

## TEMA 2: MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ ORGÁNICA: CONSTITUYENTES

Los materiales compuestos de matriz polimérica se utilizan en la industria automovilística, naval, aeronáutica, aeroespacial, electrónica, de material deportivo y de la construcción, reemplazando a los metales en muchas aplicaciones.

### 2.1 – Matrices. Generalidades

La matriz cumple varias funciones en el material compuesto:

- a) Su función principal es **soportar la carga** aplicada y transmitirla al refuerzo a través de la interfase. Para ello la matriz debe ser deformable
- b) **Proteger las fibras** del medio externo y mantenerlas unidas. Esta función requiere una buena compatibilidad entre matriz y refuerzo.

Las matrices poliméricas pueden ser **termoestables o termoplásticas** en función de si presentan o no reticulaciones:

- a) Las **matrices termoestables** presentan uniones covalentes formadas en la reacción de reticulación o curado. Estas matrices presentan las siguientes características.
  - Son **fáciles de procesar** antes del curado debido al bajo peso molecular de las resinas precursoras o prepolímeros.
  - Debido a la formación de reticulación son más **tenaces**.
  - Son más **frágiles** que las termoplásticas.
- b) Las **matrices termoplásticas** no tienen uniones permanentes entre cadenas porque no reticulan. Estas matrices presentan las siguientes características.
  - Son más **difíciles de procesar** ya que deben tener un alto peso molecular para presentar buenas propiedades mecánicas.
  - **Se pueden reciclar** ya que se reblandecen al calentar y vuelven a la forma sólida al enfriarlos.

## 2.2 – Matrices termoestables

Las resinas termoestables son aquellas que sufren una serie de reacciones químicas, llamadas de curado o reticulación, dando lugar a un producto rígido, insoluble e infusible. La obtención de matrices termoestables se da en dos etapas:

- a) En la planta química **se polimeriza parcialmente** el monómero formando cadenas lineales.
- b) En la planta de producción donde **se completa la reticulación** bajo calor y presión.

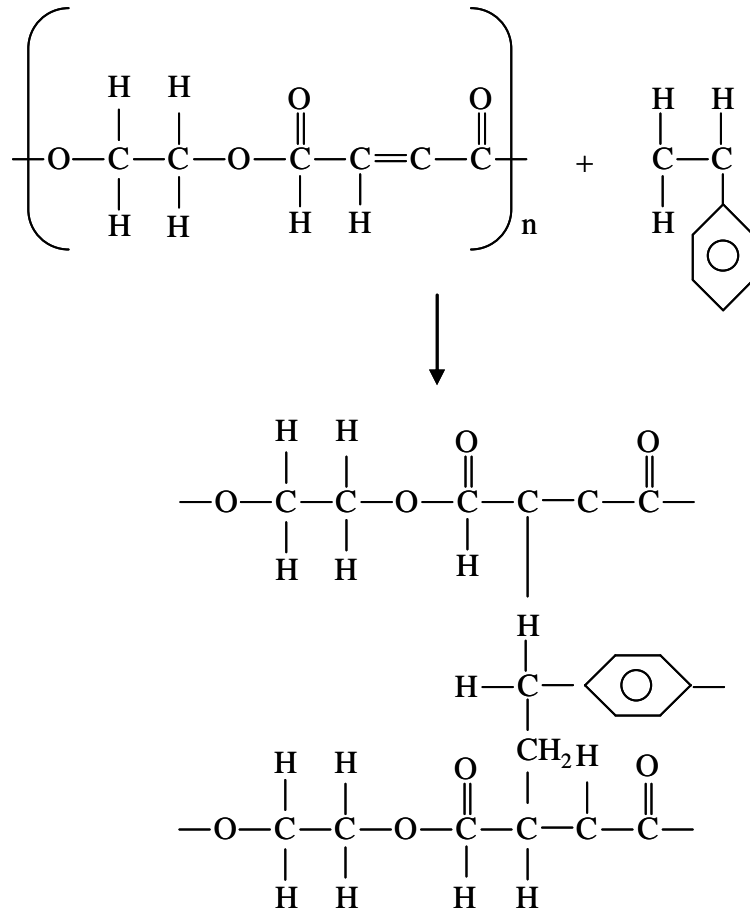
### 2.2.1- Resinas de poliéster insaturado

