

# FIBRAS DE REFUERZO EN PINTURAS Y RECUBRIMIENTOS

## Parte I. Funciones de las fibras y de la matriz\*

Carlos A. Giudice

UTN (Universidad Tecnológica Nacional), Calle 60 y 124,  
La Plata, Argentina  
E-mail: cagiudice@yahoo.com

### 1. INTRODUCCIÓN

La mayoría de las tecnologías modernas requiere materiales con una combinación inusual de propiedades, imposibles de diseñar con los existentes en forma individual. Esta necesidad es muy evidente en aplicaciones espaciales, subacuáticas y en los transportes; así, por ejemplo, en la industria aeronáutica se solicitan cada vez más materiales de baja densidad que sean resistentes y rígidos, pero también con muy buen comportamiento frente a impactos, a la abrasión y a la corrosión simultáneamente.

Las combinaciones de propiedades de los materiales se han ampliado mediante el desarrollo de materiales compuestos; estos son sistemas multifase obtenidos artificialmente ("composite" o FRP, "fiber-reinforced polymer").

A nivel internacional, en muchos laboratorios de investigación y desarrollo en tecnología de pinturas y recubrimientos, se está estudiando la influencia de fibras de refuerzo sobre el comportamiento de la película en servicio, las propiedades fisicomecánicas y su aspecto superficial.

Estos sistemas híbridos se formulan y elaboran con fibras de refuerzo de diferentes características físicas y químicas. Se define como fibra a cualquier material que tiene una relación mínima de largo / promedio de la dimensión transversal de 10/1; además la dimensión transversal no debe superar los 250  $\mu\text{m}$ .

Las fases constituyentes, separadas por una interfase, pueden ser química o físicamente distintas; están conformadas por una matriz o fase continua (por ejemplo, un material polimérico) y otra discontinua o dispersa (por ejemplo, fibras de refuerzo), Figura 1.

Este diseño ha combinado entre otros, ciertos metales, cerámicas y polímeros, produciendo una nueva generación de materiales con una mejor rigidez, tenacidad y resistencia a la tracción tanto a temperatura ambiente como a elevadas temperaturas.

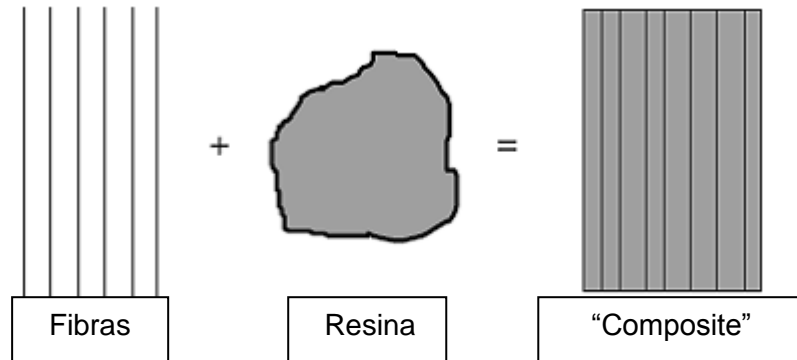
Las propiedades de los materiales compuestos dependen fuertemente de las características físicas y químicas de las fases constituyentes, de sus proporciones relativas y de la geometría de las fases dispersas.

### 2. FUNCIONES DE LAS FIBRAS Y DE LA MATRIZ

Para comprender el comportamiento global de los materiales compuestos resulta importante conocer la función de cada componente del sistema.

Con respecto a las fibras, estas son las siguientes:

- Aportar la resistencia a la tracción requerida al material compuesto.
- Soportar las tensiones internas para evitar la formación de grietas.
- Regular la dureza y la elasticidad.
- Proveer conductividad o aislamiento eléctrico.



**Figura 1. Conformación de un material compuesto con disposición unidireccional de fibras**

Por su parte, la matriz debe realizar las siguientes acciones:

- Obligar a las fibras a trabajar en forma conjunta, para lo cual le debe transferir los esfuerzos de tracción.
- Aislar las fibras entre ellas para que trabajen en forma separada con el fin de controlar la propagación de fisuras en el soporte.

