Bienvenid@s


WEBINAR
AEMAC
ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS

Sigue el Webinar

#WebinarsAEMAC

Materiales compuestos mulfiuncionales con capacidad de auto-monitorización mediante redes de nanopartículas conductoras

Dr. Xoan Xosé Fernández Sánchez-Romate
(Profesor Contratado Doctor Interino en la URJC)

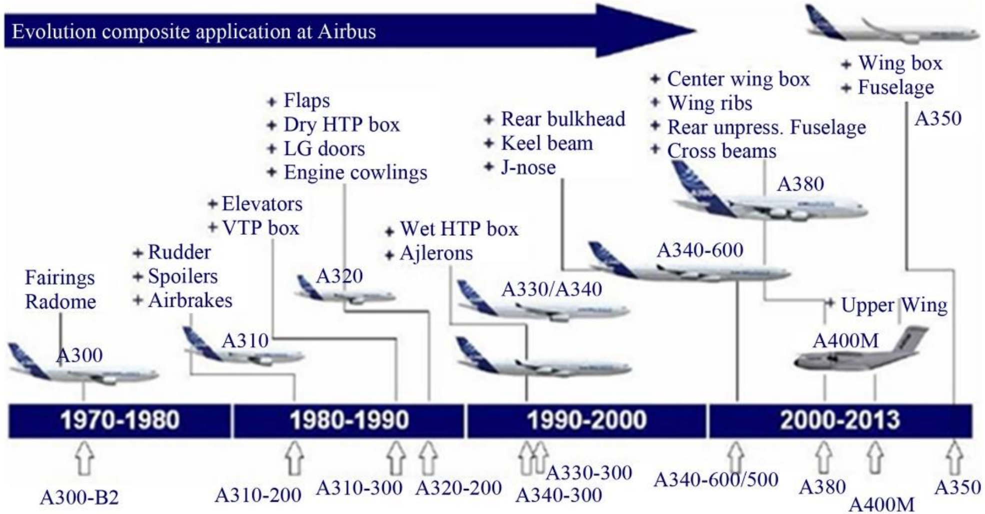
AEMAC
ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS

ÍNDICE

AEMAC ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS

1.INTRODUCCIÓN

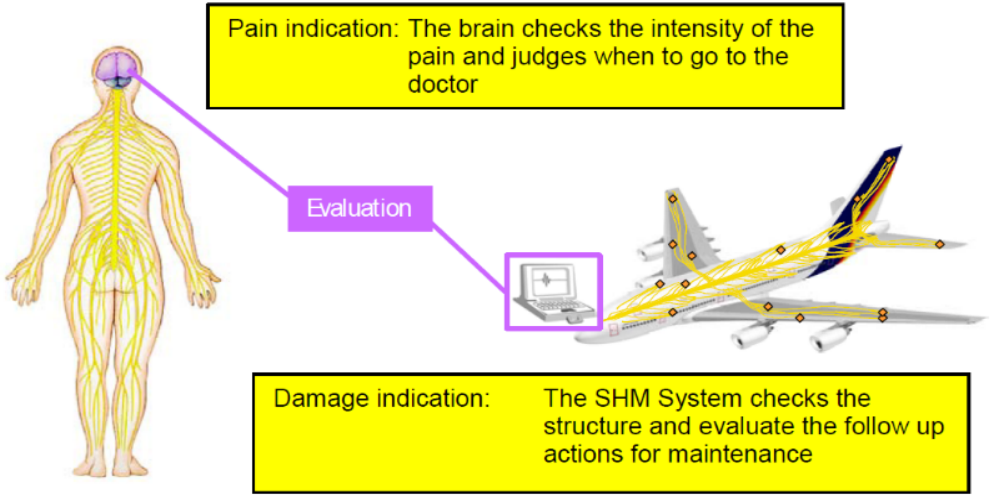
¿QUÉ ES SHM?



Evolución de los materiales compuestos en el sector aeronáutico

Necesidad de métodos adecuados de inspección

1. INTRODUCCIÓN. ¿QUÉ ES SHM?



Nivel 1: Detección

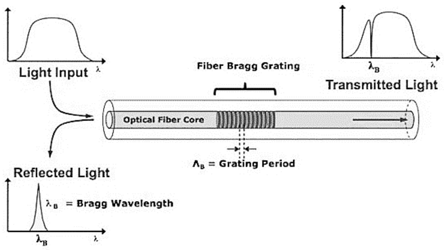
Nivel 2: Localización

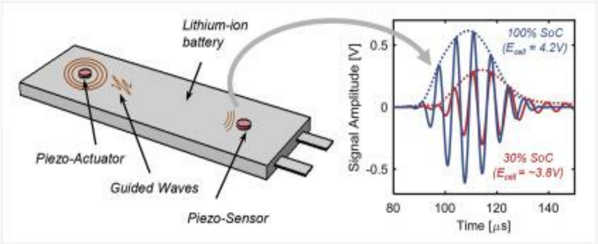
Nivel 3: Cuantificación

Nivel 4: *Prognosis*

Fibra óptica

Ondas guiadas





Otras técnicas: emission acústica, termografía infrarroja, etc.

Normalmente el análisis de los datos es bastante complejo

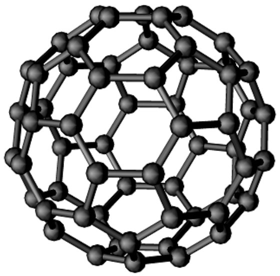
2. SHM CON NANOPARTÍCULAS

FUNDAMENTOS

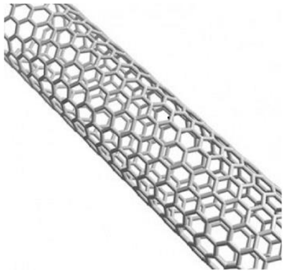
ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS

