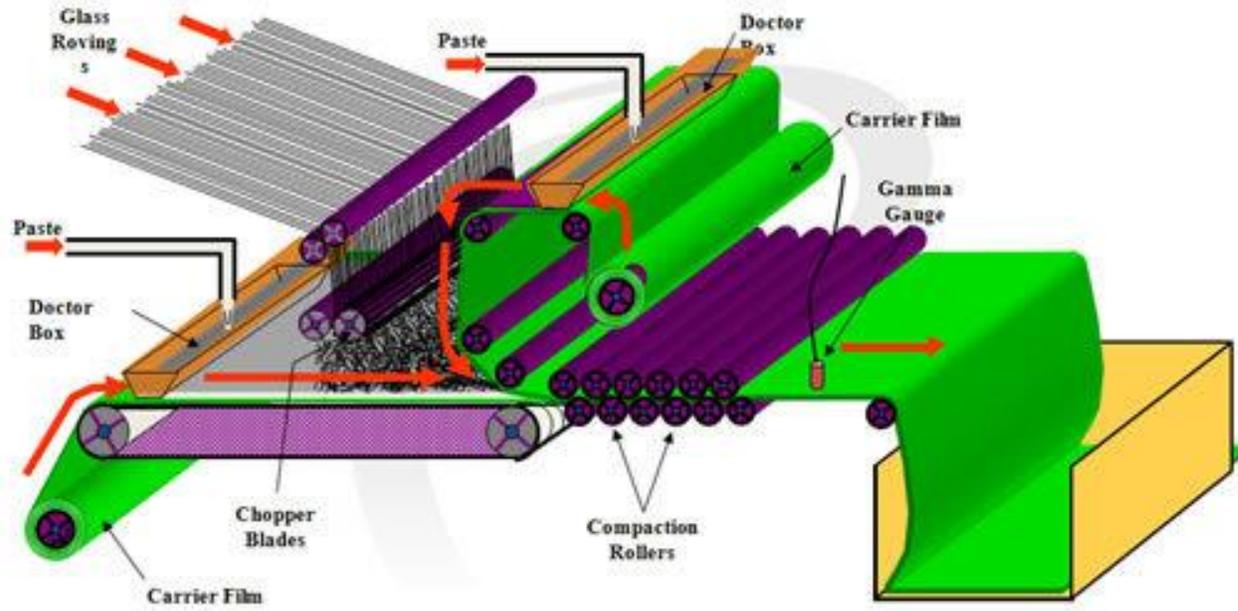
Las fibras de vidrio pueden presentarse no sólo como fibras cortadas, sino también hay casos en los que se utilizan hilos continuos o como mezcla de ambos (hilos continuos y fibras cortadas), en este último caso se obtendrían las mejores propiedades mecánicas.

Finalmente los rollos de material compuesto se llevan a una prensa, donde se cortan con la configuración adecuada para la pieza a obtener y se colocan en un ajustado molde metálico calentado. Posteriormente la prensa hidráulica se cierra y el SMC fluye uniformemente bajo presión por todo el molde formando el producto final. Las características principales son:

- Buena estabilidad dimensional.
- Excelente acabado superficial por ambas caras.
- Buenas propiedades de resistencia mecánica.
- Posibilidad de obtener geometrías complejas.
- Alta capacidad de automatización.

Es un proceso, que por su elevada capacidad de automatización, se utiliza principalmente en producción de grandes series, siendo el automóvil su principal sector (capotas, paneles delanteros...). Este fenómeno hace que el SMC sea actualmente el método más utilizado en la fabricación de materiales compuestos con resinas termoestables.

SMC Manufacturing Process



❖ Inyección

La infiltración de materiales compuestos por inyección, utiliza la misma tecnología que el moldeo por inyección de plásticos tradicional. Pero a diferencia de introducir en el molde únicamente un polímero (ya sea termoplástico o termoestable), se introduce el polímero más un refuerzo.

Las fibras más utilizadas son de vidrio, carbono y aramida. Estos refuerzos afectan notablemente a las propiedades mecánicas del material final. Pero por otro lado presentan algunos inconvenientes como:

- Dificultad para controlar el posicionamiento de las fibras en la pieza.
- Las fibras pueden reducir notablemente su longitud por rotura con el tornillo sin fin que alimenta el proceso.