Lo más importante a tener en cuenta es que la fibra es el componente que “absorbe” los esfuerzos de tracción en la dirección axial a las mismas. En sentido perpendicular a la dirección de las fibras, las propiedades resistentes serán exclusivamente las que aporta la matriz polimérica, siendo claramente inferiores.

Uno de los factores más importantes a la hora de seleccionar un sistema es la compatibilidad de la matriz con la fibra de refuerzo; esto implica que no debe existir ninguna reacción química indeseable en la interfase matriz-fibra de refuerzo.

En algunas ocasiones, las reacciones en la interfase pueden conducir a la formación de compuestos intermetálicos los que pueden afectar negativamente la transferencia de carga a la que puede estar sometido el “composite” hacia las fibras; los productos de reacción también pueden actuar como lugares para la nucleación de grietas.

La matriz actúa como un revestimiento de protección de las fibras, protegiéndolas frente ataques mecánicos (golpes, fricción, etc.) y químicos (ácidos, álcalis, etc.).

En resumen, las principales funciones de la matriz en un material compuesto son mantener las fibras de refuerzo en su posición de trabajo y además distribuir eficientemente la carga entre ellos.

### 3. CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES COMPUESTOS

En general, la fase continua del sistema es el componente más “débil” del material compuesto y por lo tanto el más susceptible a presentar defectos tanto de fabricación como de envejecimiento por reacciones internas del sistema o por la agresividad del medio en el cual se encuentra inserto.

La naturaleza de la matriz depende de las condiciones operativas para la que se diseña el material compuesto como así también de las características físicas y químicas del medio.

En los materiales compuestos, generalmente la fase continua es de naturaleza polimérica con refuerzos poliméricos, metálicos o cerámicos (90% de la producción mundial); metálica con materiales dispersos metálicos o cerámicos (8% del total) y cerámica con fibras metálicas o cerámicas (2% de la producción). Algunos ejemplos son los siguientes:

**Matriz metálica:** Este tipo de “composite” se elabora fundamentalmente para componentes aeroespaciales y para motores de diversas características; está usualmente reforzada con fibras continuas y discontinuas y además con partículas de diferente morfología. Un ejemplo característico está dado por las aleaciones de aluminio reforzadas con fibras de boro, de alúmina, carburo de silicio, etc.

**Matriz cerámica:** Las principales fibras de refuerzo que se emplean en este tipo de matrices son el carburo de silicio y el óxido de aluminio. Se elaboran diferentes materiales cerámicos con fines muy específicos.

**Matriz polimérica:** La principal característica de este tipo de material compuesto es, en general, su elevada resistencia a la corrosión y a los agentes químicos; esto fundamenta su creciente empleo en la industria de la pintura. Las principales matrices son formuladas con resinas poliéster, vinílicas, epoxídicas y fenólicas. Las fibras de refuerzo más empleadas son las de vidrio, carbón, aramide (poliamidas aromáticas), boro, polietileno, alúmina y cuarzo, ya sea en forma simple o combinada.

En general, la matriz polimérica está constituida por alguna resina termoendurecible o termoplástica. Ejemplos de “composites” de matriz termoendurecible incluyen materiales epoxídicos, cianatos, bismaleimidas, poliimidas, poliuretanos, poliisocianuratos y similares. Entre los de matriz termoplástica apropiada se encuentran las poliamidas, poliolefinas, polioximetilenos, polisulfonas, polietersulfonas, polietercetonas, sulfuros de polifenileno, éteres de polifenileno, poliésteres (incluyendo los poliésteres cristalinos líquidos), poliestireno, poliuretanos termoplásticos y similares. Desde luego, estas listas de polímeros termoendurecibles y termoplásticos son ilustrativas y no limitantes. Las combinaciones de estos polímeros termoendurecibles y termoplásticos también son apropiadas.

### 4. EMPLEO DE LOS MATERIALES COMPUESTOS

#### 4.1 Fibras y “composites” diversos

En la actualidad estos tipos de materiales se consideran demandantes ideales para microprocesadores, placas de asiento de módulos de potencia y difusión de calor. También se ha incrementado su uso en la industria automotriz para intentar reducir los costos; además, se emplean en motores para disminuir el peso, para soportar los incrementos de temperatura, para mejorar propiedades como la resistencia al desgaste, lubricidad, etc.