2. SHM CON NANOPARTÍCULAS

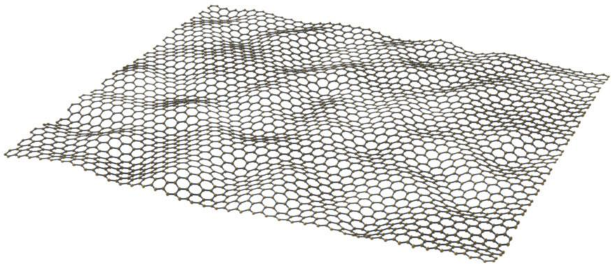
0-D



1-D



2-D



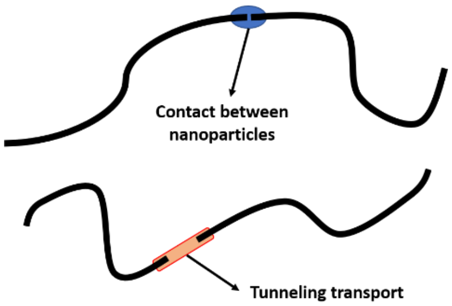
Contenido en nanopartículas

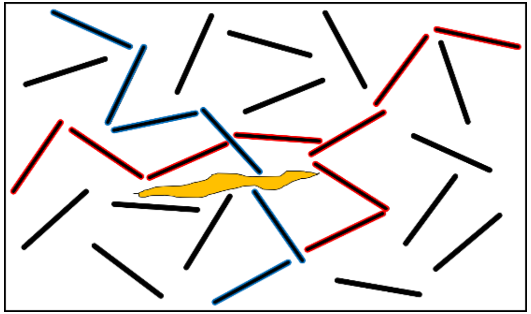
Calidad de la dispersión

Influencia en propiedades eléctricas

AEMAC ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS

2. SHM CON NANOPARTÍCULAS. FUNDAMENTO





Resistencia intrínseca

Contacto directo

Efecto túnel

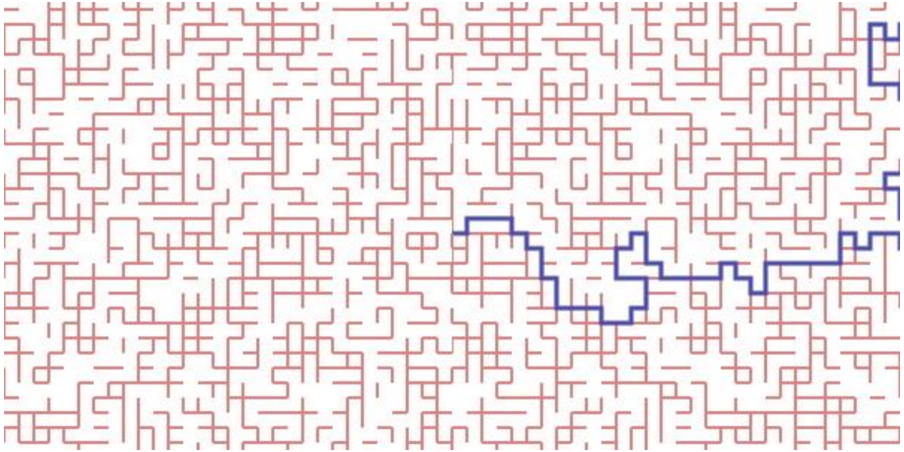
Cambios en la conductividad eléctrica

3.PRINCIPALES AVANCES

MODELIZACIÓN

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS

Umbral de percolación



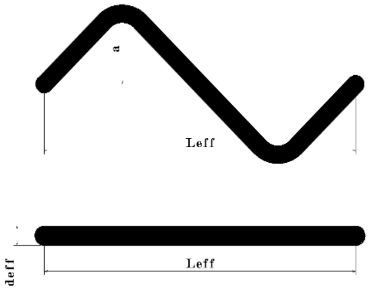
Fracción volumétrica a partir de la cual el material pasa a ser eléctricamente conductor

Clave para evaluar propiedades eléctricas

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS

Definición de un umbral de percolación equivalente

$$\phi_c^* = \frac{\xi^{*2}\pi}{6} + \frac{(1-\xi^*)\pi}{4\left(\frac{1}{\sqrt{2}} - \frac{\sqrt{3}-\sqrt{2}}{\sqrt{6}}\xi^*\right)^3} \cdot \frac{1}{\Lambda^2}$$



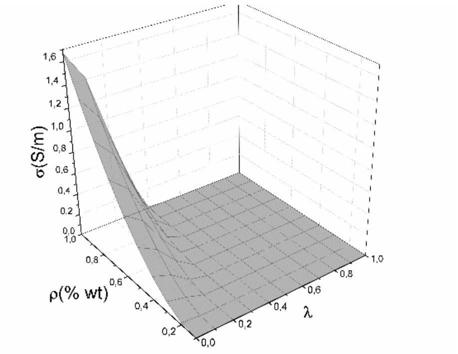
$$\lambda = \frac{a}{L_{eff}} = \frac{a}{4\sqrt{\left(\frac{L}{4}\right)^2 - a^2}}$$

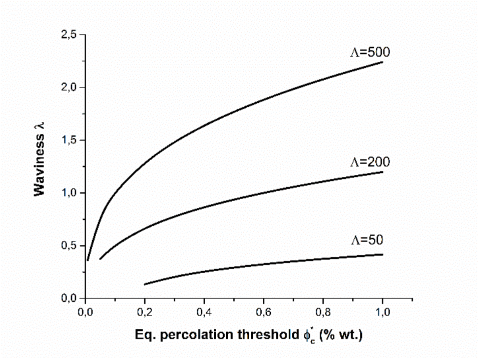
Efecto de la ondulación de las nanopartículas

Novel approach to percolation threshold on electrical conductivity of carbon nanotube reinforced nanocomposites. X.F. Sánchez-Romate et al. RSC Advances 6; 43418-43428 (2016)

https://doi.org/10.1039/C6RA03619H

AEMAC
ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS





Efecto del contenido y ondulación de las nanopartículas

Efecto de la relación de aspecto

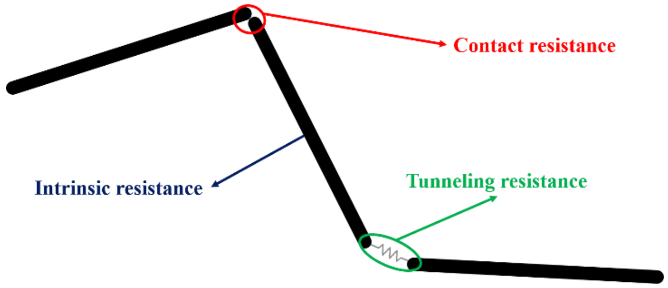
3. PRINCIPALES AVANCES

$$R_T = R_{CNT} + R_{contact} + R_{tunnel}$$

$$R_{CNT} = \frac{1}{\sigma_{CNT}} \cdot \frac{l}{A}$$

$$R_{contact} = \frac{h}{e^2} \cdot \frac{1}{MT}$$

$$R_{tunnel} = \frac{h^2 t}{Ae^2\sqrt{2m\varphi}} exp\left(\frac{4\pi t}{h}\sqrt{2m\Phi}\right)$$

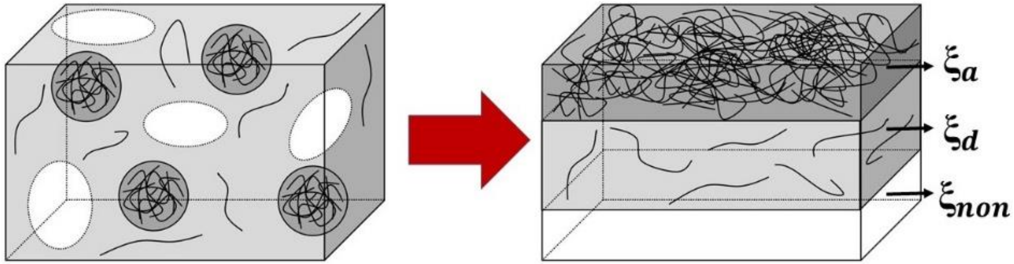


Critical parameters of carbon nanotube reinforced composites for structural health monitoring applications: empirical results versus theoretical predictions. X.F. Sánchez-Romate et al. Composites Science and Technology 181; 44-53 (2019)