MATERIALES
COMPUESTOS

Moldeo por inyección



La fabricación de materiales compuestos por inyección, utiliza la misma tecnología que el moldeo por inyección de plásticos tradicional. Pero a diferencia de introducir en el molde únicamente un polímero (ya sea termoplástico o termoestable), se introduce el polímero más un refuerzo.

Ventajas

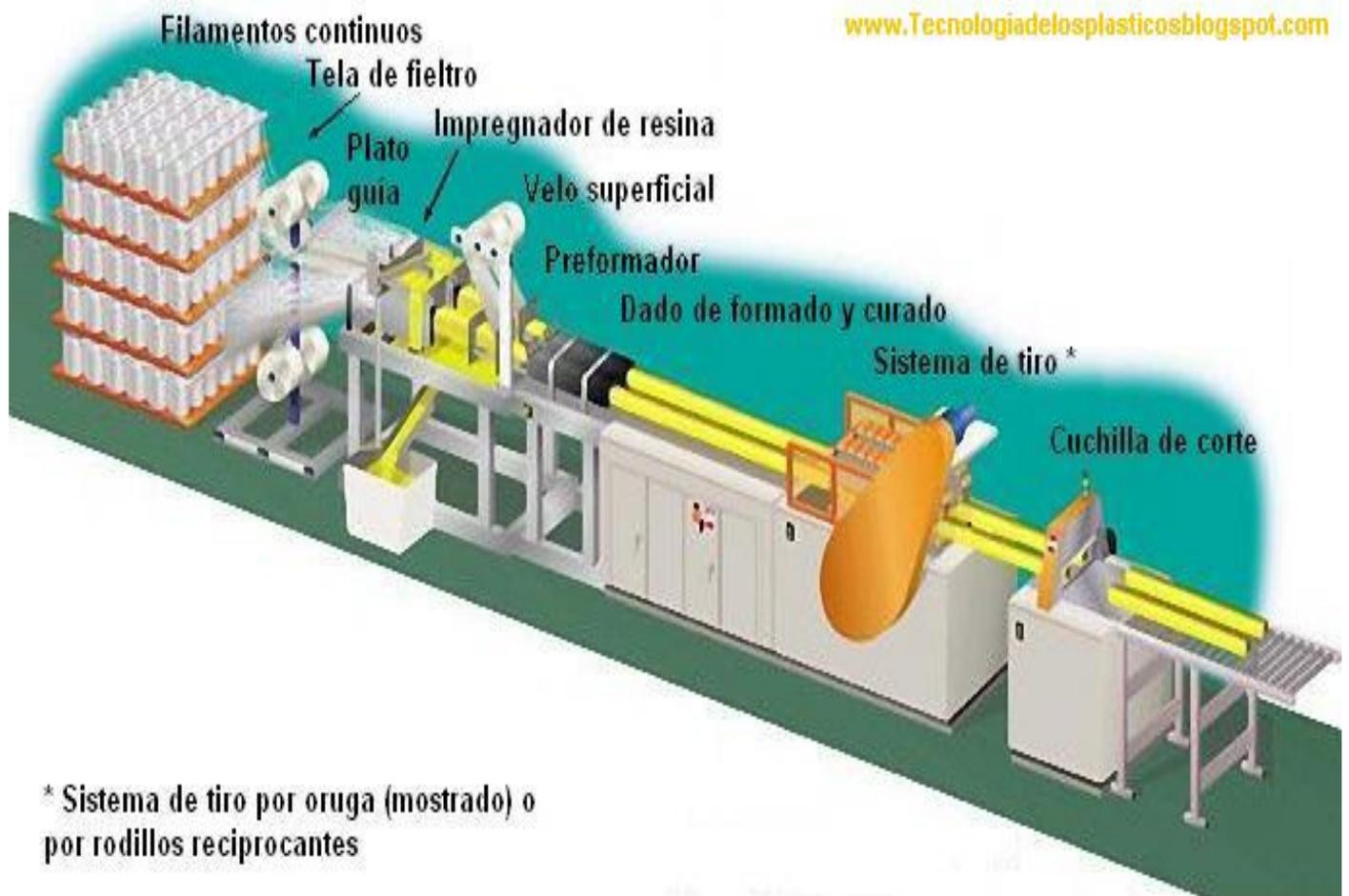
- Espesor constante en toda la pieza.
- Distribución homogénea de la resina o matriz en la pieza.
- Facilita la producción en masa.