En la industria aeroespacial, su uso también contribuye a la disminución de peso de sus componentes, al eficiente empaquetamiento de algunos dispositivos electrónicos para protegerlos de la humedad y otros riesgos ambientales, etc. Este tipo de sistemas también han sido útiles para fabricar cañas de pescar, raquetas de tenis e incluso palos de golf.

Otros “composites” se elaboran directamente con el material usualmente empleado con fines específicos como matriz y con la incorporación de fibras especiales para cada caso; así, por ejemplo, de carbono o poliméricas para mejorar las propiedades del hormigón; de polipropileno, aligeradas con perlas de poliestireno expandido, para el refuerzo del yeso en la construcción; de diversa naturaleza química para evitar fisuras en puentes y pavimentos; de diferentes características para reducir la conductividad térmica en cerámicas; etc.

En el campo de construcción civil el uso de las fibras de refuerzo se fundamenta en la búsqueda de la reducción de las densidades de los materiales (puede alcanzar hasta el 50% del valor original); por lo tanto y dado las mejoradas propiedades fisicomecánicas, el peso de los elementos constructivos que pueden elaborarse con estos “composites” disminuye sensiblemente.

Actualmente, frente a la explosión de la nanotecnología se están utilizando también fibras de refuerzo de dimensiones nanométricas; así, por ejemplo, ya se desarrollado tecnologías que permiten manufacturar materiales compuestos laminados con nanofibras de carbono y microfibras de vidrio dispersadas en resinas poliésteres con vistas a su futura aplicación en la industria del automóvil.

En el campo textil (ropa de vestir, alfombras, cortinas, etc.), se están empleando fibras de refuerzo de diferente naturaleza química como materiales alternativos al amianto por los riesgos para la salud que este presenta.

Las ventajas y desventajas en este campo de cada una de las fibras actualmente en uso, en relación al amiento, son las siguientes:

- **Fibras de amianto.** Se emplea para elaborar tejidos resistentes a la acción del fuego, ya que soporta altas temperaturas de trabajo (500 °C) y por conferirle a los mismos excelente resistencia química. Sin embargo, las telas que tienen incorporado este material como refuerzo son pesadas y de difícil lavado, además de la ya citada acción fuertemente agresiva para la salud humana.

- **Fibras de carbón.** Los tejidos con esta fibra son livianos (baja densidad) y soportan también una elevada temperatura de trabajo continuo (alrededor de 450 °C). Por otro lado, resulta oportuno mencionar que presentan una reducida resistencia a la tracción y fundamentalmente que eliminan cianuro de hidrógeno durante su combustión (gas altamente tóxico).

- **Fibras de vidrio.** Las ventajas fundamentales son la elevada resistencia química por su propia naturaleza, el satisfactorio comportamiento a temperaturas de exposición continua de hasta los 350 °C, su bajo costo, la alta resistencia a la tracción y su buena procesabilidad. La principal desventaja es que resulta altamente irritante para la piel.

- **Fibras de aramida.** Estas poliamidas aromáticas tienen baja densidad, pueden elaborarse con un bajo módulo de elasticidad lo que permite la manufactura de textiles muy flexibles, otorgan suavidad a los tejidos y resisten una temperatura de trabajo de alrededor de los 250 °C. Sin embargo, sus fibras son quebradizas, difíciles de procesar (cortar, tejer, etc.) y resisten pobremente a la acción de la fracción UV de la luz solar.

- **Fibras de polietileno.** Se pueden fabricar con pesos moleculares muy altos, lo cual le confiere propiedades mecánicas similares a las fibras de aramida y con menor densidad que aquellas (alrededor de un 30%); otras ventajas es que presentan elevada resistencia química y a la abrasión, baja absorción de humedad, etc. Su desventaja más significativa es su reducida temperatura máxima de servicio (punto de fusión alrededor de los 140 °C), por lo que se emplean con regular suceso en textiles.

En función de lo arriba mencionado en cuanto al uso de fibras en diferentes materiales, las investigaciones científicas y tecnológicas en el campo de la tecnología de pinturas se han incrementado sensiblemente en los últimos tiempos a nivel internacional empleando ya sea fibras de diferente naturaleza química.