https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2018.12.010

AEMAC ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS

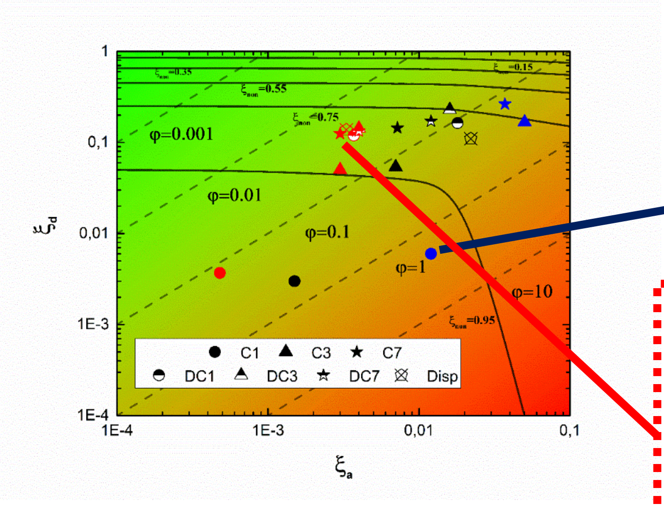
3. PRINCIPALES AVANCES



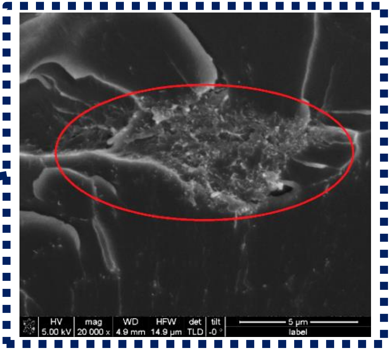
$$\frac{1}{R} = \xi_a \cdot \frac{1}{R_a} + \xi_d \cdot \frac{1}{R_d} + \underbrace{\xi_{non} \cdot \frac{1}{R_\infty}}_{\sim 0} \rightarrow \quad R = \frac{R_a R_d}{(\xi_d R_a + \xi_a R_d)}$$

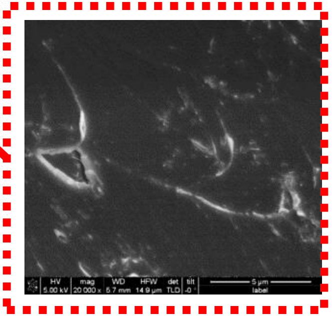
$$\frac{\Delta R}{R_0} = \frac{R_a R_d}{R_{a0} R_{d0}} \cdot \left(\frac{\xi_d R_{a0} + \xi_a R_{d0}}{\xi_d R_a + \xi_a R_d}\right) - 1$$

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS



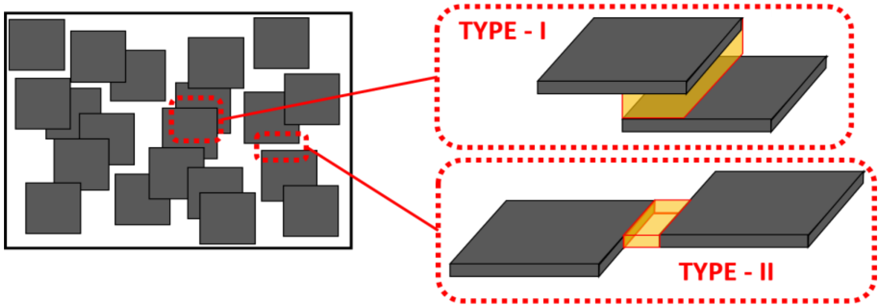
Mala dispersión





Buena dispersión

3. PRINCIPALES AVANCES



$$R_I = \frac{h^2 t_I}{A_I e^2 \sqrt{2m\varphi}} exp\left(\frac{4\pi t_I}{h}\sqrt{2m\varphi}\right)$$

$$R_{II} = \frac{h^2 t_{II}}{A_{II} e^2 \sqrt{2m\varphi}} exp\left(\frac{4\pi t_{II}}{h}\sqrt{2m\varphi}\right)$$

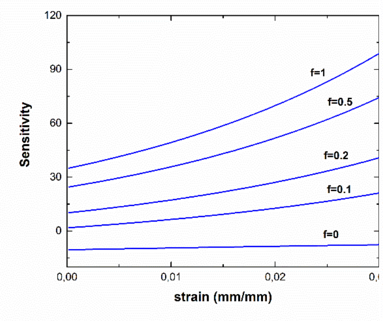
Tipos de interacciones entre nanopartículas

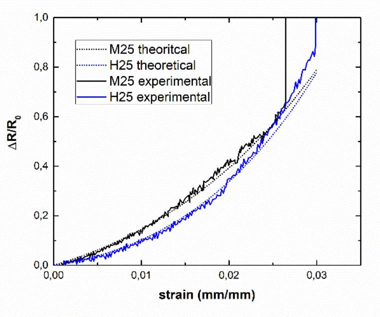
Effect of graphene nanoplatelets thickness on strain sensitivity of nanocomposites: A deeper theoretical to experimental analysis. M. Sánchez et al. Composites Science and Technology 181; 107697 (2019)

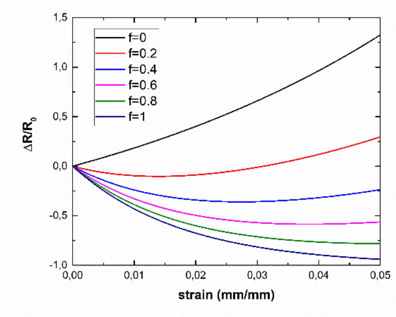
https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2019.107697

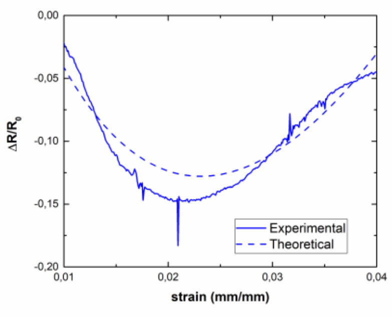
AEMAC ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS

3. PRINCIPALES AVANCES









Comportamiento a tracción

Comportamiento a compresión

Sensitive response of GNP/epoxy coatings as strain sensors: analysis of tensile-compressive and reversible cyclic behavior. X.F. Sánchez-Romate et al. Smart Materials and Structures 29 (2019)

https://doi.org/10.1088/1361-665X/ab8316

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS

3.PRINCIPALES AVANCES

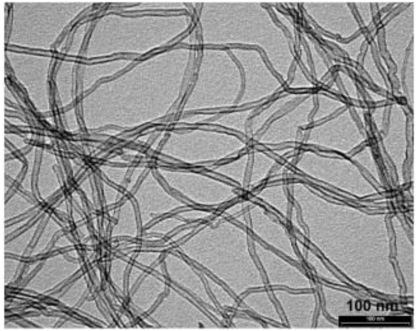
ESTRUCTURAS MULTIFUNCIONALES

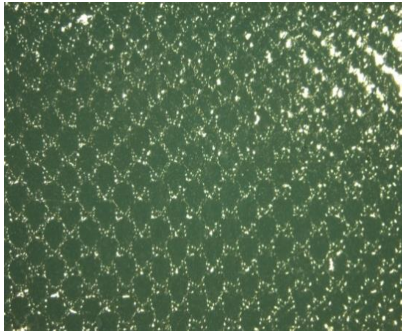
3. PRINCIPALES AVANCES

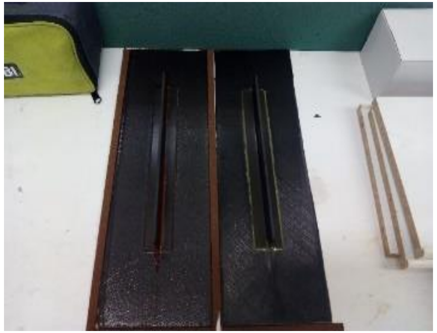
Nanopartículas de carbono

Adhesivo tipo film

Sub-elementos tipo panel rigidizado

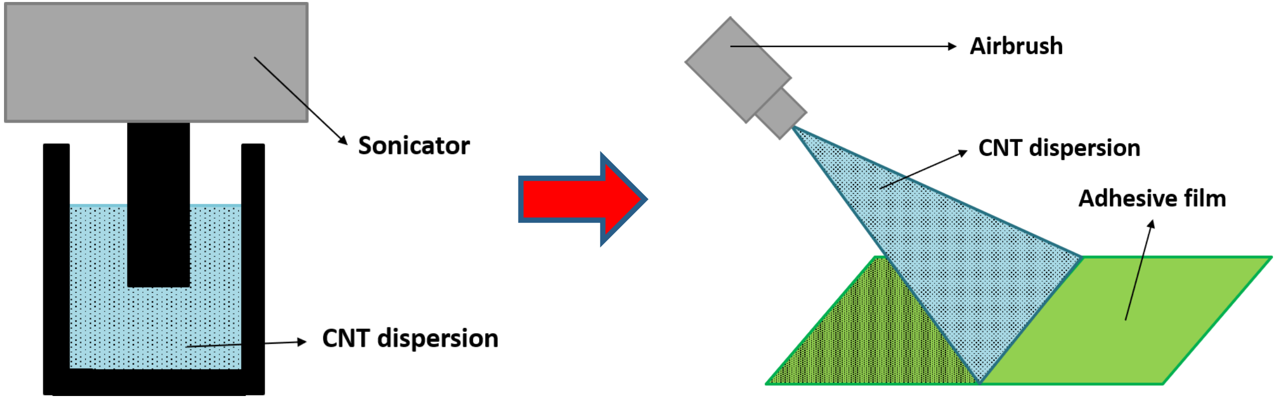






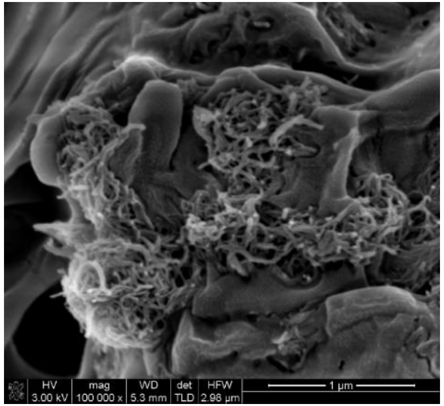
AEMAC
ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS

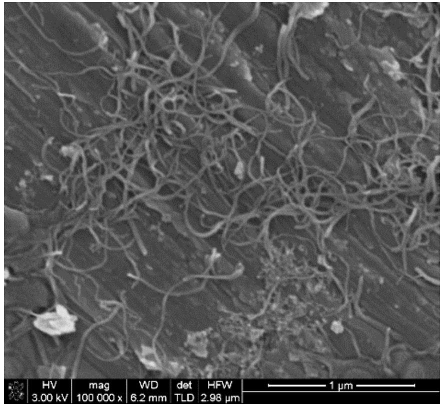
Obtención del adhesivo dopado con nanopartículas

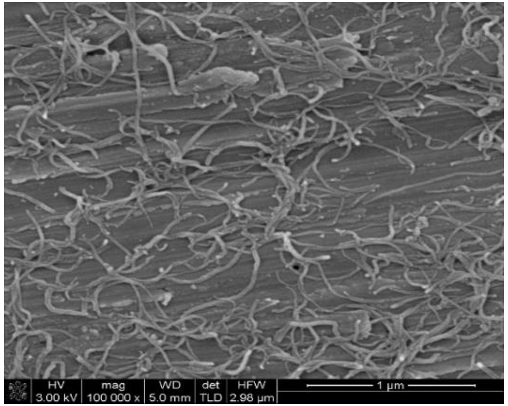


3. PRINCIPALES AVANCES

Recepción	t=20 min	t=120 min





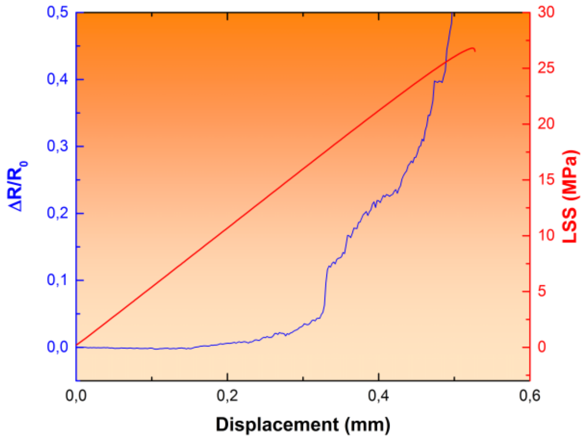


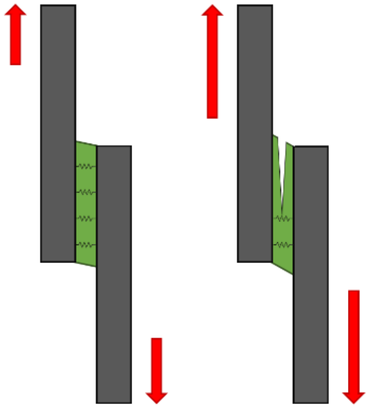
Development of bonded joints using novel CNT doped adhesive films: mechanical and electrical properties. X.F. Sánchez-Romate et al. International Journal of Adhesion and Adhesives 86; 98-104 (2018)

https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2018.09.001

AEMAC
ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS

3. PRINCIPALES AVANCES





Dos efectos

Propagación de la grieta

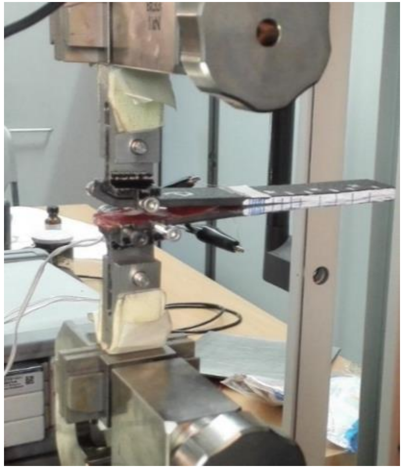
Deformación del adhesivo

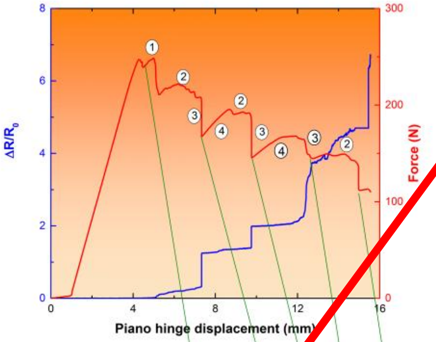
Carbon nanotube-doped adhesive films for detecting crack propagation on bonded joints: a deeper understanding of anomalous behaviors. X.F. Sánchez-Romate et al. ACS Applied Materials & Interfaces 9; 43267-43274 (2017)

