



Foto: www.toray.com

► Fibra de Carbono, Presente y futuro de un material revolucionario

Carolina Llano Uribe
Periodista Metal Actual

El mercado mundial de fibra de carbono alcanzará US\$12 millones en 2011.

Un compuesto más ligero que el acero, con igual resistencia, inmune a la corrosión, que puede adoptar diversas formas y adaptarse a las necesidades de múltiples sectores.

A pesar de tener un crecimiento anual de 7 por ciento en la última década, el mercado de los materiales compuestos o 'composites', sigue siendo un sector exclusivo y poco accesible. Efectivamente, aunque su industria lleva más de 40 años produciendo diferentes y mejorados tipos de materiales, la oferta sólo representa cerca del 4 por ciento de las materias primas utilizadas por la industria de manufacturas.

Las cifras son reveladoras: el año pasado la producción mundial de materiales compuestos se acercó tímidamente a 10 millones de toneladas métricas, mientras la producción de acero sobrepasó los 100 millones de toneladas.



Foto: www.toray.com

► Los fabricantes de fibra de carbono buscarán aumentar la producción del material en 50 por ciento durante el próximo lustro.

La demanda se reduce a sectores muy específicos, como el automovilismo, aeronáutica, aeroespacial, armamento y deporte de alto rendimiento.

Este panorama es consecuencia directa, tanto del desconocimiento –por parte de la industria– de las propiedades y ventajas de los ‘composites’, como de sus altos precios en el mercado, a razón del elevado costo de las materias primas e insumos y los complejos procesos de fabricación.

El ejemplo más evidente, es el caso de la fibra de carbono que, aunque es uno de los materiales más populares de este segmento, sigue siendo visto como un compuesto exótico, de gran valor económico y particularmente complejo. Así mismo, aún existen grandes interrogantes respecto a este material, pocos conocen sus orígenes, cómo se fabrica y que ventajas tiene.

Por estas razones, en el último lustro los principales fabricantes de fibra de carbono (Toray, Toho-Tenax, Mitsubishi Rayon Co, SGL, Hexcel, Cytec, y Zoltec) han desarrollado estrategias para aumentar y diversificar su uso y aplicaciones. Una de ellas, se sustenta en la firma de acuerdos de abastecimiento a largo plazo entre las compañías que requieren altos volúmenes de este material con las empresas productoras, como es el caso de Boeing, a quien la empresa Toray, acordó suministrarle el material más allá del año 2020.

Por otra parte, el mercado espera la disminución gradual de los precios de la fibra de carbono, como consecuencia directa de la caída de

los costos de los hidrocarburos, principal insumo para su elaboración. Desde hace un poco más de un año el petróleo ha sufrido una caída histórica, pasó de cotizarse a US\$147 en julio de 2007, en las bolsas de Nueva York y Londres, a menos de US\$37 al cierre del año pasado.

Al respecto, Uwe Wascher, presidente de GE Plastics, afirmó en una entrevista para la agencia internacional de noticias AFP, que hace un año y medio, el costo promedio de los insumos de hidrocarburos representaba ya el 67 por ciento del costo total de la fibra de carbono y por ello, para el sector de los compuestos, la disminución de su precio es considerada altamente satisfactoria.

Con un panorama de mayor demanda, oferta garantizada y precios competitivos, el mercado espera aumentar la penetración de la fibra de carbono y diversificar su aplicación en otros sectores. Los fabricantes tienen la proyección de elevar su producción a un total de 45.000 toneladas para el año 2010, de hecho la empresa SGL anunció que buscará alcanzar las 10.000 toneladas para el 2012 (cinco veces más de su producción en el 2007).

En la actualidad, no hay que olvidar que el desarrollo de nuestra sociedad sigue marcado por la necesidad de reducir el consumo de energía, lo que aumenta cada vez más la demanda de materiales más resistentes y duraderos, independientemente de su campo de aplicación y son fundamentalmente los materiales compuestos y

específicamente la fibra de carbono, los que están dando respuesta a estas necesidades.

La fibra de carbono ofrece amplias ventajas con relación a productos competidores, aportando numerosas cualidades funcionales, en especial por su ligereza y resistencia mecánica. Por todas estas razones, es conveniente y oportuno conocer más sobre este material, sus orígenes, características y su futuro.