❖ Pultrusión

Se trata de un proceso automático muy versátil mediante el que se obtienen perfiles de sección constante. Se utiliza una fibra embebida en una resina termoestable, la cual reacciona cuando se aplica calor. Se tira del material (pull) para evitar roturas y desalineamiento de fibras.

Mediante este proceso se puede producir cualquier sección compleja siempre que su espesor sea constante. Además, debido a la precisión de la superficie del molde se obtienen acabados de alta calidad. No obstante, la velocidad del proceso es relativamente baja (3 m/min) comparada con la velocidad de extrusión (30 m/min). Además, resulta muy complicado orientar las fibras en ángulos óptimos. El proceso de pultrusión consta de varias etapas:

- Las fibras de refuerzo se presentan en forma de bobinas o rollos para favorecer el flujo continuo del material.
- Se colocan en carretes sobre ejes con rodamientos especiales para mantener constante la tensión del hilo al ser devanado.
- Cuando las fibras se dirigen hacia el sistema de impregnación se hacen pasar por unas placas de alineamiento para evitar torsiones, nudos o daños en los refuerzos.
- La clave de todo el proceso de pultrusión es el molde. Debe alinear las fibras y comprimirlas hasta la fracción en volumen deseada, asegurando el curado del material en un tiempo relativamente corto.
- Alrededor del molde se colocan placas calefactadas para provocar el calentamiento de la pieza y favorecer la reacción de polimerización de la resina. El parámetro de control más importante es la temperatura interior del molde, que oscila entre los 100°C y 150°C.
- En el mecanismo de tracción debe existir una distancia de al menos 3 metros entre éste y la salida para asegurar el correcto enfriamiento del perfil mediante convección natural o forzada (por chorro de agua o aire).



❖ RTM (Resin Transfer Moulding)

Se trata de un proceso de fabricación en molde cerrado a baja presión. Puede resumirse en cinco etapas:

1. Se coloca el tejido de fibras secas en el molde y éste es cerrado.
2. Se inyecta la resina en el molde mediante una bomba.
3. Se sella la entrada de resina y la salida de aire.
4. Se aplica calor (curado)
5. Tras un período de enfriamiento se abre el molde y se retira la pieza

Debido a la posibilidad de moldear las fibras en seco antes de la inyección de la resina, se consigue una mejor orientación de las fibras, aumentando las propiedades mecánicas del material.