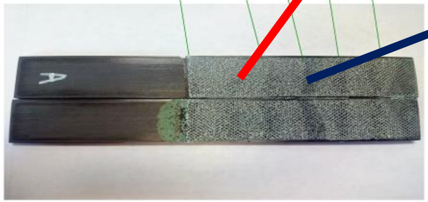
https://doi.org/10.1021/acsami.7b16036

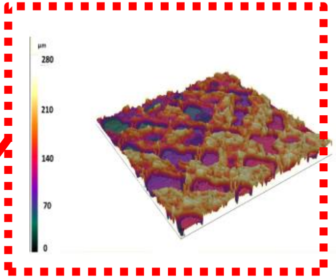
ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS

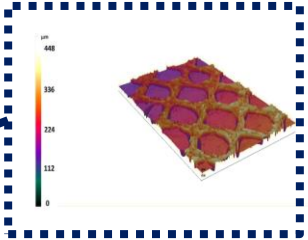
Modo-I de despegue





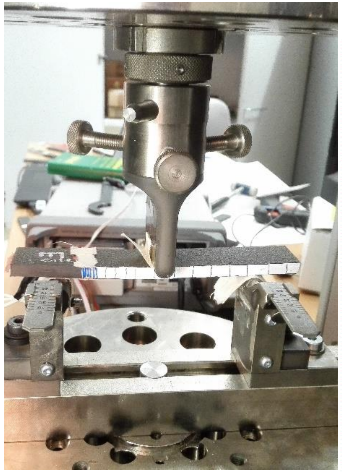


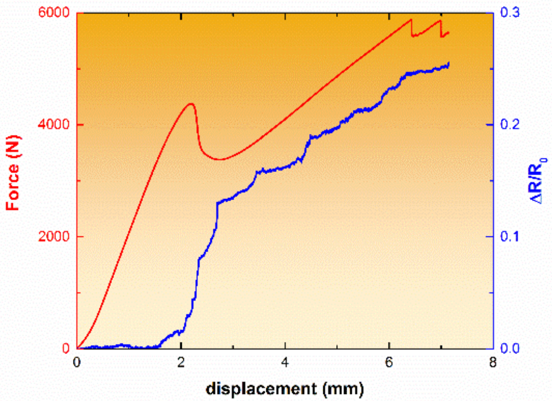


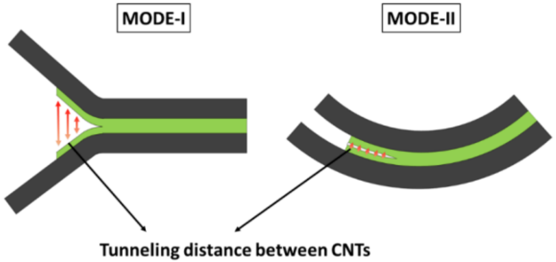


ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS

Modo-II de despegue







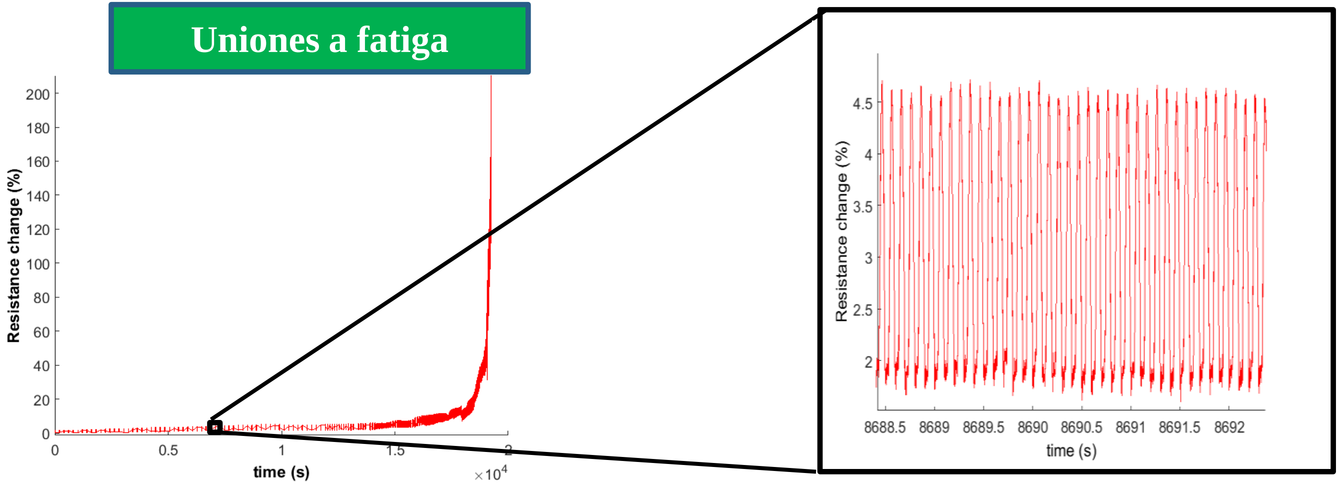
An approach using highly sensitive carbon nanotube adhesive films for crack growth detection under flexural load in composite structures. X.F. Sánchez-Romate et al. Composite Structures 224; 111087 (2019)

https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.111087

AEMAC ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS

3. PRINCIPALES AVANCES

Uniones a fatiga

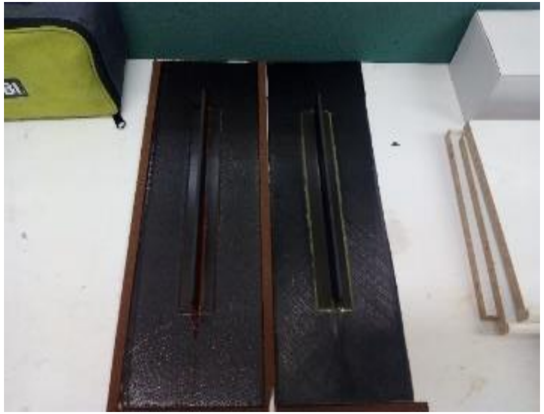


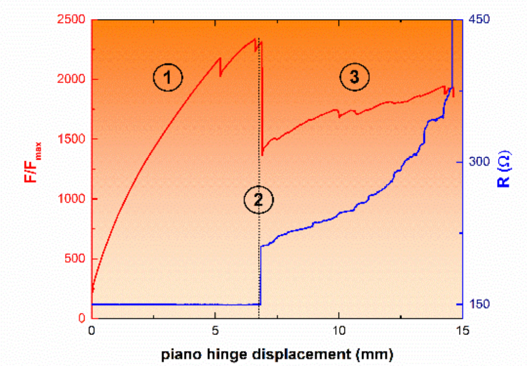
Fatigue crack growth identification in bonded joints using carbon nanotube doped adhesive films. X.F. Sánchez-Romate et al. Smart Materials and Structures; 29 (2020)