Esencialmente Carbono

La fibra de carbono se incluye en el grupo de los materiales compuestos, es decir, aquellos que están hechos a partir de la unión de dos o más componentes, que dan lugar a uno nuevo con propiedades y cualidades superiores, que no son alcanzables por cada uno de los componentes de manera independiente.

En el caso particular de la fibra de carbono, básicamente se combina un tejido de hilos de carbono (refuerzo), el cual aporta flexibilidad y resistencia, con una resina termoestable (matriz), comúnmente de tipo epoxi, que se solidifica gracias a un agente endurecedor y actúa uniendo las fibras, protegiéndolas y transfiriendo la carga por todo el material; por su parte el agente de curado ayuda a convertir la resina en un plástico duro.



► Las fibras de carbono son cuatro veces más flexibles que las mejores aleaciones de acero y pesan una cuarta parte.

De la combinación de estos tres componentes, se obtienen las propiedades mecánicas del nuevo material, pues aunque la malla de hilos de carbono, constituye por sí sola un elemento resistente, necesita combinarse con la resina para que la proteja de factores externos y esfuerzos físicos.

• Tejido de carbono (refuerzo)

El tejido de fibras de carbono procede de una mezcla de polímeros, el más utilizado es el PAN (poliacrilonitrilo) que por ser la materia prima se llama precursor y que normalmente se combina con otros polímeros: metil acrilato, metil metacrilato, vinil acetato y cloruro de vinilo, todos derivados del petróleo, que es carbono¹ concentrado, proveniente de restos de materia orgánica (fósiles).

En particular, el PAN es una fibra de plástico formada por largas cadenas de moléculas de carbono, oxígeno, nitrógeno e hidrógeno en forma de escalera. Cuando se calienta el PAN en correctas condiciones de temperatura, las cadenas de moléculas de carbono se juntan mientras los demás elementos se separan, los átomos de carbono del polímero cambian de distribución y forma una estructura

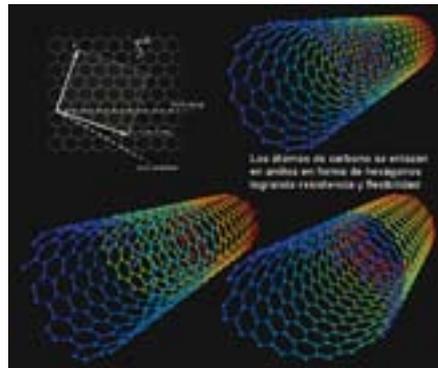
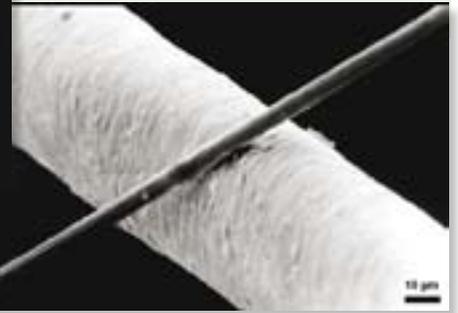


Foto: www.eltamiz.com

► Entre 5 y 10 micras mide un filamento de carbono, cinco veces más delgado que un cabello humano.



estable de anillos fuertemente unidos que soportan los unos a los otros.

Mediante un nuevo calentamiento, los anillos se juntan en 'listones' de hexágonos de átomos de carbono muy flexibles, a diferencia del grafito, cuya estructura permanece plana. La unión flexible de los listones evita que se deslicen, como pasa en la estructura plana del grafito, lo que resulta en un notable incremento en la resistencia del material.

Los hilos de PAN son trefilados en filamentos cinco veces más delgados que un cabello humano y están compuestos entre 92 y 100 por ciento de átomos de carbono, según sean las propiedades que se busquen. En síntesis, la fibra de carbono se produce por la quema controlada del oxígeno, nitrógeno y otros elementos diferentes al carbono de la fibra precursora, dejando solo el carbono en el material.