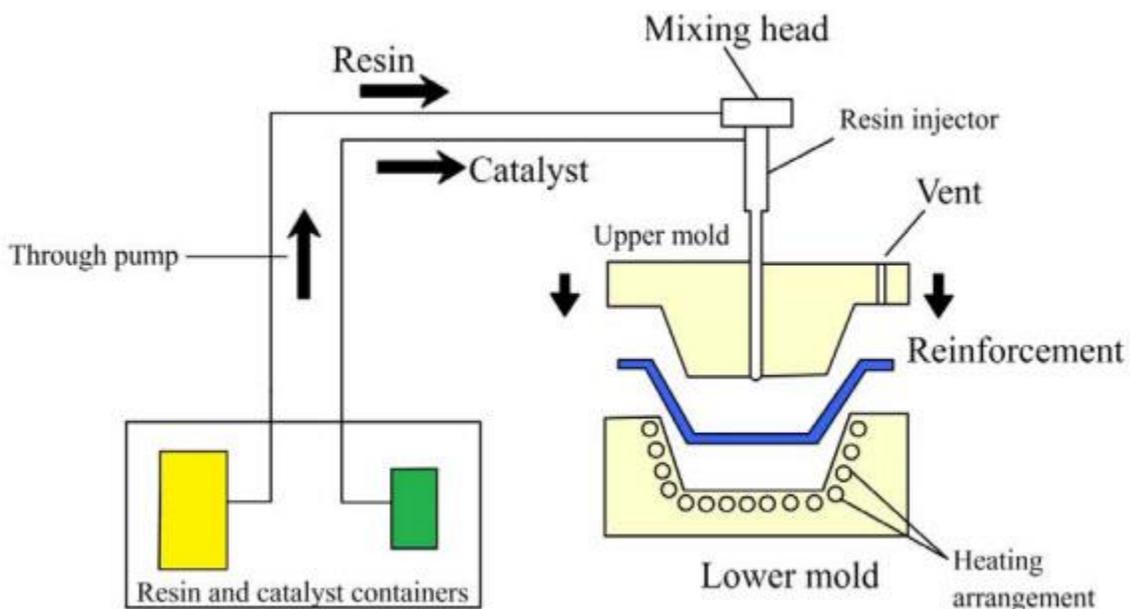
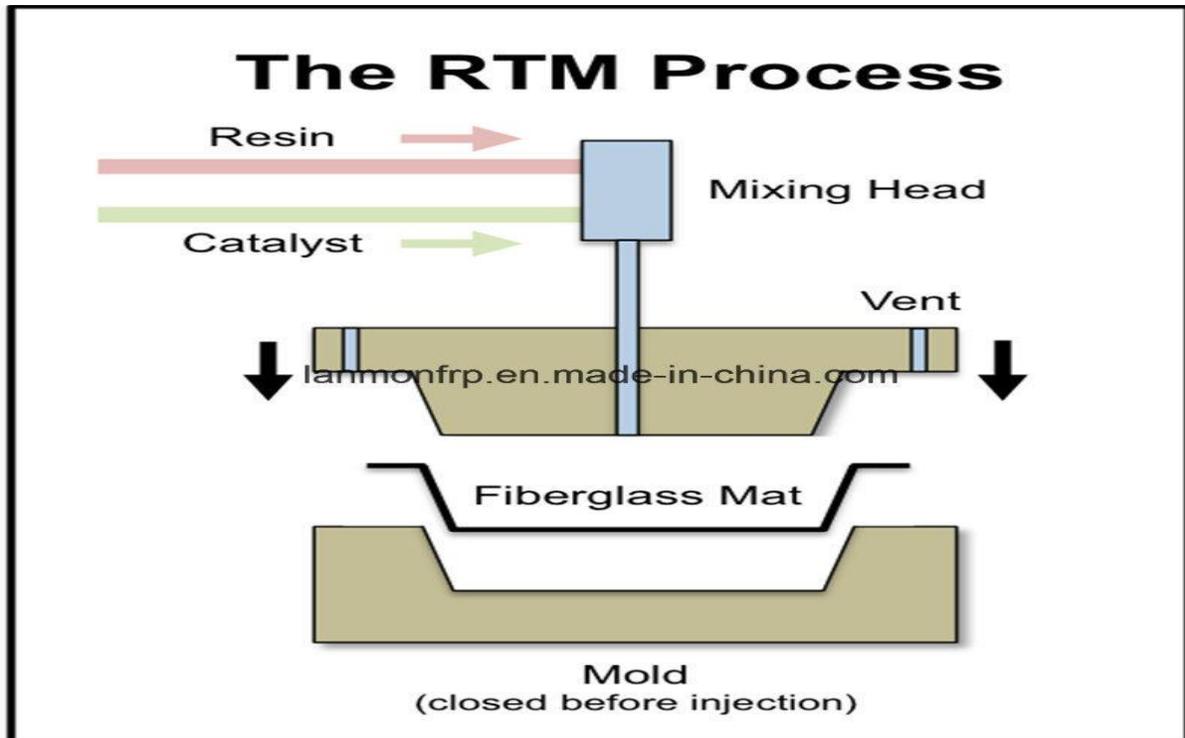


Figure1 Resin transfer molding.

