

## **11. FABRICACIÓN DE UN LAMINADO DE FIBRA DE VIDRIO Y MATRIZ DE POLIÉSTER. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DE CURADO**

### **11.1. Objetivos docentes**

Familiarizarse con el tipo de materias primas y el material necesario para la fabricación de materiales compuestos fibra de vidrio - poliéster.

### **11.2. Objetivo del trabajo práctico**

Fabricar un laminado (material compuesto con una estructura en láminas) del tipo fibra de vidrio - matriz de poliéster, utilizando materias primas en forma de resinas y fibra de vidrio en distintas presentaciones (mats y tejidos). El curado se realizará a dos temperaturas distintas.

### **11.3. Fundamento teórico**

#### **La matriz tipo poliéster**

Como se indica en la Práctica 10, las resinas de poliéster que se utilizan como matrices de los materiales compuestos se forman mediante el entrecruzamiento con (poli)estireno de moléculas lineales de poliéster (prepolímero) (ver Práctica 10 para más detalles). Los reactivos que se necesitan para esta polimerización son una disolución del prepolímero en estireno (resina líquida), el acelerador y el iniciador. En muchos casos la resina líquida trae ya mezclado el acelerador (resina acelerada), con lo que se evita el riesgo de que se mezclen directamente el acelerador y el iniciador. La resina líquida comercial suele contener además otros aditivos y modificadores como inhibidores de la polimerización (hidroquinona), retardantes del fuego, etc.

El tipo de ácido saturado e insaturado y el dialcohol utilizado en la síntesis del prepolímero y el tipo de entrecruzante da lugar a toda una familia de resinas tipo poliéster. Así hay resinas ortoftálicas, isoftálicas, tereftálicas y tetrahidroftálicas cuando el ácido saturado es el ftálico, isoftálico, tereftálico y tetrahidroftálico respectivamente. En las resinas de poliéster bisfenólicas se utiliza el bisfenol A como dialcohol, y en las resinas al metacrilato de metilo (MMA) se utiliza el MMA junto al estireno para realizar el entrecruzamiento.

El acelerador y el iniciador determinan el tipo de curado. Hay iniciadores que requieren una temperatura mínima para que comience la reacción mientras que otros pueden curar a temperatura ambiente. Algunos necesitan radiación ultravioleta para reaccionar con el acelerador (resinas de curado ultravioleta).

La viscosidad de la resina líquida se ajusta con el peso molecular del prepolímero y con la cantidad de estireno adicionada. La viscosidad de la resina debe ser la adecuada para el tipo de procesado del material compuesto, de modo que moje bien

a las fibras (formación de la interfase) y mantenga la forma de la pieza el tiempo suficiente para el curado.

Las prestaciones del material compuesto van a depender del tipo de polímero sólido que se obtenga tras el curado y de la interfase que se forme entre la matriz y la fibra, de modo que hay que elegir una resina con la formulación más adecuada al tipo de fibra y de procesado que se vaya a realizar. En el mercado existen cientos de resinas poliéster diferentes para la fabricación de materiales compuestos.

## **La fibra de vidrio**

La fibra de vidrio es la más utilizada a día de hoy en la fabricación de materiales compuestos debido a su bajo coste y buenas características mecánicas, térmicas y eléctricas. Además el vidrio es altamente compatible con matrices orgánicas.

Las fibras de vidrio están formadas por aluminosilicatos de elementos alcalinos y alcalinotérreos, una materia prima muy abundante en la naturaleza. El proceso de fabricación incluye la fusión total de la mezcla de materias primas que se hacen pasar por una hilera con orificios de pequeño diámetro y el estirado de las fibras. Se fabrican fibras continuas de unas 10 o 15 micras de diámetro, que muchas veces se agrupan en hilos más gruesos.

Según la composición química existen distintos tipos de fibra de vidrio:

**Vidrio E** (eléctrico): excelente aislante eléctrico. Es el tipo de fibra más utilizado.

**Vidrio A** (rico en álcalis): es menos resistente mecánicamente que el vidrio E pero tiene una mayor resistencia química.

**Vidrio AR** (resistente a los álcalis): es la única fibra que puede utilizarse con el hormigón de cemento Portland.

**Vidrio C** (químico): resistencia mecánica entre el E y el A, pero mejor resistencia química que ambos.

**Vidrio R o S** (resistente): resistencia a la tracción y módulo de elasticidad muy superiores a los otros tipos de fibra de vidrio.