Son las más utilizadas en la fabricación de composites de uso general. La obtención de estas resinas insaturadas se lleva a cabo en dos pasos:

1) **Policondensación**: se produce por la reacción de un **diol** y **dos ácidos dicarboxílicos**. Uno de los ácidos debe presentar insaturaciones y si el otro es saturado la resina tendrá mayor flexibilidad.



2) **Reticulación** con estireno. La resina preparada en la etapa anterior se impregna con estireno que se adiciona a los dobles enlaces teniendo lugar la reticulación.



La reticulación se lleva a cabo con un iniciador (generalmente peróxidos) y un acelerador (sales de cobalto). Los iniciadores son moléculas que se descomponen por la acción del calor o de la luz dando especies muy reactivas denominadas radicales. Estos radicales reaccionan con una molécula de poliéster o estireno dando lugar a nuevos radicales produciéndose una reacción en cadena.

Estas matrices presentan las siguientes ventajas:

- Son fáciles de procesar ya que se pueden reticular incluso a temperatura ambiente)
- Poseen buena resistencia química
- Tienen **bajo precio**

Entre sus desventajas destacan:

- Su contracción en el curado es elevada
- La reacción de curado es altamente exotérmica y esto puede generar daños en el material.

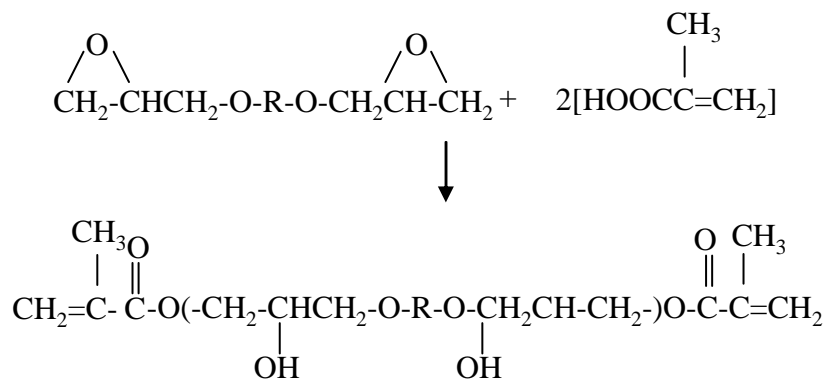
- En la reticulación se producen elevadas emisiones de estireno
- Las **propiedades mecánicas son medias**

### 2.2.2- Resinas viniléster

La obtención de estas resinas insaturadas se lleva a cabo también en dos pasos:

1) **Policondensación**: se produce por la reacción de **una resina epoxi** y **ácidos acrílicos** o **metacrílicos**, que proporcionan la insaturación.

2) **Reticulación** con estireno. La resina preparada en la etapa anterior se impregna con estireno que se adiciona a los dobles enlaces teniendo lugar la reticulación.



Estas matrices presentan las siguientes ventajas:

- Se caracterizan por su **buena resistencia química y a la corrosión**
- Presentan una buena capacidad de adhesión

Entre sus desventajas destacan:

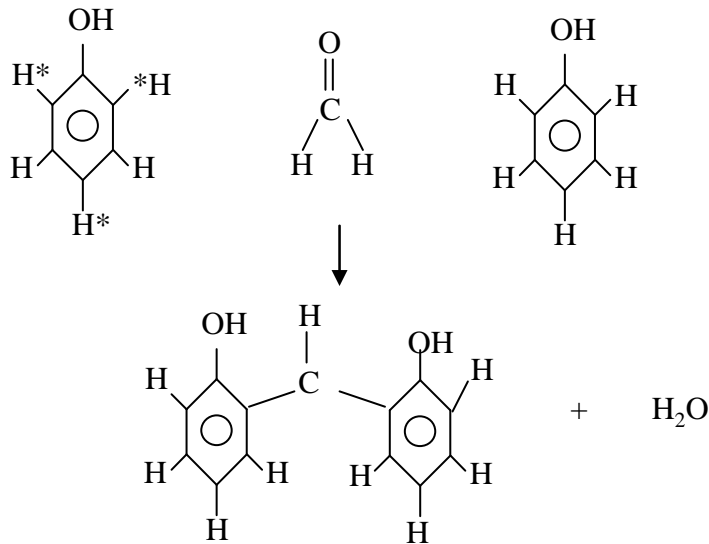
- Su **precio es más elevado** que el de las resinas de poliéster

### 2.2.3- Resinas fenólicas

La reticulación se produce por condensación entre un grupo fenólico y formaldehído, generándose agua como producto residual. El agua debe eliminarse ya que puede dar lugar a defectos en la pieza final por formación de grietas o poros.

Existen dos grandes grupos de resinas fenólicas:

- Novolacas: la relación molar entre fenol y formaldehído es mayor que uno, y se trabaja en medio ácido.
- Resoles: la relación molar entre fenol y formaldehído es menor que uno, y se trabaja en medio básico.



Estas matrices presentan las siguientes ventajas:

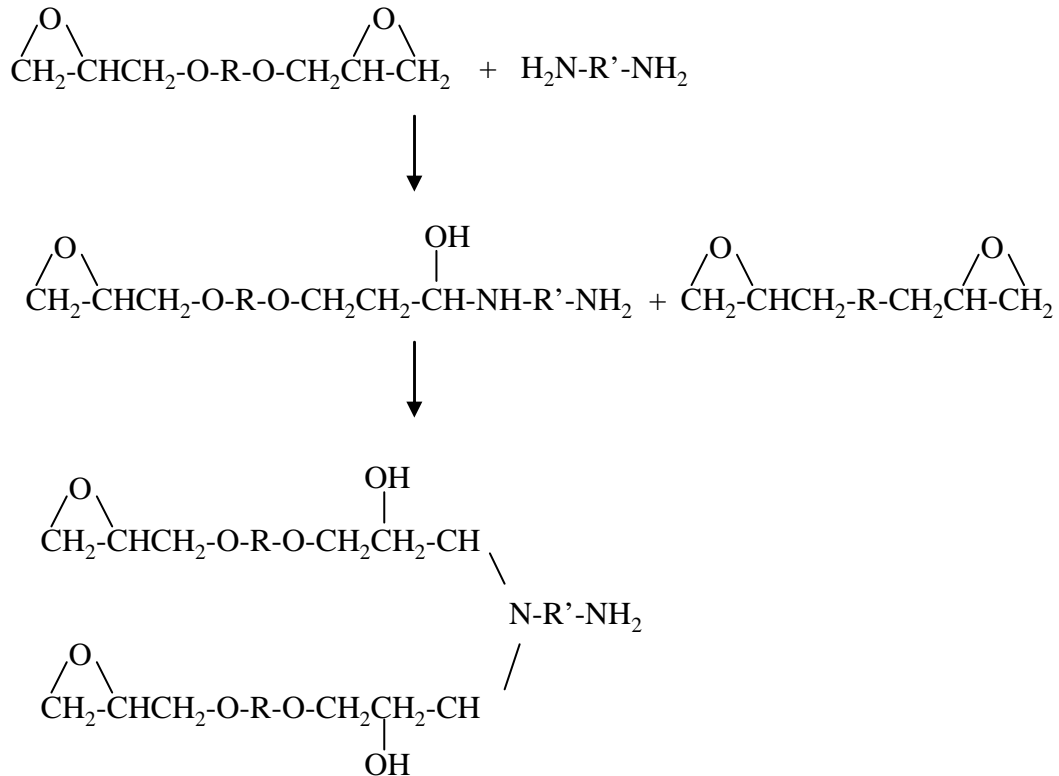
- Dan lugar al **retardo de la llama** y a una baja **emisión de humo y gases tóxicos**.