6.4. Técnicas de caracterización y aplicaciones.

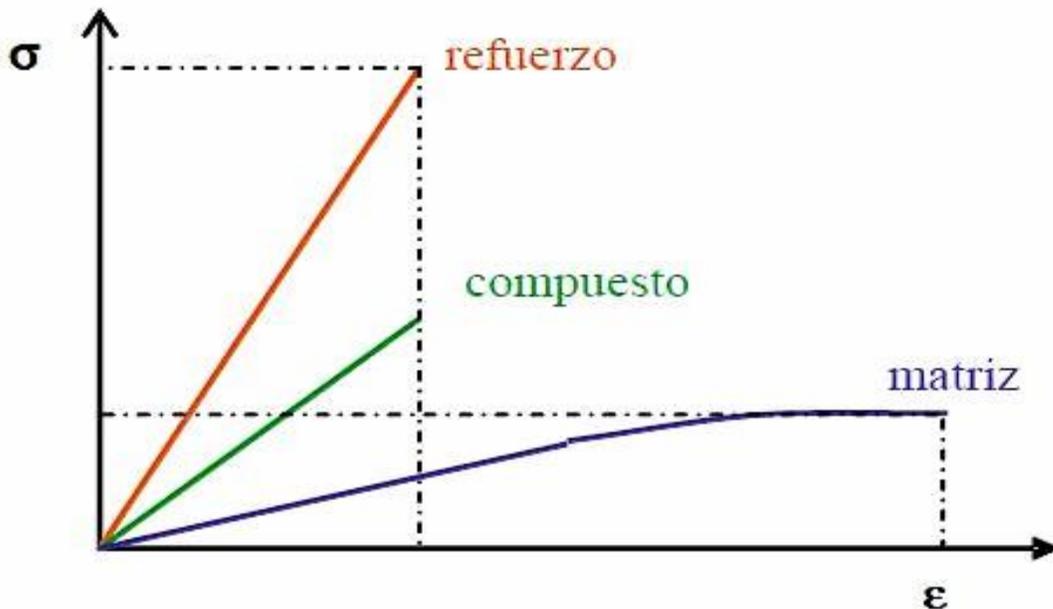
Caracterización de materiales compuestos reforzados con fibra de carbono fabricados por el método de infusión para aplicaciones aeronáuticas. Los polímeros reforzados con fibra de carbono (CFRP) han experimentado un desarrollo considerable en la industria aeroespacial, debido a sus excelentes propiedades específicas, teniendo una alta relación entre su esfuerzo último y el peso del material.

Estos materiales se utilizan en la industria aeronáutica para la fabricación de varios componentes del fuselaje: alerones, flaps, puertas del tren de aterrizaje, y otros. En la caracterización de estos materiales es importante conocer sus propiedades mecánicas, por ejemplo, la resistencia a la tracción.

Los métodos tradicionales de fabricación, como el picado manual, generan materiales con pobre resistencia a la fractura interlaminar, siendo susceptibles a la de laminación cuando se somete a tensiones interlaminares. Dicha de laminación puede ser causada por cargas de impacto, defectos de fabricación, discontinuidades geométricas, etc, teniendo como efecto la disminución de la integridad estructural.

Un método que permite mejorar el comportamiento del material es la Infusión de Resina (RFI) ya que permite reforzar la estructura en la dirección del espesor, infiltrando en el sistema la resina líquida. En este trabajo se estudia un material fibra de carbono/epoxi fabricado por una variación de las técnicas de RFI, caracterizando algunas de sus propiedades, utilizando microscopía óptica, ensayo de tensión y la prueba de vibración para determinar la homogeneidad del material obtenido.

Se obtuvo el porcentaje de poros mediante una técnica analítica utilizando el microscopio óptico y comparado con la densidad experimental del compuesto con un error alrededor del 7%. Fueron realizadas pruebas de vibraciones y ensayos de tensión para obtener datos experimentales que permitan identificar las características mecánicas del material compuesto.



propiedades mecánicas de la matriz, del refuerzo, y del material compuesto obtenido a partir de la combinación de ambos.

Aunque no existe una definición ampliamente aceptada de qué es un material compuesto, se puede definir como un sistema de materiales constituido por una mezcla o combinación de dos o más micro o macro-constituyentes que difieren en forma y composición química y que son esencialmente insolubles entre sí.

Realmente, la dificultad de definir un material compuesto radica en las limitaciones de tamaño que imponemos a los constituyentes del material, sin embargo, en ingeniería un material compuesto hace referencia habitualmente a un material formado por constituyentes de tamaño de rango micro a macro, favoreciendo incluso el macro tamaño.

La escala de longitudes donde se trata la microestructura (entre 10^{-7} y 10^{-4} m \approx 0.1 μ m y 100 μ m), macroestructura ($> 10^{-3}$ m \approx >1 mm) y la nanoestructura (o estructura atómica) [$< 10^{-8}$ m \approx < 10 nm \approx < 100 Å]. La importancia de un material compuesto para la ingeniería radica en que dos o más materiales distintos se combinen para formar un material compuesto cuyas propiedades sean superiores, o en algún modo más importantes que las de sus componentes por separado.

