

Smart Structures: nanotubos de carbono en el hormigón para diseñar estructuras inteligentes

La Nanotecnología se ha posicionado entre las áreas clave del esfuerzo científico del actual Siglo XXI. La capacidad de manipular los materiales a escala atómica suscita la idea de un ilusionante escenario futurista en el que los científicos podrían alterar racionalmente las propiedades físicas y químicas de los materiales. Entre los frutos más prometedores de esta ciencia se encuentran las láminas de grafeno y los nanotubos de carbono. Concretamente, el grafeno es una sustancia formada por carbono puro, con átomos dispuestos según un patrón regular hexagonal, similar al grafito, pero en una lámina de un átomo de espesor. En cuanto a los nanotubos de carbono, descritos ya en los años 50 aunque desapercibidos hasta los estudios del japonés Sumio Iijima en 1991, en su forma más simple es el material resultante de agrupar una lámina de carbono en forma de cilindro (foto 1). Los nanotu-

bos de carbono son el material más resistente hallado hasta la fecha, con límites de rotura treinta veces superior al del acero y con una densidad seis veces inferior a éste. No obstante, lo más impresionante de estos materiales son sus capacidades piezoresistivas gracias a su estructura en forma de cilindro, propicia al paso de electrones por su interior. Esta propiedad refiere a la dependencia de la resistividad eléctrica ante variaciones en su estado deformacional. De este modo, es posible relacionar el campo eléctrico con el mecánico en aplicaciones como sensores, así como actuar sobre uno de los campos para controlar la variación del otro en aplicaciones como actuadores. Aunque aún en fases embrionarias, la carrera por la búsqueda de aplicaciones prácticas de estos nuevos materiales ha atraído a un amplio sector de la comunidad científica en campos tales como la Bioingeniería, Energía,

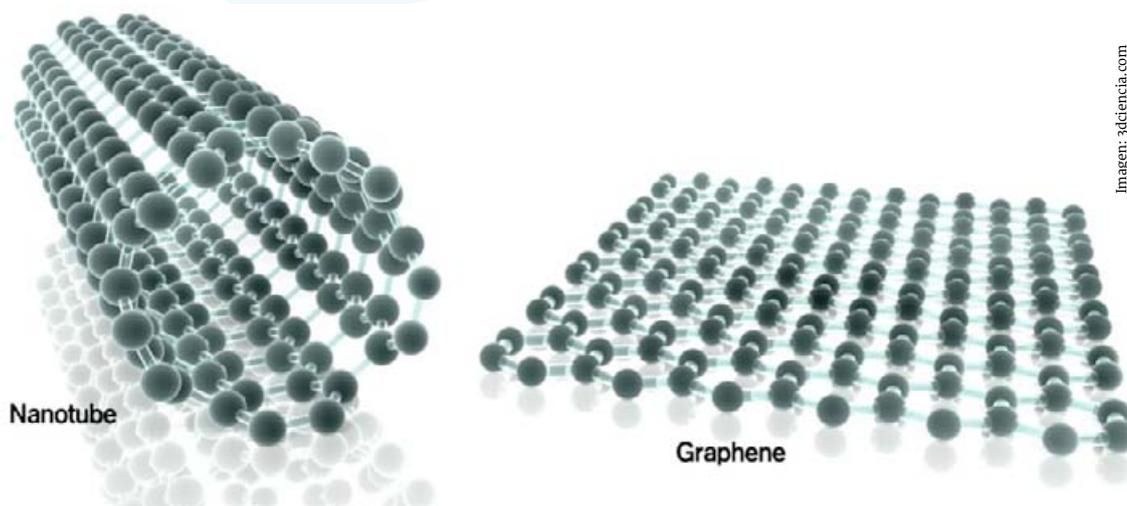


Foto 1. Esquema de la estructura de nanotubo de carbono y lámina de grafeno

Electrónica, Ingeniería de materiales y un largo etcétera. En contraprestación, la inmadurez de estas tecnologías hace que los nanotubos sean actualmente materiales muy costosos, no obstante, avances en el desarrollo de procesos de síntesis cada vez más eficientes apuntan a reducciones importantes en el costo de su manufacturación y un aumento de su competitividad.