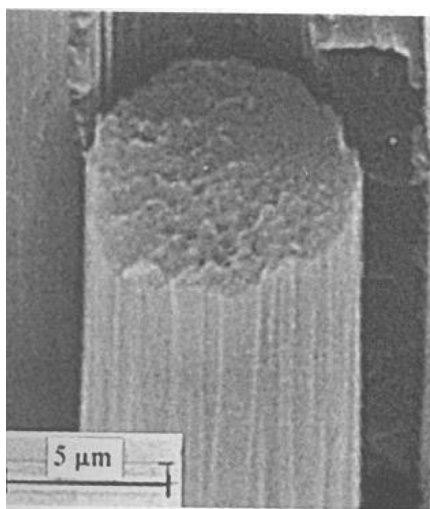
## 4.2 Fibras de refuerzo en pinturas y recubrimientos

### 4.2.1 Semiconductoras

Los términos "fibras de refuerzo conductoras", "fibras conductoras" y similares se refieren a fibras que exhiben una marcada conductividad eléctrica tal como, por ejemplo, las fibras de carbono (que abarcan desde fibras amorfas hasta fibras de grafito), las fibras de carburo de silicio, las fibras de nitruro de boro, las fibras de nitruro de silicio y similares, cuya conductividad se considera demasiado elevada para ser aislante. Generalmente, la conductividad de las mencionadas fibras las sitúa en la categoría de semiconductores.

### - Fibras de carbón

Las fibras de carbón se elaboran por pirólisis controlada y ciclización de ciertos precursores orgánicos tal como el poliacrilonitrilo (PAN), Figura 2.



**Figura 2. Fibra de carbón**

Estas fibras tienen como propiedades físicas una baja densidad (entre 1,5 y 2,0 g.cm<sup>-3</sup>), reducida resistencia a la tracción y elevada rigidez. Sus propiedades mecánicas, como se

mencionara, no se deterioran por la acción de la temperatura hasta valores cercanos a los 450 °C.

En pinturas se emplean fibras de carbón con valores promedio de 1100  $\mu\text{m}$  y 90  $\mu\text{m}$  para el largo y la dimensión transversal, respectivamente.

### **- Fibras de grafito**

El grafito es una forma alotrópica del carbón (hexagonalmente cristalizado). Presenta color negro con brillo metálico, es refractario, se exfolia con facilidad y es no magnético; tiene una densidad a 25 °C de 2,267  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ .

Las fibras de grafito se manufacturan a partir de dos tipos de materias primas:

- Fibras PAN (poliacrilonitrilo), las cuales son del tipo polimérico de origen textil.
- Fibras PITCH, las que se obtienen de la brea de alquitrán de hulla o bien petróleo purificado.

Las primeras, son las más extendidas en la producción de estas fibras, mientras que las fibras "pitch" aportan mayor rigidez aunque son más frágiles (se fracturan con menor elongación porcentual).

Durante el proceso de fabricación, las materias primas se exponen a la oxidación dado que se emplean para ello temperaturas extremadamente altas. Posteriormente, pasan por procesos de carbonización y grafitización. Durante estos últimos, las fibras originales sufren una serie de cambios a nivel químico que les aportan mayores relaciones de rigidez-peso y de resistencia a la tracción-peso.

Se emplea usualmente en pinturas como pigmento para otorgar propiedades conductoras a la película. En la dirección perpendicular a las capas presenta una baja conductividad de la electricidad, la que aumenta con la temperatura, razón por la cual se comporta en esa dirección como un semiconductor; a lo largo de las capas la conductividad es mayor y aumenta también proporcionalmente con la temperatura, lo que le confiere características de un conductor semimetálico.

El grafito está conformado por escamas o láminas cristalinas adheridas entre sí, las que son responsables de la citada exfoliación. Los electrones que se encuentran entre capa y capa son los que conducen la electricidad; estos son los que le confieren a su vez el aludido brillo (la luz se refleja sobre la nube electrónica).

En pinturas se emplean fibras de grafito con valores promedio similares a los ya citados para las fibras de carbón.

### **- Fibras de carburo de silicio**

El carburo de silicio (SiC), también llamado carborundo, es un carburo covalente de relación estequiométrica 1:1 y que tiene una estructura de diamante, a pesar del diferente tamaño de los átomos de C y de Si que podría impedir la misma; la citada estructura le confiere una elevada dureza.