La mayoría de las aplicaciones modernas requieren materiales con una combinación inusual de propiedades, imposible de conseguir directamente en la naturaleza. Frecuentemente, los materiales más resistentes son relativamente densos; además, un incremento de la resistencia y de la rigidez se traduce generalmente en una disminución de la resistencia al impacto.

Así pues, se pretende que un material compuesto sea un material multifase que conserve una proporción significativa de las propiedades de las fases constituyentes de manera que presente la mejor combinación posible. Las fases constituyentes deben ser químicamente distintas y separadas por una interfase.

La mayoría de los materiales compuestos se han creado para mejorar la combinación de propiedades mecánicas tales como rigidez, tenacidad y resistencia a la tracción a temperatura ambiente y a elevadas temperaturas.

La mayor parte de los materiales compuestos están formados por dos fases: una, llamada matriz, es continua y rodea a la otra fase, denominada fase dispersa o refuerzo. Las propiedades de los compuestos son función de las propiedades de las fases constituyentes, de sus proporciones relativas y de la geometría de los refuerzos. "Geometría de los refuerzos" significa, en este contexto, la forma, el tamaño, la distribución y la orientación de las partículas.

La matriz es la encargada de recibir las solicitaciones exteriores, transmitir los esfuerzos al refuerzo y definir y mantener la geometría de la pieza. Por su parte, los refuerzos confieren al material las características buscadas y fundamentalmente absorber los esfuerzos que transmite la matriz.

La interfase es una región bien definida que separa a los distintos constituyentes en un material compuesto. Independientemente del material utilizado como matriz, existen distintos tipos de materiales compuestos según la disposición y geometría del refuerzo.

Los materiales compuestos reforzados con partículas se caracterizan por tener unos refuerzos que presentan aproximadamente la misma dimensión en todas las direcciones (equiaxiales). Se subdividen en reforzados con partículas grandes y consolidados por dispersión. Esta distinción se fundamenta en el mecanismo de consolidación o de reforzamiento.

El término "grande" se utiliza para indicar que las interacciones matriz- partícula no se pueden describir a nivel atómico o molecular, sino mediante la mecánica continua. En la mayoría de los materiales compuestos la fase dispersa es más dura y resistente que la matriz y las partículas de refuerzo tienden a restringir el movimiento de la matriz en las proximidades de cada partícula.

El grado de reforzamiento o de mejora del comportamiento mecánico depende de la fuerza de cohesión en la intercara matriz- partícula, y es tanto más efectivo cuantas más pequeñas sean las partículas y cuanto mejor distribuidas estén en la matriz. Las partículas de los materiales compuestos consolidados por dispersión normalmente son mucho más pequeñas: los diámetros tienen de 10 a 100 nm.

Las interacciones matriz-partícula que conducen a la consolidación ocurren a nivel atómico o molecular. Mientras la matriz soporta la mayor parte de la carga aplicada, las pequeñas partículas dispersas dificultan o impiden el desplazamiento de dislocaciones. De este modo se restringe la deformación plástica de tal manera que aumenta el límite elástico, la resistencia a la tracción y la dureza.

Presentan como ventaja el mantenimiento del incremento de resistencia a elevadas temperaturas durante prolongados periodos de tiempo. La incorporación de cargas en materiales poliméricos produce modificaciones en todas sus propiedades: mecánicas, térmicas, eléctricas, etc. que dependen del tipo y forma de las partículas, algunas veces son beneficiosas, aumentando el número de aplicaciones con respecto a las del material matriz mientras que otras veces deterioran sus propiedades.

Generalmente aparecen tensiones internas generadas durante el proceso de fabricación como consecuencia de la diferencia que existe entre los coeficientes de expansión térmica de cada una de las fases. Estas tensiones internas modifican el comportamiento mecánico del compuesto y su valor depende además del proceso de curado, del tipo, cantidad y dispersión de la carga en la matriz.

En ocasiones el proceso de fabricación de probetas de este tipo de materiales provoca una disminución de la densidad, debido a la oclusión de aire en el interior de la matriz, lo cual repercute negativamente en las propiedades mecánicas del material compuesto resultante. Tradicionalmente se han venido utilizando los óxidos metálicos de origen natural como cargas de los materiales poliméricos para reducir sus costes y modificar sus características.