Entre sus desventajas destacan:

- Se forma agua durante el curado que hay que eliminar para evitar defectos en las piezas
- Las **propiedades mecánicas son bajas**

#### 2.2.4- Resinas epoxi

Prepolímeros con **grupo epoxi** reticulan con iniciadores polifuncionales como **aminas, fenoles o poliácidos**.



Estas matrices presentan las siguientes ventajas:

- Las **propiedades mecánicas son excelentes**
- El grado de contracción durante el curado es bajo
- Su resistencia térmica es elevada

Entre sus desventajas destacan:

- Su **elevado precio**
- El curado de la resina es lento

### **2.3- Matrices termoplásticas**

Están constituidas por **moléculas lineales** unidas por enlaces sencillos. Tienen una temperatura por encima de la cuál empiezan a fluir y al enfriarlos por debajo de esa temperatura vuelven a su estado sólido.

El **procesado** de los termoplásticos consta de una fase de **calentamiento** para ablandar el material y realizar el moldeo y una fase de **enfriamiento** posterior para endurecerlo. está usualmente acompañado por el calentamiento del material para ablandarlo y efectuar posteriormente el moldeo. Una vez moldeado en su forma apropiada se enfría hasta el endurecimiento.

Las matrices termoplásticas se caracterizan por presentar las siguientes propiedades mecánicas:

Ventajas:

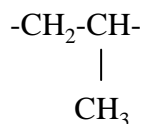
- Buena resistencia química
- Baja absorción de humedad
- Buenas propiedades mecánicas
- Velocidad de producción elevada debido a la menor duración del ciclo de moldeo
- Las piezas se pueden reparar fácilmente al reblandecer las piezas por efecto del calor y unir las partes
- Se pueden reciclar
- Admiten el almacenamiento ilimitado frente a las termoestables que deben almacenarse en condiciones controladas de temperatura y humedad,

Entre los inconvenientes de las matrices termoplásticas destacan:

- Tendencia a la fluencia a temperaturas elevadas
- Para tener buenas propiedades mecánicas el peso molecular debe ser elevado y por lo tanto, la viscosidad también. Esto da lugar a que la impregnación de las fibras sea difícil.
- Requieren temperaturas y presiones elevadas para su moldeo

A pesar de sus desventajas, en la actualidad las matrices termoplásticas están sustituyendo a las termoestables debido sobre todo a su **reciclabilidad**.

### 2.3.1- Polipropileno (PP)

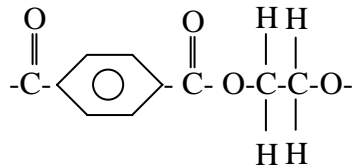


- Es el termoplástico más utilizado como matriz, sobre todo el isotáctico
- Su densidad es la menor entre los termoplásticos
- El PP reforzado presenta además de la reciclabilidad: buenas propiedades mecánicas y térmicas

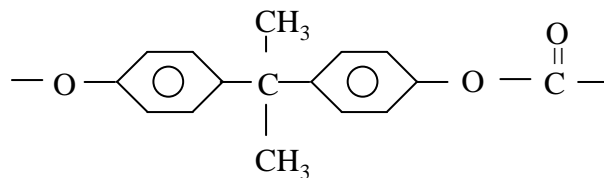
2.3.2- Polietilen tereftalato

Presenta las siguientes características:

- Gran transparencia
- Resistencia a la fluencia
- Buena resistencia al fuego
- Buenas características eléctricas



2.3.3- Policarbonato

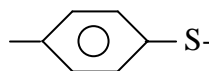


Se caracteriza por su gran transparencia, buena estabilidad dimensional y resistencia frente al fuego. Su principal desventaja es la poca resistencia a los disolventes

- Características:
- Gran transparencia (amorfo)
  - Buena estabilidad dimensional
  - Buena resistencia al fuego

2.3.4- Termoplásticos de altas prestaciones

Se caracterizan por presentar una estructura altamente aromática que les proporciona una alta resistencia mecánica y térmica. Se utilizan en la industria aeroespacial gracias a sus excelentes propiedades a pesar del alto coste de material y la dificultad de procesado. Destaca el polisulfuro de fenileno.