**Vidrio D** (dieléctrico): con propiedades dieléctricas, se utiliza en la fabricación de radares y otros elementos de telecomunicación.

**Vidrio B** (con boro): es un borosilicato de calcio con muy bajo contenido en álcalis. Es un excelente aislante eléctrico de gran durabilidad.

**Vidrio ERC** (eléctrico y resistente químico): combina un excelente aislamiento eléctrico con una alta resistencia química.

**Vidrio X** (rayos X): es transparente a los rayos X. Su composición está basada en el óxido de litio.

Según la presentación industrial de la fibra se distingue:

**Fibra corta** (hilos cortados y fibra molida): son fibras de pequeña longitud (generalmente entre 3 y 12 milímetros) que se utiliza para fabricar materiales compuestos con partículas (fibra molida) o con fibra corta (longitud menor de 15 veces la longitud crítica). Se utilizan mucho para el refuerzo de escayolas, cemento, papel, etc.

**Fibra continua** (bobinas o rovings): La fibra continua se agrupa en hilos de determinado grosor y se enrolla en bobinas que luego se usan en el procesado del

material compuesto. Las fibras continuas se clasifican atendiendo a su título, esto es, la relación entre masa por unidad de longitud (g/Km).

**Mats:** Son capas no tejidas formadas aglomerando fibra corta o fibra continua desordenada (como el fieltro). El hilo que forma el mat puede tener distintos grosores. El velo o mat de superficie está formado por fibras individuales y se distingue por su ligereza y pequeño espesor. El mat grueso está formado por hilos mucho más gruesos. Los mats y tejidos se clasifican atendiendo a su gramaje, que es la masa por unidad de superficie (g/m<sup>2</sup>).

**Tejidos:** Son capas donde unos hilos se entrecruzan con otros formando una trama o dibujo determinado. Dependiendo del diseño de la trama se distinguen telas o tafetanes, satén, sarga, unidireccional (muchos más hilos en una dirección que en la dirección perpendicular), etc. En el tejido las fibras se orientan en el plano según algunas direcciones, lo que hace que los materiales compuestos sean anisotrópicos en el plano.

**Preformas tridimensionales:** Son estructuras tridimensionales formadas tejiendo o aglomerando los hilos y fibras a medida de las piezas de material compuesto que se quieren fabricar.

## **Laminados de materiales compuestos**

El laminado está formado por un conjunto de láminas que se agrupan secuencialmente para dar lugar a un material compuesto de mayor resistencia que las láminas individuales. Este tipo de macroestructura es muy utilizada en los materiales compuestos.

La lámina es la unidad estructural básica del laminado. Es de pequeño espesor y gran superficie, y normalmente está formada por una única capa de fibras en forma de fibra continua o discontinua, un tejido o un mat.

Las láminas unidireccionales están formadas por una capa de fibras continuas alineadas en una dirección. Estas láminas son altamente anisotrópicas en el plano. Las láminas que tienen un tejido son menos anisótropas que las unidireccionales, mientras que las láminas formadas por un mat de fibra corta o fibra continua no alineada se denominan isótropas en el plano. Las láminas con tejidos se denominan equilibradas cuando tienen la misma cantidad de fibra en las dos direcciones perpendiculares.

Los laminados se clasifican según el tipo de láminas que los forman (unidireccionales, tejidos o mats) y según sea la interfase entre las láminas (con adhesivo o sin adhesivo).

Además de las propiedades individuales de cada lámina y la unión entre las láminas, el comportamiento mecánico del laminado depende de cual sea la secuencia de apilamiento de las láminas y del número total de láminas que tiene.

Los laminados unidireccionales se clasifican según la orientación de la fibra de las láminas respecto a las direcciones principales del laminado. En un **laminado cruzado** una lámina está a 0 grados y la siguiente a 90 grados, repitiéndose n veces la secuencia de apilamiento ([0/90]<sub>n</sub>). El **laminado angular** tiene láminas a 0 y a 45 grados, por ejemplo el [0/45/-45]<sub>3</sub>. El **laminado simétrico** tienen la misma secuencia de láminas desde el centro hacia los dos extremos del laminado (el [0/45/90]<sub>s</sub> tiene

la secuencia de apilamiento 0/45/90/90/45/0 si  $n = 2$ . El **laminado** se denomina **homogéneo** si tiene un número alto de láminas ( $n > 10$ ) y además es simétrico. En un **laminado equilibrado** por cada lámina con ángulo  $+\theta$  hay otra con ángulo  $-\theta$ , como por ejemplo los cruzados, unidireccionales, el  $[+30/-30]_n$ , etc.