Este compuesto se lo puede definir como una aleación sólida; se basa en que sobre la estructura anfitriona (C en forma de diamante) se reemplazan átomos de este por otros de

Si, siempre y cuando que el espacio disponible sea similar al tamaño del átomo que lo va a ocupar.

El carburo de silicio se trata de un material semiconductor y refractario. Presenta muchas ventajas para ser utilizado en dispositivos que trabajan en condiciones extremas de temperatura, tensión eléctrica y frecuencia.

El carburo de silicio puede soportar un gradiente de un campo eléctrico de hasta ocho veces mayor que el silicio puro o que el arseniuro de galio sin que la rotura tenga lugar, razón por la cual es de utilidad en la fabricación de diodos, transistores, etc. Además, presenta la ventaja de poder manufacturarse con una elevada densidad de empaquetamiento en los circuitos integrados.

Debido a la elevada velocidad de saturación de portadores de carga es posible emplear SiC para dispositivos que trabajen a altas frecuencias, ya sean radiofrecuencias o microondas.

Finalmente, resulta oportuno mencionar que exhibe una dureza de aproximadamente 9 en la escala de Mohs, la cual le proporciona una elevada resistencia mecánica que junto a sus propiedades eléctricas arriba citadas hacen que dispositivos basados en SiC ofrezcan numerosos beneficios frente a otros semiconductores. Además, estas fibras son muy estables incluso en condiciones muy oxidantes.

En pinturas se emplea carburo de silicio en forma de fibra con valores promedio de 1130  $\mu\text{m}$  y 88  $\mu\text{m}$  para el largo y la dimensión transversal, respectivamente.

#### **- Fibras de nitruro de silicio**

El nitruro de silicio ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) se presenta en tres estructuras cristalográficas diferentes ( $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ ). Industrialmente se lo obtiene por reacción directa entre el silicio y el nitrógeno a temperaturas entre 1300 y 1400  $^\circ\text{C}$ .

El nitruro de silicio es un material frecuentemente empleado en la manufactura de cerámicas estructurales con elevadas solicitudes de tensión mecánica y resistencia al desgaste; presenta un módulo de elasticidad moderadamente elevado y una resistencia a la fractura excepcionalmente alta, lo cual lo hace atractivo para su empleo en forma de fibra como material de refuerzo para películas de pintura. Se comporta como un semiconductor y tiene una densidad a 25  $^\circ\text{C}$  de 3,443  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ .

En pinturas se utiliza la forma hexagonal fase  $\beta$  en forma de fibra, con valores promedio respectivamente de 1205  $\mu\text{m}$  y 102  $\mu\text{m}$  para el largo y la dimensión transversal.

#### **- Fibras de nitruro de boro**

El nitruro de boro (CB) es un compuesto binario del boro, que consiste en proporciones iguales de boro y nitrógeno. El compuesto es isoelectrónico al carbono (el boro aporta 3 electrones de valencia y el nitrógeno 5) por lo que el nitruro de boro tiene formas polimórficas, homólogas a los alótropos del carbono.

El nitruro cúbico de boro (c-BN) es un material artificial extremadamente duro, aunque de una dureza menor a la del diamante; al igual que este último, el c-BN es un aislante eléctrico y un excelente conductor de la energía térmica. Es ampliamente utilizado como un abrasivo para herramientas industriales, en especial para el mecanizado de aceros aleados y materiales de gran dureza.

Los BN hexagonales se pueden preparar bajo la forma de fibras, estructuralmente similares a las fibras del carbón, razón por la cual frecuentemente se lo denomina “fibra blanca del carbón”. Estas pueden ser preparadas por la descomposición térmica, a aproximadamente 1800 °C, de fibras de borazina con la adición del óxido del boro en una atmósfera de nitrógeno; también puede ser preparado por la descomposición térmica, a alrededor de los 1000 °C, de fibras de celulosa impregnadas con ácido bórico o tetraborato del amonio en una atmósfera de amoníaco / nitrógeno.

Las fibras del nitruro del boro se utilizan como refuerzo en materiales compuestos basados en matrices poliméricas, cerámicas y metálicas. En pinturas se utilizan en forma de fibras, con valores promedio respectivamente de 980 µm y 110 µm para el largo y la dimensión transversal.