## **2.4- Refuerzos**

El segundo componente de un material compuesto es el refuerzo. Este componente tiene como función transmitir las cargas a la matriz, por lo tanto define la mayor parte de las características mecánicas del material como la resistencia y la rigidez. Puede suponer un 20-80% en volumen del material compuesto. Este apartado se va a centrar en las fibras ya que son el refuerzo más utilizado en los materiales compuestos de matriz polimérica.

### 2.4.1- Fibra de vidrio

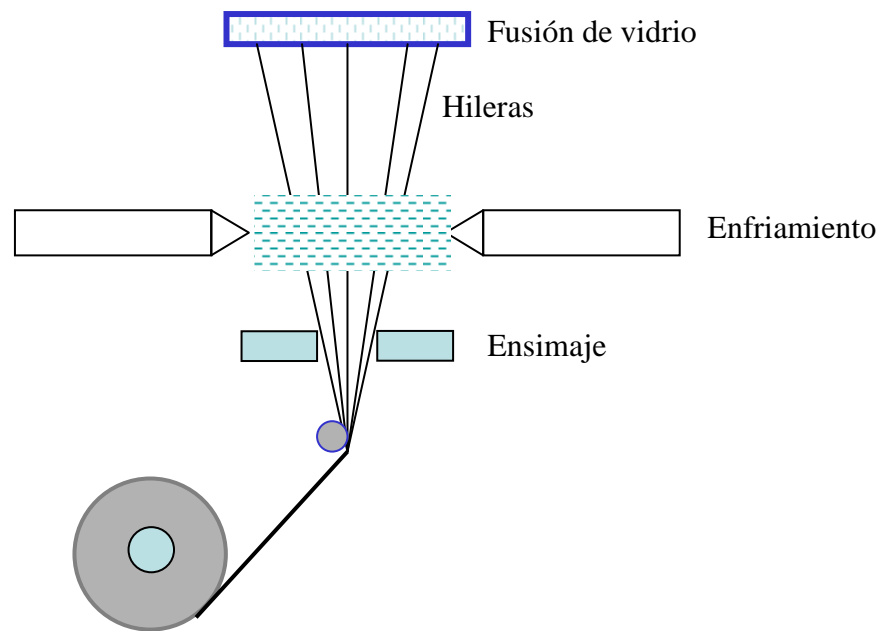
Es la más utilizada debido las siguientes características:

- Su resistencia mecánica específica (resistencia tracción/densidad) superior a la del acero. La resistencia específica se define: resistencia tracción/densidad
- Buena relación propiedades/coste
- Estabilidad dimensional
- Facilidad de fabricación
- Buena resistencia térmica

#### *a) Fabricación de la fibra de vidrio*

El vidrio está formado por sílice ( $\text{SiO}_2$ ) y óxidos ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ , etc..). La fibra de vidrio se obtiene mediante la fusión de sus componentes en un horno y posterior estiramiento del material a su salida por una serie de hileras (Figura 1).

La fibra de vidrio se recubre con un material denominado ensimaje que protege la superficie del deterioro por fricción o abrasión, y facilita la unión entre la fibra y la matriz.



**Figura 1**

*b) Tipos de fibra de vidrio*

Existen varios tipos que se diferencian en su composición química y que por lo tanto presentan diferentes propiedades.:

- E (eléctrico) (vidrio-E): es el más utilizado por su **buena relación propiedades/precio**.
- R (resistance) y S (strength): destaca por sus buenas propiedades **mecánicas**.
- C (chemical): destaca por su buena **resistencia química**. Se puede utilizar en las capas superficiales de estructuras sometidas a atmósferas agresivas.
- D (dielectric): tiene excelentes propiedades **dieléctricas** y se utiliza en circuitos electrónicos.