Algunos fabricantes también utilizan precursores de rayón, proveniente de la celulosa y precursores de alquitrán, relativamente más baratos que el PAN pero menos efectivos. Cada tipo de precursor tiene su técnica de procesado pero, en general, todos siguen una misma secuencia, teniendo como base el proceso de fabricación con PAN, se pueden distinguir las siguientes etapas:

• **Estabilización:** durante esta fase las fibras de PAN son sometidas a

temperaturas entre los 200°C y 300 °C mientras que son estiradas y alargadas a través de un horno de oxidación, con el fin de darles la orientación molecular requerida para que puedan tener estabilidad dimensional y de esta manera evitar que se fundan en el siguiente proceso.

- **Carbonización:** una vez las fibras han adquirido estabilidad, son sometidas a temperaturas superiores a los 1.000°C bajo una atmósfera inerte, es decir, en la que ningún agente externo interfiere en el proceso. Durante este periodo de calentamiento los átomos de nitrógeno e hidrógeno desaparecen y los anillos hexagonales de carbono puro se orientan a lo largo de toda la longitud del hilo.
- **Grafitización:** es un nuevo tratamiento de calentamiento a temperaturas, por encima de 2000°C, el tamaño de los cristales de carbono aumenta y mejora la orientación de los anillos en la fibra.
- **Tratamiento de superficie:** finalmente, la fibra pasa a través de una cámara donde se le aplica un producto catalizador que promueve la adhesión de la fibra a la resina.

Hasta este punto del proceso se obtiene el producto primario: los filamentos individuales de carbono, también llamados mechas, con un diámetro que oscila entre 5 y 8 micras (µm), que son trenzados entre sí en grupos de

Características y aplicaciones de las fibras de carbono

Propiedades	Aplicaciones
<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia, mecánica, tenacidad y densidad. • Estabilidad dimensional (logra conservar su forma) • Amortiguación de vibraciones, resistencia y tenacidad. • Resistencia a la fatiga y auto-lubricación. • Resistencia química y térmica. • Alta conductividad eléctrica • Compatibilidad biológica 	<ul style="list-style-type: none"> • Transporte y artículos deportivos • Tecnología aeroespacial • Equipos de audio, brazos de robot • Maquinaria textil, ingeniería en general • Industria química y nuclear • Componentes equipos electrónicos • Medicina (prótesis, equipamiento quirúrgico)

5.000 y 12.000 mechas y se conocen con el nombre de *roving*. También existen *rovings* pesados (*Heavy Tow*) que se componen de 120.000 a 400.000 filamentos, estos hilos se venden en el mercado en forma rollos de 50 y 100 metros de fibra, a un precio en promedio de US\$80 el metro.

Vale señalar que por si solos los hilos no tienen ninguna función, por eso necesitan ser combinados con la resina y el catalizador para formar el material compuesto. Así las cosas, una vez se tienen los *rovings*, estos son entretejidos para conformar una malla o tela de carbono, la cual finalmente, se usa para la obtención de las láminas de fibra de carbono, al ubicarla perfectamente en un molde e impregnarla con la resina y el catalizador.

Hay diferentes procesos para la impregnación, industrialmente se utiliza la transferencia, inyección e infusión, pero también hay quienes hacen el trabajo de forma manual, con brochas, espátulas o pistola.

En el método por transferencia de resina (RTM); se genera vacío en un molde cerrado y precalentado, con el tejido de carbono seco en su interior, para, a continuación transferir la resina a presión hasta llenar el molde. De forma similar, se hace en el sistema por inyección, con la variante que puede utilizarse tanto en moldes cerrados como abiertos y con bolsa de vacío.

Por su parte, en la infusión (RTI); la resina en forma de película semidura, se coloca en el molde al mismo tiempo que el tejido seco. Al aplicar calor y presión la resina se difunde por la fibra, hasta impregnarla completamente. Este proceso puede realizarse en un horno autoclave, o simplemente con calor y vacío.

La polimerización final, dependiendo de las especificaciones de la resina, se puede hacer a temperatura ambiente, en estufa con molde abierto o bolsa de vacío, por lo general las compañías fabricantes utilizan hornos autoclave para el curado.

El mercado ofrece también rollos de cinta del material previamente impregnado (prepreg), que en su mayoría debe ser curado en hornos a temperaturas que varían entre 160°C y 300°C por un tiempo de entre 8 a 16 horas. El

Foto: www.toray.com



► Grandes fabricantes utilizan modernas técnicas para polimerizar la FC en lámina. También es posible hacer el proceso manual, con brocha, espátula o pistola, incluso curarla a temperatura ambiente.