En los últimos años el estudio detallado de la química de los polímeros está permitiendo su utilización como materiales de altas prestaciones utilizando las denominadas cargas funcionales:

- La utilización de óxidos metálicos como reactivos que mejoran la cinética de la polimerización, aumentando el entrecruzamiento de las cadenas y por tanto sus características mecánicas. Es el caso de la utilización de óxido de magnesio como agente entrecruzante del poliéster.
- La utilización de diferentes tipos de sílice pirogénica y las cantidades añadidas, modifican las características de los acrílicos, habiéndose modelizado matemáticamente la influencia de las cargas de sílice en la viscosidad de sus resinas. Existen diferentes formas de introducir las partículas en el polímero.

Por un lado se pueden incorporar usando métodos químicos, introduciendo las partículas en la formulación orgánica del material, y por otro lado métodos mecánicos en los que se aplican altas velocidades de cizalla para poder dispersar el polvo en el polímero sin que se produzcan aglomeraciones, sobre todo cuando se introducen nanopartículas. Cuando se tienen matrices termoplásticos el principal método para obtener composites es utilizar métodos de extrusión.

Si la resina es termoestable de baja viscosidad hay que utilizar otras tecnologías de mezcla. Estas técnicas dispersantes de alta energía utilizan un disco rotatorio de metal que gira a gran velocidad dando a la mezcla energía de cizalla suficientemente alta. Otra forma de dispersar las partículas es la aplicación de vibración por ultrasonidos, que ayuda a mejorar el estado de dispersión de las partículas.

Con los métodos químicos se puede generar, en polímeros termoestables las nanopartículas "in situ", no produciéndose aglomerados. La distancia entre las partículas en la mezcla a elevadas concentraciones de nanopartículas sólidas es pequeña y se agregan fácilmente.

La adsorción física de un dispersante polimérico o la modificación superficial utilizando la adsorción química son efectivas para dispersar las partículas a elevadas concentraciones. Los dispersantes poliméricos adsorbidos aumentan la distancia interparticular por repulsión estérica y la disociación de las moléculas modificadoras aumenta la fuerza de repulsión electrostática.

Por este motivo, debe seleccionarse dispersantes o modificadores con estructura de adsorción estérica que mantengan la distancia interparticular y disociados para aumentar la repulsión electrostática.

Una cantidad de dispersante menor que la concentración óptima en la cual el dispersante cubre perfectamente la superficie de las partículas, causa la colisión de las partículas y se crean puentes de unión con el polímero. Con un exceso de cantidad, estos puentes de unión que se crean causan la agregación de las partículas.

Cuanto más dispersante se añade, las moléculas de dispersantes no adsorbidas aumentan en el solvente, y aparece el efecto de agotamiento que promueve la colisión de las partículas.

A esta base polimérica se le añaden partículas cerámicas que puedan añadir o mejorar alguna de las siguientes propiedades: bactericidas y fungicidas, ópticas (absorbente de UV, fluorescencia), estabilidad térmica, aumento o disminución de la conductividad eléctrica, y/o mejora considerable de las propiedades mecánicas.

➤ **Aplicaciones**

Las aplicaciones de este tipo de fibra con nanopartículas es muy diversa: ingeniería civil, indumentaria de protección personal, automoción y transporte, agricultura, jardinería y pesca, embalaje, edificación, medicina e higiene, prendas de deporte de élite y tiempo libre, calzado e indumentaria, interiorismo y decoración, filtración y protección del medio ambiente, etc.

Las resinas tales como epoxies y Poliésteres como materiales poliméricos tienen un uso limitado para la manufactura de elementos estructurales por sí mismas, dado que sus propiedades mecánicas no son muy altas comparadas con, por ejemplo, la mayoría de los metales.