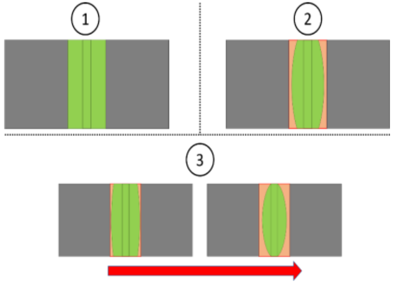
https://doi.org/10.1088/1361-665X/ab7109

AEMAC ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS

Paneles rigidizados a pelado





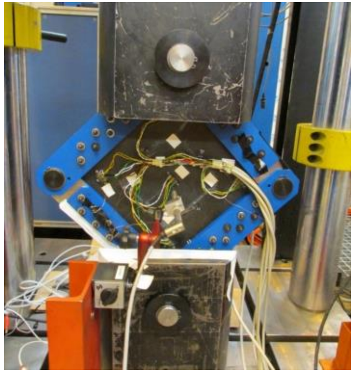


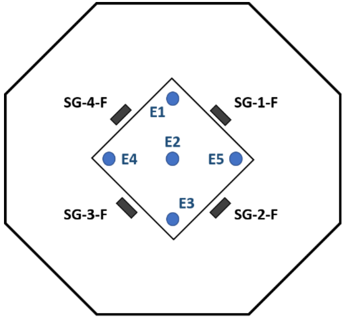
Monitoring Crack Propagation in Skin-Stringer Elements Using Carbon Nanotube Doped Adhesive Films: Influence of Defects and Manufacturing Process. X.F. Sánchez-Romate et al. Composites Science and Technology 193; 108147 (2020)

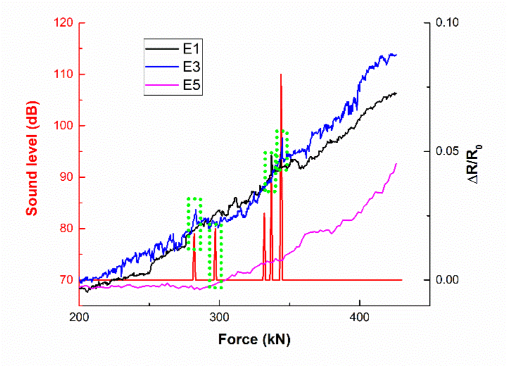
https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2020.108147

AEMAC ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS

Reparaciones pegadas de paneles





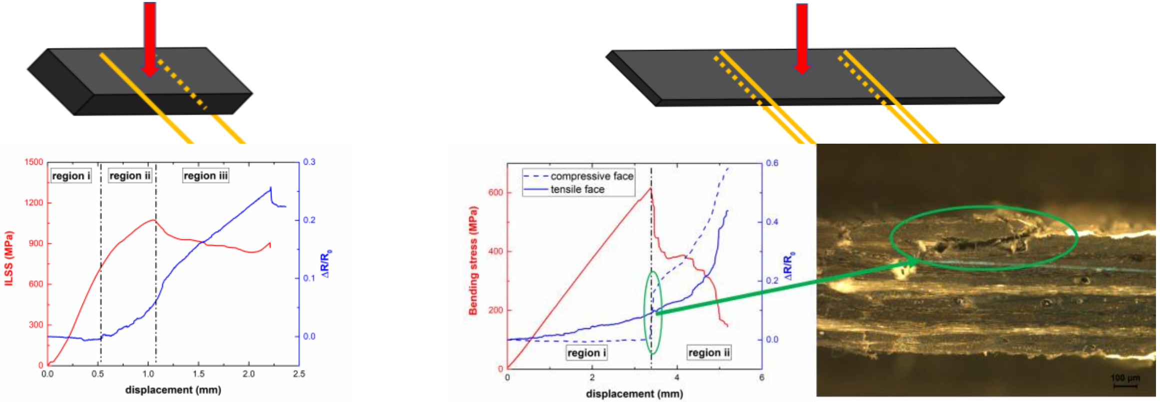


Structural health monitoring of a CFRP structural bonded repair by using a carbon nanotube modified adhesive film. X.F. Sánchez-Romate et al. Composite Structures 270; 114091 (2021)

https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.114091

AEMAC
ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS

SHM en material compuesto de fibra larga

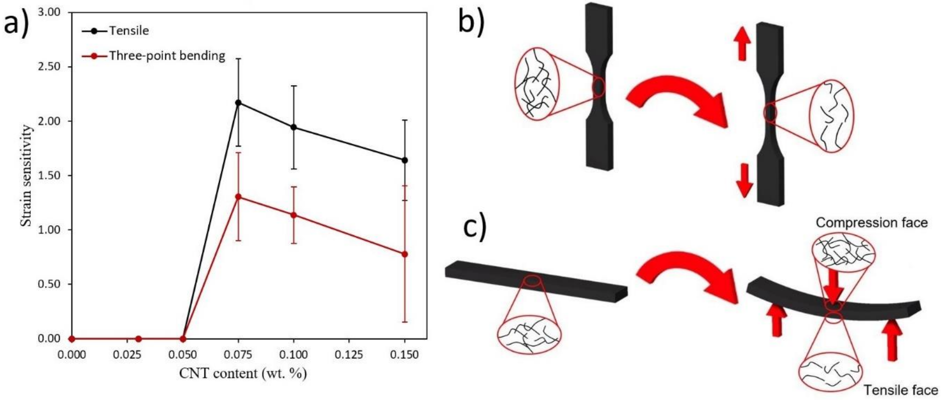


Carbon nanotube reinforced poly (ε-caprolactone)/epoxy blends for superior mechanical and self-sensing performance in multiscale glass fiber composites. X.F. Sánchez-Romate et al. Polymers 13; 3159 (2021)