Foto: www.picasaweb.google.com



Foto: <http://es.motorfull.com>

► La FC es utilizada principalmente en componentes con alto grado de desarrollo tecnológico.

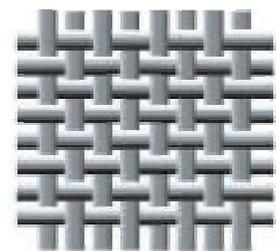
mercado estadounidense y europeo cuenta con presentaciones de cintas que se curan a temperatura ambiente.

Es importante destacar que dependiendo de la orientación del tejido, la tela de carbono puede ser más fuerte en una dirección determinada o igualmente fuerte en todas las direcciones. Las fibras ofrecen sus mejores propiedades cuando se entretejen en la dirección de las tensiones, es decir, que en un caso ideal deberían alinearse las direcciones de las fibras con la dirección de la fuerza exterior.

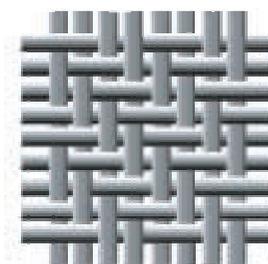
Por esta razón, una pequeña pieza puede soportar el impacto de muchas toneladas y deformarse mínimamente, ya que las fuerzas del choque se distribuyen y son amortiguadas por la malla. De ahí la importancia en la elección del número y orientación de las fibras que forman el tejido para obtener una rigidez y resistencia que cumpla con los requisitos deseados en la aplicación.

Los siguientes son los tejidos más comunes:

Tejido plano o plain, un tejido plano es aquel en el que cada hilado longitudinal y transversal pasa por encima de un hilo y por debajo del próximo. Esta construcción proporciona una tela reforzada que es ampliamente usada en aplicaciones generales y garantiza laminados de buen espesor. Este tipo de tela es muy estable, por lo que difícilmente se distorsiona.



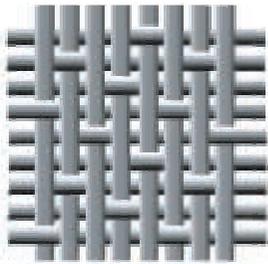
PLAIN



TWILL

Tejido cruzado o twill: en un tejido cruzado el número de hilados longitudinales que pueden pasar sobre los transversales (y recíprocamente) pueden variarse, dando distintas construcciones de tejidos cruzados. Estos se marcan más fácilmente que los tejidos planos y son fácilmente humedecidos para que se adhieran a la resina.

Tejido satinado o satín: en las telas del tejido satinado el entrelazado es similar al del cruzado, aunque el número de hilados longitudinales y transversales que pasan recíprocamente por encima y por debajo, antes del entrelazado, es mayor. Por lo tanto, un lado del tejido se construye principalmente con fibras longitudinales, y el otro lado, con transversales. Tiene un excelente acabado superficial, similar al satín, de allí su nombre.



SATIN

• Resina epoxi (matriz)

El segundo componente básico de la fibra de carbono es la resina, una clase de polímero termoestable, es decir, que se endurece cuando se mezcla con un agente catalizador y no se puede volver a fundir al calentarla. La más utilizada es la resina epoxi, el diglicidileter de bisfenol A (DGEBA), cuya dureza supera a la de otras como las de poliéster y viniléster, por ello puede desempeñarse a temperaturas muy altas, más de 180°C, tiene buena adherencia a muchos sustratos, baja concentración durante la polimerización y es especialmente resistente a los ataques de la corrosión y agentes químicos.

Los sistemas de resinas comerciales son a menudo una mezcla compleja de resinas, agentes de curado, catalizadores/aceleradores, modificadores termoplásticos y otros aditivos, generalmente, en una proporción de aproximadamente 80 por ciento resina y 20 por ciento de catalizadores o aceleradores. De este modo éstas pueden ser adaptadas para reunir los requerimientos necesarios de alto rendimiento en cada aplicación.

La función de la matriz en el material compuesto, en relación con las fibras, además de protegerlas contra las condiciones ambientales o agentes mecánicos que pudieran dañarlas o desgastarlas, es permitir la transferencia de tensiones entre ellas, en esfuerzos de tracción y soportarlas, para evitar su pandeo. La resina epoxi es comercializada por kilogramos y su costo aproximado es de US\$18 el kilo.