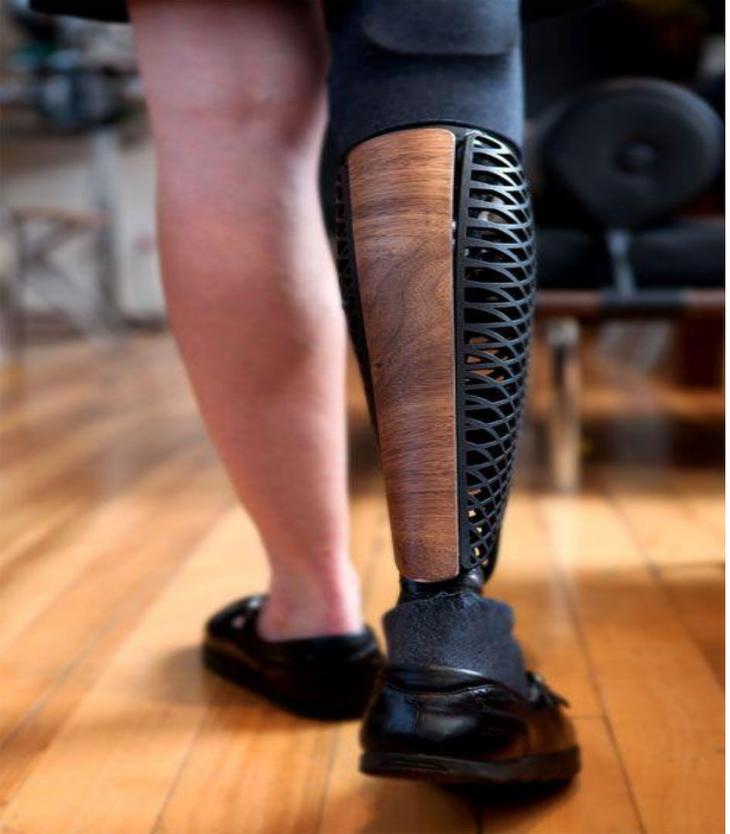
Sin embargo, poseen algunas características importantes, como su excelente capacidad de ser fácilmente conformadas en piezas geoméricamente muy complejas. Por otro lado, materiales tales como el vidrio, las aramidas y el boro tienen una resistencia mecánica extremadamente alta. Sin embargo, esta característica no es aparente cuando consideramos al material como un sólido macizo.

Esto se debe a que cuando sometemos a estos materiales a tensiones, defectos presentes al azar en el sólido, provocan la ruptura del mismo a esfuerzos mucho menores que su resistencia teórica. Sucede que cuando combinamos las resinas con las fibras de refuerzo, se obtienen sólo entonces, propiedades excepcionales. La matriz de resina distribuye la carga aplicada al material compuesto entre cada fibra individual, al tiempo que protege a las fibras del daño causado por abrasión o impacto.

Entonces, mediante esta configuración de dos tipos de materiales tan diferentes entre sí, en una manera en la que trabajan dando sus mejores características cada uno, logramos alta resistencia mecánica y tenacidad, facilidad para la conformación de piezas complejas, alta resistencia a la corrosión, todo acompañado con baja densidad. Esto hace que muchas veces los materiales compuestos resulten superiores a los metálicos en diferentes aplicaciones.

Muchas de las investigaciones actuales se centran en la mejora de los materiales compuestos mediante el uso de fibras aproximadamente 1000 veces más pequeñas, que son mucho más resistentes. Estos nanocompuestos son un ejemplo de nanotecnología, utilizando nanotubos o nanopartículas de carbono como refuerzo.

Es probable que resulten más baratas y tengan mejores propiedades mecánicas y eléctricas que los materiales compuestos tradicionales. Los laminados son compuestos en los que se unen capas de diferentes materiales con adhesivo, para dar mayor resistencia, durabilidad o algún otro beneficio.



- **CERÁMICAS:** Óxidos de aluminio, aluminatos de calcio, óxidos de titanio, carbonos.
- -Ventajas: Buena biocompatibilidad, resistencia a la alta corrosión, inerte.
- -Desventajas: Fractura ante esfuerzos de alto impacto, difícil fabricación, baja resistencia mecánica, inelásticos, alta densidad.
- -Ejemplos: Prótesis de cadera, dientes, dispositivos transcutáneos
- **COMPUESTOS:** Cerámica metal, carbón- otro material.
- -Ventajas: Buena compatibilidad, inerte, resistencia a la corrosión, alta resistencia a los esfuerzos.
- -Desventajas: Carecen de consistencia en la fabricación del material
- -Ejemplos: Válvulas cardíacas, uniones óseas, marcapasos.