#### **11.4. Material e instrumental necesarios**

Guantes, gafas y mascarilla  
Cuenco de vidrio de unos 100 ml de capacidad (un par de unidades)  
Cuchara sopera y cuchara de café  
Varilla de madera  
Papel de aluminio y papel de absorbente  
Balanzas de sensibilidad 0,1 y 0.001 g  
Reactivos: Resina tipo poliéster acelerada y catalizador  
Fibras de vidrio de distintos tipos: Mat de superficie, Mat de refuerzo, y tejidos  
Cera desmoldante  
Placa de vidrio gruesa (dos unidades)  
Molde de plástico con forma redonda o cuadrada (opcional)  
Espátula  
Tijeras y cúter

#### **11.5. Protocolo para la realización práctica**

Aunque desconocemos la composición química exacta de los reactivos, sabemos que la resina líquida contiene estireno, y el fabricante indica que son productos tóxicos que no deben respirarse ni entrar en contacto con la piel. Además el acelerador y el catalizador reaccionan de forma explosiva.

**Advertencia:** Los reactivos son **productos químicos tóxicos**.

El **estireno es muy volátil y perjudicial para la salud**. No oler la resina directamente y evitar el contacto con la piel, con especial cuidado de los ojos y la cara. Procurar que la lata de la resina esté abierta el menor tiempo posible.

#### **¡PONTE GUANTES, GAFAS Y MASCARILLA!**

Los componentes de las resinas sin curar son perjudiciales para el medio ambiente. **Utiliza los recipientes habilitados para desechar los restos y sigue las instrucciones que se indican a continuación para trabajar de forma segura y manchar la menor cantidad de utensilios posibles**.

##### **1- Diseño del laminado:**

El laminado se va a hacer utilizando de soporte una placa de vidrio. Elige el tamaño y la forma del laminado. Hay moldes redondos y cuadrados si quieres utilizarlos para la parte lateral. Si no utilizas molde las láminas tendrán algo menos de resina cerca

del borde y probablemente la forma final no será tan regular, pero esto no tiene mayor importancia para el objetivo de la práctica.

Con los mats y tejidos que hay disponibles, elije un diseño para tu laminado, es decir, tipo de láminas, secuencia de apilamiento y número de láminas totales. El laminado tiene que tener al menos tres láminas de dos tejidos o mats diferentes. Un ejemplo de laminado simétrico con cinco láminas es: mat de superficie, tejido, mat grueso, tejido, mat de superficie.

### **2- Preparación del molde y la fibra:**

Corta con la tijera los trozos de tejidos y mats que te vayan a hacer falta para la fabricación del laminado, adaptándolos a la forma del molde y sin que queden arrugados o doblados dentro del mismo.

Pesa en una balanza de sensibilidad 0.001 g la cantidad total de fibra que va a llevar el laminado. Estos trozos de tejido o mat también se pueden aprovechar para calcular el gramaje, midiendo la masa y las dimensiones de cada uno (ver el punto 7 de este procedimiento experimental).

Ten en cuenta que hay que hacer dos laminados con el mismo diseño, uno para curarlo a temperatura ambiente y otro para curarlo a 80 °C.

**ATENCIÓN: La fibra de vidrio es muy rígida y se hinca en la piel como las espinas. Al ser muy fina, la fibra corta se dispersa fácilmente con una corriente de aire. ¡Utiliza guantes y trabájala con cuidado!**

Si vas a utilizar molde, coloca el molde sobre la placa de vidrio y fíjalo con cinta adhesiva. Luego, con los guantes puestos, coge un poco de cera desmoldante con los dedos y unta un trozo de la superficie de las placas de vidrio y del molde como si untaras un molde con mantequilla, de forma que toda la superficie que vaya a ocupar el laminado quede bien recubierta de cera pero sin pegotes.

### **3- Preparación de la resina:**

Para esta resina, el catalizador debe adicionarse al 1,5 % en peso. Vamos a poner aproximadamente 30 g de resina. Antes de comenzar con la parte experimental, calcula los gramos de catalizador que se necesitan.

Utiliza una hoja de papel de aluminio sobre otra de papel de filtro para soltar los objetos manchados con resina. Mientras más cuidadoso y limpio seas menos tendrás que limpiar al final.

Abre la lata con la resina acelerada y agita la mezcla durante unos minutos con una varilla de madera, hasta que se vea que la viscosidad es uniforme.