## **4.2. Aislantes**

Las fibras con características aislantes desde un punto de vista eléctrico más ampliamente usadas son las siguientes:

### **- Fibras de vidrio**

El vidrio es un material duro, transparente y amorfo; se obtiene por fusión a aproximadamente 1.500°C a partir de la sílice (SiO<sub>2</sub>), el carbonato de sodio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) y la piedra caliza (CaCO<sub>3</sub>). Las propiedades más relevantes que presenta el vidrio son el satisfactorio comportamiento frente al ataque por agentes químicos, la alta resistencia eléctrica y el elevado módulo de elasticidad en relación a un material formador de película adecuadamente plastificado; tiene una densidad a 25°C de 2,491 g.cm<sup>-3</sup>.

La fibra de vidrio (“fiberglass”) es un material fibroso obtenido al hacer fluir vidrio fundido a través de una pieza de agujeros muy finos; al solidificarse, presenta la suficiente flexibilidad para ser empleado como fibra.

Las fibras de vidrio se las emplea, además de la ya citada industria textil, para construir cascos de veleros, terminaciones de tablas de surf, cables de fibra óptica utilizados en el mundo de las telecomunicaciones para transmitir señales lumínicas, producidas por láser o LEDs.

También se utiliza habitualmente como aislante térmico en la construcción, en forma de mantas o paneles de unos pocos centímetros de espesor.

Entre sus principales propiedades para su empleo en pinturas, merecen citarse el buen aislamiento térmico, su inercia frente a ácidos, su bajo costo y su elevada resistencia térmica, etc. En pinturas se emplean fibras de vidrio con valores promedio de 955 µm y 86 µm para el largo y la dimensión transversal, respectivamente.

### **- Fibras de alúmina**

Las fibras de alúmina policristalina se pueden elaborar por extrusión partiendo de una densa mezcla de polvos finos de alúmina en suspensión en una matriz de alginato; luego se sinteriza la masa fibrosa a alta temperatura. Las fibras de alúmina son muy fuertes desde un



punto de vista mecánico y además son resistentes a temperaturas tan elevadas como los 900-1000 °C.

Las fibras utilizadas para manufacturar diversos materiales compuestos son relativamente no inflamables, por lo que no requieren un tratamiento superficial previo. Sin embargo, a altas temperaturas se ablandan o se funden y por lo tanto su resistencia mecánica se reduce sensiblemente. Las fibras de alúmina son muy rígidas (elevado módulo de elasticidad); usualmente tienen una densidad entre 3 y 4 g.cm<sup>-3</sup>.

Estas fibras se utilizan con resinas epoxi, fenólicas, etc. con valores promedio de 1150 µm y 95 µm para el largo y la dimensión transversal, respectivamente.

#### **- Fibras de cuarzo**

El cuarzo es una sílice cristalina (romboédrica) por lo que no es susceptible de exfoliación; químicamente es dióxido de silicio (SiO<sub>2</sub>).

Se presenta usualmente incoloro (estado puro), pero puede adoptar numerosas tonalidades si lleva impurezas; su dureza es tal que puede rayar los aceros comunes.

Se emplea en pinturas con frecuencia como extendedor luego de ser molido y clasificado por tamaño (diámetro medio entre 1,5 y 9,0 µm). Es un material aislante desde el punto de vista eléctrico; su densidad a 25°C es 2,650 g.cm<sup>-3</sup>.

En pinturas se emplea cuarzo en forma de fibra con valores promedio de 1118 µm y 95 µm para el largo y la dimensión transversal, respectivamente.

#### **- Fibras de aramida**

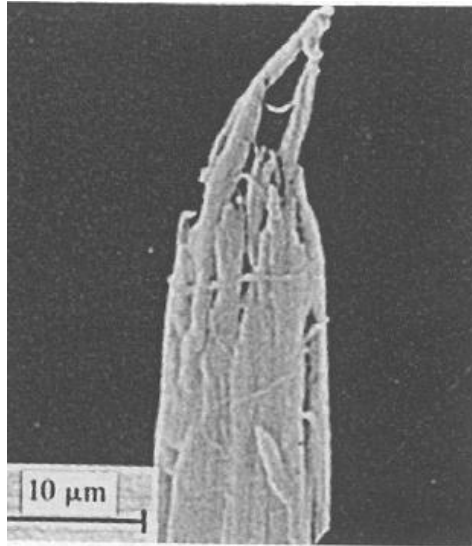
Estas fibras están basadas en poliamidas aromáticas en las que al menos el 85% de los grupos amido están conectados directamente a un grupo aromático. Las fibras de aramida están generalmente disponibles en el mercado en las formas de alto y bajo módulo de elasticidad; como se mencionara, su principal ventaja es su baja densidad, 1,410 a 1,450 g.cm<sup>-3</sup> (más reducida que las fibras de vidrio y carbón), Figura 3.