En el campo de la ingeniería civil, existe un alto interés en su aplicación como aditivo en materiales compuestos inteligentes (Smart materials). Su adición en pequeñas proporciones a materiales usuales en la construcción, tales como el cemento, confieren al material matriz un aumento considerable de la capacidad resistente, hasta en 50 superior, así como la adquisición de propiedades piezoresistivas. De este modo se podrían obtener elementos estructurales autosensitivos, en otras palabras, vigas, columnas y demás elementos estructurales que por sí mismos nos proporcionen información cifrada sobre el estado tensional al que se encuentran sometidos. En esta línea, el investigador de la Escuela Politécnica Superior de Córdoba Rafael Castro Triguero lidera un proyecto donde se desarrollan nanosensores para mejorar puentes y otras construcciones civiles. Asimismo, codirige junto a Andrés Sáez Pérez, catedrático de la Universidad de Sevilla, la tesis doctoral de Enrique García Macías referente a estos temas (foto 2). El punto de partida es integrar estos materiales en el hormigón como nanosensores. De esta manera, la capacidad de conducción eléctrica del carbono permitiría la monitorización del estado tensional de la infraestructura en remoto y a tiempo real, a través de la lectura del campo eléctrico en la misma. Con esta tecnología se pretenden desarrollar nuevos protocolos de monitorización de infraestructuras que de manera



Foto 2. De izquierda a derecha: Miguel Ángel Gómez Casero (doctorando de la Univ. Granada), Rafael Castro Triguero y Enrique García Macías (doctorando Univ. Sevilla)

no destructiva permitan comprobar la salud de la construcción. Estas ideas están doblemente financiadas, por un lado por un Proyecto del Plan Nacional de Investigación del Ministerio de Economía y Competitividad (Monitorización predictiva de estructuras civiles mediante elementos reforzados con nanotubos de carbono DPI2014-53947-R), proyecto coordinado entre las Universidades de Málaga, Sevilla y Córdoba, y por un Proyecto de I+D+I CTA con la empresa sevillana de construcción Azvi.

Este tipo de investigaciones están enmarcadas en lo que en la ingeniería se denomina como Mantenimiento Estructural Predictivo (MEP), del término inglés Structural Health Monitoring. Este conjunto de técnicas permiten la monitorización indirecta de las estructuras a través de magnitudes tales como aceleraciones, desplazamientos y en este caso, el campo eléctrico, para determinar el estado real de la estructura en servicio y detectar así la existencia de posibles daño, localización y magnitud del mismo. El grupo de investigación cuenta con una dilatada experiencia en el empleo de técnicas tra-

dicionales de monitorización mediante la lectura de aceleraciones en viaductos de carretera y ferroviarios (foto 3). En estas estructuras las cargas de circulación, la



Foto 3. Campaña de medición experimental en el puente arco-atirantado de Palma del Río, Córdoba

velocidad de los vehículos y las condiciones ambientales pueden cambiar a lo largo del tiempo. Sin embargo, la estructura se mantiene allí, por lo que es necesario conocer cómo todos esos factores afectan a la infraestructura para prevenir posibles daños y, en la medida de lo posible, implementar medidas correctoras. Con esta nueva tecnología, se pretende caracterizar e implementar compuestos de hormigón reforzados con nanotubos de carbono en elementos estructurales para mejorar tanto la resistencia como dotar de capacidades autosensitivas en tiempo real de su estado de salud. Estas ilusionantes ideas abren un amplio abanico de posibilidades en infraestructuras parcialmente compuestas por estos nanomateriales, desde su uso en puentes ferroviarios, desarrollo

de bandas de piel sensible o compuestos de alas de avión más eficientes.

De forma inicial, ya se han descrito las capacidades elásticas del grafeno. Cas-

tro, junto a especialistas de las universidades de Santiago de Chile, Southampton y Swansea (Reino Unido), experimentó con el grafeno en deformaciones infinitesimales y grandes. Los investigadores sugieren que el grafeno puede ser descrito como un material hiperelástico, por lo que es susceptible de ser empleado como nanosensor en la construcción de obra pública. Los resultados han sido publicados en *Applied Physics Letters*. Actualmente el grupo de investigación se halla inmerso en las fases finales del desarrollo teórico de modelos de caracterización y cálculo de elementos estructurales de materiales compuestos con nanotubos de carbono, trabajo

del que se espera la publicación de varios artículos científicos. En la próxima etapa se espera la manufacturación de especímenes de ensayo con los que comenzar a implementar algunas de estas ideas.

-E. I. Saavedra, R. M. Ajaj, S. Adhikari, I. Dayyani, M. I. Friswell y Rafael Castro. 'Hyperelastic tensión of graphene'. *Applied Physics Letters*. 106, 261901 (2015). <http://dx.doi.org/10.1063/1.4908119>