Una vez homogeneizada, lleva la lata con la resina, el bote del catalizador, el cuenco de cristal, la cuchara y un trozo de papel de aluminio hasta la balanza de sensibilidad 0,1 g. Comprueba que la balanza está protegida con papel de aluminio, tálala y pesa el cuenco de cristal anotando su masa en tu cuaderno.

Tara la balanza de nuevo con el cuenco de cristal puesto y procede a pesar la resina. Con ayuda de una cuchara vierte aproximadamente 30 g de resina en el cuenco de cristal, procurando que no se derrame nada. Cuando lo tengas deja la cuchara y la varilla manchadas sobre papel de aluminio, y tapa lo antes posible la lata con la resina. Anota la masa exacta de resina acelerada que has pesado.

Si la masa de resina es muy diferente de 30 g, recalcula la cantidad de catalizador que hay que adicionar (1,5% en peso).

Tara la balanza con el cuenco con la resina sobre ella. Abre el frasco de catalizador y añade la masa correspondiente con el propio bote. Esto serán aproximadamente 15 gotas de producto, vigila la masa tras la adición de cada gota y ten cuidado de no pasarte. Anota la masa de catalizador adicionada.

**ATENCIÓN: El acelerador que contiene la resina y el catalizador reaccionan de forma explosiva. El mezclado inicial de la resina acelerada debe ser enérgico para evitar que el acelerador esté acumulado en la superficie de la resina a la hora de añadir el catalizador.**

Devuelve todo el material a tu lugar de trabajo dejando la balanza libre, limpia y tarada, y los frascos con los reactivos bien tapados.

Anota la hora que es. Toma de nuevo la varilla de madera y mezcla bien los reactivos. Anota el tiempo de mezclado, que debe ser de unos 5 minutos.

**ATENCIÓN: El tiempo de gel de la resina es de unos 15 minutos, lo que significa que la mezcla que se acaba de preparar mantendrá una viscosidad adecuada para trabajarla y mojar bien a las fibras únicamente durante los siguientes 15 minutos. La resina se irá volviendo más viscosa hasta alcanzar el estado de gel, y a partir de ese punto se endurecerá rápidamente (ver en la práctica 10 el ciclo de curado)**

¡Asegúrate de tener todo listo para aplicar la resina en los 10 o 15 minutos posteriores a la adición del catalizador!

#### **4- Preparación del laminado:**

Comienza a fabricar el primero de los laminados sobre una de las placas de vidrio. Para hacer la primera lámina se coloca una capa de resina con la cuchara grande, luego se pone encima la primera capa de fibra y se empuja contra el molde con un rodillo para que se impregne bien y se eliminen todas las burbujas de aire. Si utilizas molde, te será más fácil aplanarlo con la cuchara que con el rodillo. **NO UTILICES LOS DEDOS.**

Para las siguientes láminas se procede el modo análogo: capa de resina, luego capa de tejido e impregnación en la resina.

Para acabar el laminado se coloca una última capa de resina.

Controla el tiempo que tardas en hacer el laminado y en poner cada capa. Si se te acaba la resina líquida o se endurece antes de acabar el laminado, habrá que hacer otro poco de mezcla de reactivos.

Cuando acabes el primero de los laminados, haz otro de las mismas características sobre la segunda placa de vidrio.

Al final debe quedarte un poco de resina líquida sobrante para hacer un trozo de material polimérico (sin fibra). Unta un trocito de cada una de las dos placas de vidrio con cera desmoldante y vierte un poco de resina en esa zona.

### **5- Curado del laminado**

Según indica el fabricante, esta resina puede curarse a temperatura ambiente, si bien el tiempo de curado de la resina depende de la temperatura a la que se realice la reacción.

Introduce una de las placas de vidrio con un laminado en la estufa a 80 °C. El otro se curará a temperatura ambiente. El curado a temperatura ambiente necesita 24 horas, mientras que a 80 °C son suficientes 20 o 30 minutos. Anota la hora cuando introduces la placa en la estufa y habrá que sacarla a temperatura ambiente a los 30 minutos.

Anota la temperatura del laboratorio y la temperatura de la estufa para conocer a que temperatura se está realizando el curado de cada laminado.

En el tiempo que quede hasta el final de la práctica, cada 10 minutos pincha el laminado con un palillo de dientes para determinar cuando empieza a endurecer. Anota la hora en tu cuaderno.

### **6- Limpieza del material:**

Limpia todos los objetos que estén manchados de resina líquida con papel absorbente, y desecha todos los restos de papel en el contenedor habilitado para ello.