https://doi.org/10.3390/polym13183159

AEMAC ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS

SHM en fabricación aditiva



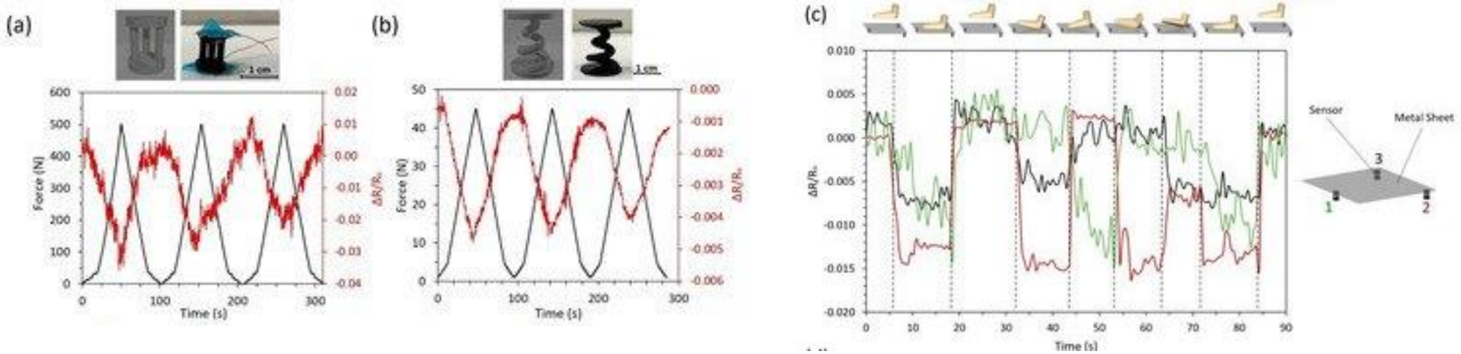
Mechanical and Strain-Sensing Capabilities of Carbon Nanotube Reinforced Composites by Digital Light Processing 3D Printing Technology. A. Cortés et al. Polymers 12; 975 (2020)

https://doi.org/10.3390/polym12040975

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS

3. PRINCIPALES AVANCES

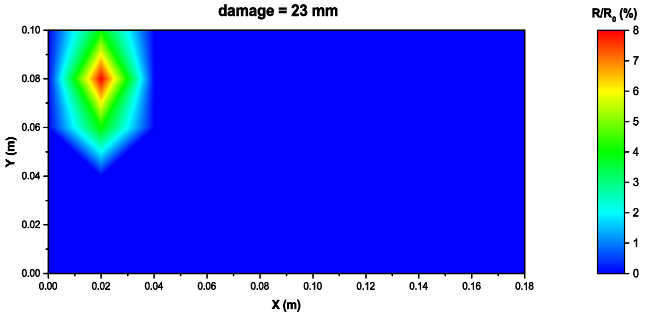
SHM en fabricación aditiva



Complex Geometry Strain Sensors Based on 3D Printed Nanocomposites: Spring, Three-Column Device and Footstep-Sensing Platform. A. Cortés et al. Nanomaterials 11; 1156 (2021)

https://doi.org/10.3390/nano11051106

Detección de defectos mediante mapas eléctricos



Highly sensitive strain gauges with carbon nanotubes: from bulk nanocomposites to multifunctional coatings for damage sensing. X.F. Sánchez-Romate et al. Applied Surface Science 424; 213-221 (2017)

https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.03.234

AEMAC ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS

3.PRINCIPALES AVANCES

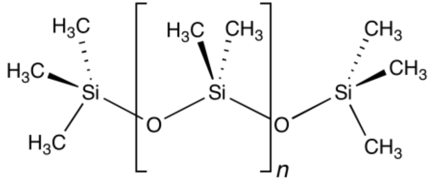
SENSORES FLEXIBLES

3. PRINCIPALES AVANCES

PDMS (SYLGARD™18)

- Rubber/Silicone based in Polydimethylsiloxane
- Viscosity of 5100 cP
- Monomer + curing agent (10:1)