En conclusión, las fibras de carbono presentan una combinación de características que compensa sus precios y las convierten, para determinadas aplicaciones, en una alternativa valiosa. Sobresalen por poseer un excelente conjunto de propiedades mecánicas, entre las que se destacan: su baja densidad, ligereza, resistencia mecánica y química, mantenimiento reducido y libertad de formas. En general, superan las ofrecidas por los diferentes tipos de aceros, hierros y aluminio.

También brindan la seguridad gracias a una mejor resistencia a los impactos y al fuego, ofreciendo un mejor

aislamiento térmico y eléctrico. A su vez, enriquecen las posibilidades de diseño, permitiendo aligerar estructuras y realizar formas complejas, aptas para cumplir varias funciones.

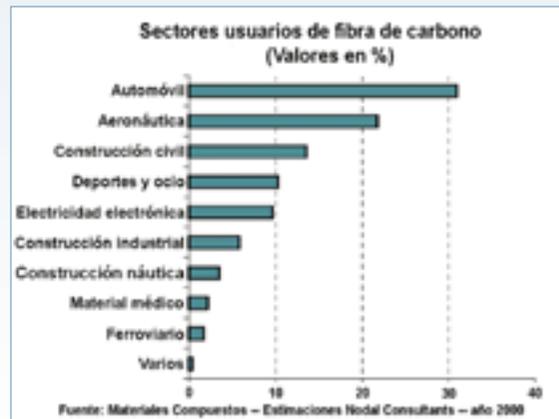
Es cierto que el costo de fabricación de la fibra de carbono es superior al de los materiales tradicionales como el acero, sin embargo, ahorrando piezas de enlace y mecanización, reduciendo de manera importante los gastos de mantenimiento y aumentando la vida útil y la seguridad, las ventajas pueden valorizarse en términos de beneficios con el uso. En realidad, la fibra de carbono como solución representa para la industria un 'salto tecnológico'. Es una alternativa, que seguramente no desplazará el uso de los materiales tradicionales, en cambio será más utilizada como complemento ideal para optimizar los productos y mejorar la relación costo/beneficio.

Mercado

Según el estudio "Materiales Compuestos – Estimaciones Nodal Consultants – año 2000", del Ministerio de Economía, Finanzas e Industria de Francia, la producción de fibra de carbono se desarrolla rápidamente, con un crecimiento aproximado de 7 por ciento anual, especialmente en los países pertenecientes a la Unión Europea, los cuales superan el 90 por ciento de la producción mundial de materiales compuestos. Aunque su costo es más elevado que el de los materiales tradicionales, ofrece importantes ventajas gracias a sus excelentes propiedades, en particular la ligereza y la resistencia. Tales ventajas han abierto a la fibra de carbono importantes mercados en la fabricación de automóviles (se incluyen componentes como rodamientos, engranajes, aspas de ventiladores y toda clase de autopartes), la aeronáutica, industria marítima e incluso también en la construcción.

Otro campo en expansión para la fibra de carbono es el de la fabricación de aerogeneradores, en el que la fabricación de aspas con este material se proyecta como su segunda aplicación después de la industria aeroespacial. Según la multinacional productora de turbinas "Vestas", se prevé que para el año 2020 la cuota total de la energía eólica se incrementará hasta en un 10 por ciento.

Así mismo, el estudio refleja que si bien Estados Unidos es por mucho el mercado más importante y representa 47 por ciento (3,4 Tn) de la transformación mundial de "composites", es también el mercado con menor crecimiento, a una tasa de 4,5 por ciento anual, mientras que los mercados de Europa y Asia representan 28 por ciento (2 Tn) y 23 por ciento (1,6 Tn), respectivamente, con un crecimiento anual de 7 por ciento. Por su parte, en América Latina se observa que el dinamismo en este mercado es alto, con un crecimiento de 8 por ciento anual, pese a que su participación global se restringe a 2 por ciento del consumo mundial. Los analistas del mercado han pronosticado que el mercado mundial de fibra de carbono alcanzará \$US12 millones en 2011.