Desecha la varilla de madera, el papel de aluminio y todos los papeles manchados de resina líquida depositándolos en el contenedor y dejando limpio el lugar de trabajo.

### **7- Estudio de las distintas presentaciones de la fibra de vidrio**

Al menos hay que utilizar dos tipos de tejidos o mats para hacer el laminado. Describe en tu cuaderno cada uno de los tipos utilizados, indicando si es un tejido o un mat, si lo forman fibras sueltas o hilos más gruesos formados por muchas fibras de vidrio unidas. Si son hilos, intenta separar las fibras y ver si las fibras son más gruesas o menos que un cabello humano y anota todos estos datos para el informe. En los tejidos observa cómo se entrecruzan los hilos, y haz un dibujo del tipo de malla en tu cuaderno.

También vamos a calcular el gramaje del tejido o mat (masa por unidad de superficie). Para ello, corta un trozo cuadrado de cada uno de los dos tejidos utilizados (pueden ser los mismos que se vayan a utilizar en la fabricación del laminado) y pésalo en la balanza de sensibilidad 0.001g. Mide la superficie del trozo de tejido utilizando una regla milimetrada.

Mide el espesor de los tejidos con un calibre aplicando la teoría de medidas.

### **8- Desmoldado de los laminados y determinación de sus dimensiones y propiedades:**

El desmoldado de los laminados se realizará en la siguiente sesión de prácticas, cuando el laminado curado a temperatura ambiente se haya endurecido completamente y el curado a 80 °C se haya enfriado.

Procede a desmoldar los dos laminados con ayuda de una espátula. Una vez despegado del cristal, despega el molde de plástico flexible tirando de él con las manos si has utilizado molde. Si no has usado molde, utiliza unas tijeras o cúter para recortar los bordes sobrantes y perfilar la forma del laminado, con cuidado de no eliminar nada de fibra.

Pesa cada uno de los dos laminados en la balanza de sensibilidad 0.001 g y mide sus dimensiones aproximadas utilizando un calibre para el espesor y una regla milimetrada para la superficie.

Determina la dureza Mohs en ambos laminados (ver el guión de la Práctica 10), tanto en la superficie de arriba como en la de abajo que ha estado en contacto con la cera. Haz lo mismo en el trozo de polímero sin fibra.

Intenta fracturar el laminado flexionándolo con la fuerza de tus manos. Si es necesario recurre a apoyarlo sobre el filo de la poyata para ver comparativamente cual de los dos laminados opone una mayor la resistencia a la fractura y el tipo de fractura que se produce.

Observa también si hay diferencias de color o de apariencia entre los dos laminados curados a distinta temperatura y anota todas las observaciones para incluirlas en el informe.

### **9- Limpieza de las placas de vidrio:**

Elimina todos los restos visibles de cera y resina de las placas de vidrio con una cuchilla raspacristales. Luego lávalas con agua y jabón, enjuaga abundantemente con agua del grifo, luego con un poco de agua destilada y déjalas secando en la estufa.

## **11.6. Claves para el informe**

- Diseño del laminado elegido.
- Masa total de fibra de cada uno de los dos laminados.

- Gramaje y espesor medio los dos tejidos y mats utilizados. Describir la estructura de los mismos indicando la presencia de hilos o de fibras individuales, el número aproximado de fibras por hilo, el número aproximado de hilos por unidad de superficie, y el tipo de malla tejida.
- Masa de cada uno de los reactivos utilizados para hacer la mezcla con resina.
- Evolución de color y apariencia que hay ido sufriendo la resina en el procesado y el color final del material compuesto.
- Tiempos empleados desde que se mezcla hasta que se comienza a aplicar, tiempo empleado en colocar una lámina. Incidentes relacionados con el endurecimiento inesperado de la resina o la preparación de más cantidad de resina líquida.
- Temperaturas de curado utilizadas, y tiempo en el que se detecta un aumento significativo de la viscosidad en los laminados (prueba con el palillo de dientes).
- Dibujo o foto donde se vea la forma final de cada laminado y sobre el que se indiquen las dimensiones medidas con su error correspondiente.
- Observaciones realizadas sobre distintas propiedades mecánicas (dureza, fractura, flexibilidad o rigidez, ...) para el laminado curado a temperatura ambiente y a 80 °C, así como para el material polimérico sin fibra.
- Comparación de las propiedades mecánicas y ópticas del laminado curado a temperatura ambiente y a alta temperatura.