Tienen una aceptable estabilidad térmica hasta los 250 °C y requieren un elevado nivel de oxígeno para su combustión.

En pinturas se emplean fibras de aramida con valores promedio de 1180 µm y 100 µm para el largo y la dimensión transversal, respectivamente.

#### **- Fibras compuestas**

Actualmente existen fibras compuestas por materiales diversos con el fin de aunar sus propiedades intrínsecas y disminuir costos, Figura 4. En el caso de la citada figura, el núcleo central está construido en tungsteno, rodeado de carburo de silicio (β-SiC) y un recubrimiento superficial de carbono.



**Figura 3. Fibra de aramida**



**Figura 4. Fibra compuesta**

### **- Fibras de poliolefinas**

Las poliolefinas constituyen un grupo de materias sintéticas cuya principal ventaja técnica estriba en su economía ya que proceden de los subproductos de la destilación y craqueo del petróleo. A este grupo pertenecen los polietilenos apropiados para tejidos técnicos, cuerdas, telas filtrantes, etc. pero no, como se mencionara, para vestimenta por su bajo punto de ablandamiento y alta contracción; los polibutadienos y los polipropilenos no son apropiados para fabricar fibras, excepto los isotácticos que se emplean en la fabricación de alfombras, lonas, tapizados, mantas, medias, etc.

Las fibras de polietileno y de polipropileno se obtienen por hilado en fusión de las poliolefinas correspondientes, es decir, por extrusión del material en estado fundido a través de orificios. Los filamentos plásticos que salen de la tobera son estirados a varias veces su longitud para aumentar su resistencia mecánica, solidificando en el aire.

La polimerización del etileno puede llevarse a cabo en fase gaseosa a presiones y temperaturas altas siguiendo el mecanismo de radicales libres o bien a 60-70 °C y presión normal en presencia de aluminio trietilo según el mecanismo aniónico. En el primer caso se obtienen polietilenos de bajo peso molecular, con ramificaciones metílicas que se caracterizan por su elasticidad y flexibilidad y en el segundo caso resultan polietilenos de mayor peso molecular, no ramificados y más duros y rígidos que los anteriores.

El polipropileno isotáctico presenta en su cadena macromolecular una repetición regular de las unidades monómeras con átomos de carbono terciario de igual configuración estérica, es decir, los sustituyentes metílicos se encuentran todos por encima o todos por debajo del plano determinado por la cadena carbonada. Se obtiene por polimerización del propileno mediante catalizadores heterogéneos estéreo-específicos, los cuales actúan absorbiendo y orientando el monómero en su superficie, formándose luego las cadenas poliméricas ordenadamente en dichas unidades orientadas.

El polipropileno isotáctico es la poliolefina que presenta mayor grado de cristalinidad y empaquetamiento molecular, junto con las propiedades mecánicas más favorables. Tiene la ventaja de poseer una temperatura de ablandamiento superior a la del polietileno, siendo además de menor densidad. Las fibras son estables a los reactivos químicos y a la corrosión, no absorben agua ni humedad, pero son sensibles a las radiaciones ultravioletas.

Las fibras de poliolefinas se emplean exitosamente en la formulación de pinturas al látex, particularmente para exteriores; las fibras tienen valores promedio de 150  $\mu\text{m}$  y 85  $\mu\text{m}$  para el largo y la dimensión transversal, respectivamente.

## **5. AGRADECIMIENTOS**

El autor agradece a las autoridades de la Facultad Regional La Plata de la Universidad Tecnológica Nacional y a la Comisión Directiva de ATIPAT (Asociación Tecnológica Iberoamericana de Pinturas, Adhesivos y Tintas) por el apoyo brindado para la preparación de este trabajo.