TIPOS DE FIBRA

Propiedad	Fibras SM ^a	Fibras IM ^{a/b}	Fibras HM ^b	Fibras *LM ^b	Fibras *UHM ^b
Contenido en carbono (%)	95	95	>99	>97	>99
Diámetro (µm).	6-8	5-6	5-8	11	10
Densidad (gtm)	1,8	1,8	1,9	1,9	2,2
Resistencia a la tracción (mpa)	3.800	3450 - 6200	3450 - 5520	1380 - 3100	2410
Alargamiento a la rotura	1,6	1,3 - 2,0	0,7 - 1,0	09	0,4 - 0,27
Resistencia eléctrica (µ.cm)	1650	1450	900	1300	220 - 130
Conductividad térmica (w/m.k)	20	20	50-80	-	-

(a) Fibras para usos generales; (b) fibras para aplicaciones aeroespaciales. Valores de propiedades para fibras obtenidas a partir de PAN como precursor. * Valores de propiedades para fibras "pitch".

Las fibras de carbono se suelen clasificar atendiendo a dos criterios: tipo de precursor y valor de su módulo de elasticidad. De acuerdo con el segundo criterio se distinguen cinco clases, o calidades, de fibras: SM ("Standard modulus"), UHM ("Ultra-high modulus"), HM ("High modulus"), HT ("High tenacity-high strength") o IM ("Intermediate modulus"), y LM ("Low modulus").

En este panorama, queda claro que para el sector se avencinan años de grandes retos: aumentar la producción y diversificar las aplicaciones de la fibra de carbono. En ese orden de ideas, la innovación y la disminución de los costos serán los medios para cumplir las expectativas del nuevo mercado; mejores resinas, procesos más rápidos y más productos, deberían desarrollarse en los próximos años. ▣

Citas

- 1) El carbono forma parte de toda la química orgánica y de 20 millones de moléculas conocidas, en suma es un elemento esencial para la vida y la evolución. También es un elemento alotrópico, es decir, que cuando se encuentra en estado puro, enlaza entre sí sus átomos de diferentes maneras y por ello puede presentarse en diversas formas: grafito, diamante o fulerenos, en todos estos casos la composición química es idéntica, carbono puro, pero varía la forma en la que se distribuyen los átomos en cada estructura. El carbono se puede combinar con muchos elementos como: nitrógeno (N), azufre (S), oxígeno (O), cloro (Cl), bromo (Br) y fósforo (P) que son estables termodinámicamente, y con otros átomos de carbono, haciendo parte de la composición de todos los materiales en la tierra, en mayor o menor medida. Desde los más blandos hasta los más duros y resistentes.

Fuentes

- Iván Uribe Pérez. Profesor Titular de la Universidad Industrial de Santander. Director Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales. iuribe@uis.edu.co
- Omar Corredor. Composites technician North America. corredoromar@hotmail.com
- DEREK Hull. Materiales Compuestos. Editorial Reverté, S.A. 2000.
- BESDNJAK. Alejandro Dietrich. Materiales Compuestos. Proceso de Fabricación de Embarcaciones. Ediciones UPC. 2003.
- <http://web.utk.edu>, <http://www.scribd.com>, www.plasmatreat.es/glosario/f.html, www.compositesworld.com/articles/ct.aspx, www.maquinariapro.com, www.oviedo.es

IMPORTADORES DIRECTOS

RRR SOLO-SIERRAS

PROFESIONALES EN CORTE

CE ISO9001

EVERISING
EVERISING MACHINE CO.

MAQUINAS DE SIERRA CINTA HORIZONTALES Y VERTICALES PARA CORTE DE ACEROS MANUALES - SEMI-AUTOMÁTICAS Y AUTOMÁTICAS CON CAPACIDAD DE CORTE HASTA 1800mm

RRR RÖNTGEN

SIERRA CINTA BIMETALICA DE 6mm A 80mm

SIERRA CIRCULARES

CINTA DE ACERO CARBONO

CIRCULAR PARA CORTE DE METAL

e-mail: Solosieras@una.net.co

PRINCIPAL: PBX: (571) 360 3978 Telefax: (571) 351 4783
Cra. 26 N° 12B - 26 Bogotá, Colombia Sur America

SUCURSAL: Calle 35 N° 1-10 Cali Valle
PBX: (572) 438 7902 FAX: (572) 444 13 65

www.solosieras.com