*c) Presentaciones de la fibra de vidrio*

Se caracterizan por medio de dos valores:

- **Título:** relación entre el peso y longitud de un hilo (depende del diámetro y número de filamentos de un hilo) (g/km).

- **Gramaje:** relación entre el peso de un tejido y su superficie ( $\text{g/mm}^2$ )

Existen varios tipos de presentaciones:

- **Roving:** bobina de hilos continuos (conjunto de filamentos)
- **Mat de hilos cortados:** fieltros de hilos cortados y aglomerados entre sí mediante un ligante químico.
- **Mat de hilos continuos:** fieltro de hilos continuos y aglomerados entre sí mediante un ligante químico. Permite un alargamiento regular en todas las direcciones
- **Mat de superficie o velo:** fieltros de hilos cortados, ligados fuertemente y calandrados
- **Tejido:** formados por conjuntos de hilos entrelazados en dos direcciones

#### 2.4.2- Fibra de carbono

La estructura de la fibra de carbono está formada por planos de anillos hexagonales de átomos de carbono unidos covalentemente. La unión entre planos es por medio de débiles fuerzas de Van der Waals. Las capas de grafito se orientan paralelas al eje de la fibra lo que da lugar a un material de alto módulo y resistencia.

La fibra de carbono se puede obtener por dos materias primas: PAN (poliacrilonitrilo) ( $-\text{CH}_2-\text{CHCN}-$ ) y brea. La forma más económica es la obtención a partir de brea, sin embargo, es más frecuente obtener la fibra de carbono a partir del PAN:

Para obtener fibra de carbono a partir del PAN, las fibras de este material se carbonizan en presencia de oxígeno. Dependiendo de la temperatura de tratamiento se pueden obtener fibras con diferentes propiedades mecánicas: a mayor temperatura, mayor coste del tratamiento y mayor módulo elástico de la fibra.

Existen dos tipos principales de fibra de carbono:

- Fibras HT (High Toughness, alta tenacidad): tienen mejores propiedades mecánicas que la fibra de vidrio, pero peores que el otro tipo de fibra de carbono. Su ventaja es su precio económico.
- Fibras HM (High Modulus) tienen las mejores propiedades mecánicas. Su desventaja es su alto precio.

Entre las ventajas de la fibra de carbono destacan:

- resistencia química
- Coeficiente de dilatación térmica bajo
- Propiedades específicas elevadas

Entre sus desventajas cabe resaltar:

- alto precio
- en contacto con los metales se genera diferencia de potencial que provoca corrosión

#### 2.4.3- Fibras poliméricas

- a) Las más utilizadas son las fibras de aramida (nombre comercial Kevlar). Se obtienen por hilado de poliamidas aromáticas. Para ello una disolución de polímero se extruye en un baño que contiene agua fría y se le añade un coagulante.

Tienen un módulo elástico superior a la fibra de vidrio pero inferior a la de carbono. Se utilizan cuando se necesita buenas propiedades mecánicas y **ligereza**.

- b) Fibras de polietileno: se obtienen por extrusión en estado sólido o por hilado de una solución de polietileno de alto peso molecular. Sus propiedades son similares a las de las fibras de aramida pero su bajo punto de fusión hace que sus propiedades disminuyan rápidamente con la temperatura. Además tiene poca adhesión a la matriz.

#### 2.4.4- Materiales híbridos de refuerzo

Están formados por la conjunción de **dos o más tipos de fibras**. La combinación más utilizada está formada por fibras de vidrio y carbono en matriz polimérica. El compuesto obtenido tiene **mejores propiedades** que si sólo tuviera fibra de vidrio y es **más barato** que si estuviera formado únicamente por fibras de carbono.

Las fibras se pueden alinear y mezclar íntimamente o se pueden laminar en capas alternadas.