P



MWCNT / NC7000

- Lenght < 1,5 µm and diameter ~ 9,5 nm

CNT → 0,25 - 1 %

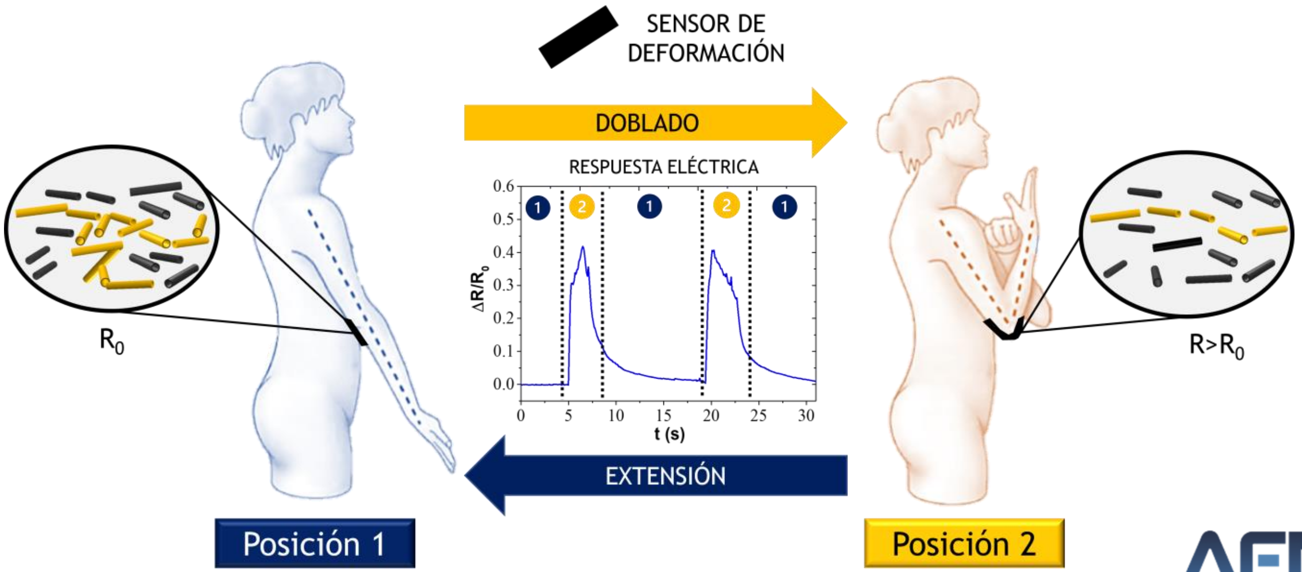
GNP-M25 / XG-Science

- Lateral lenght < 25 µm and thickness ~ 6 nm

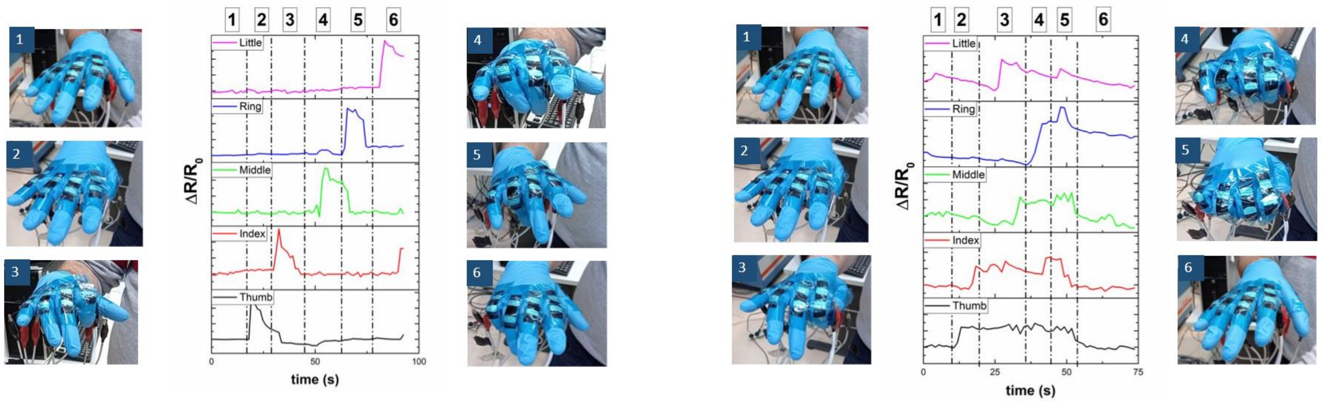
GNP → 4 - 10 %

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS

3. PRINCIPALES AVANCES



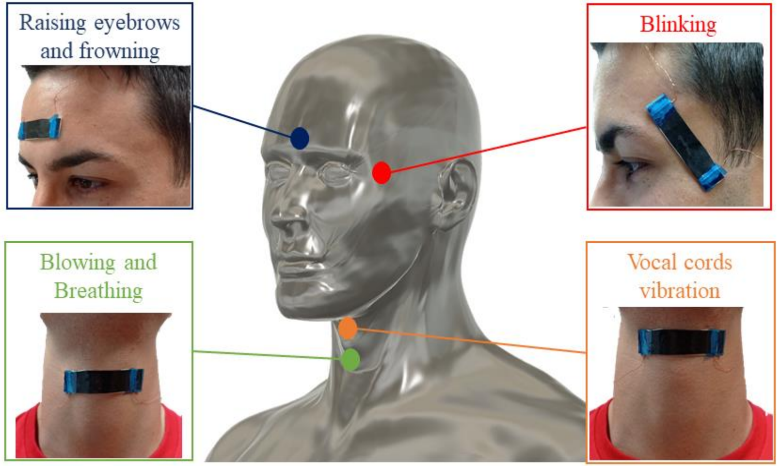
Detección del movimiento de articulaciones



Flexible wearable sensors based in carbon nanotubes reinforced poly(Ethylene glycol) diglycidyl ether (pegdge): Analysis of strain sensitivity and proof of concept. A. del Bosque et al. Chemosensors 9; 158 (2021)

https://doi.org/10.3390/chemosensors9070158

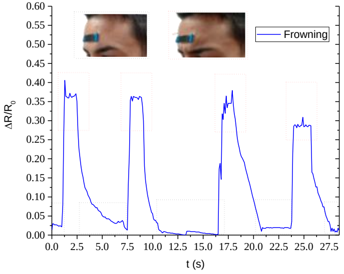
Pequeñas deformaciones

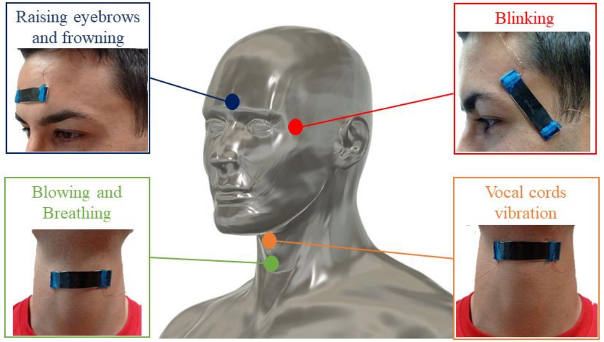


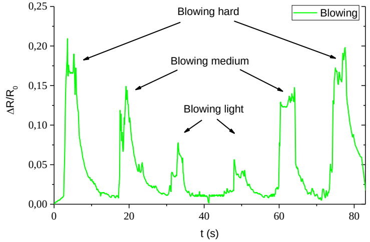
La elevada sensibilidad de estos sensores permitiría su uso para la monitorización de pequeñas deformaciones

3. PRINCIPALES AVANCES

Pequeñas deformaciones



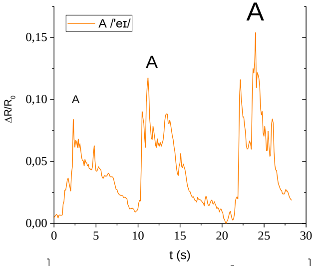


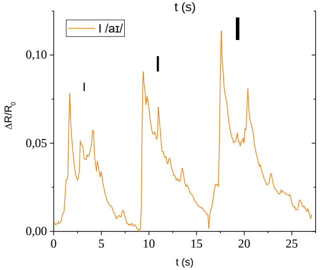


Ultrasensitive and Highly Stretchable Sensors for Human Motion Monitoring Made of Graphene Reinforced Polydimethylsiloxane: Electromechanical and Complex Impedance Sensing Performance. A. del Bosque et al. Carbon (*Revise*)

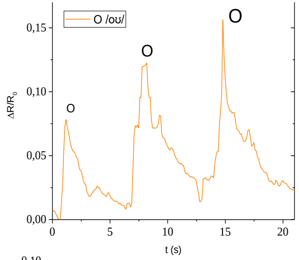
ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS

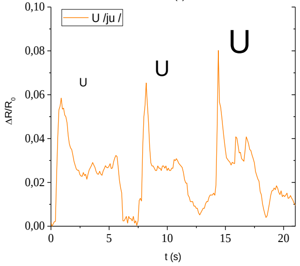
3. PRINCIPALES AVANCES





Pequeñas deformaciones





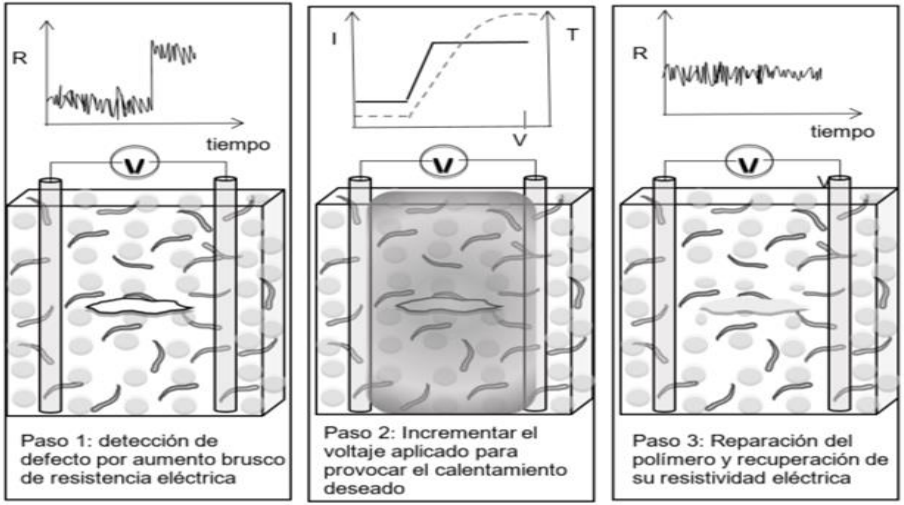
En resumen: ¿grafeno o nanotubos de carbono para aplicaciones de monitorización?

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS

4. DESARROLLOS FUTUROS

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS

Conexión entre reparación, auto-calentamiento y SHM

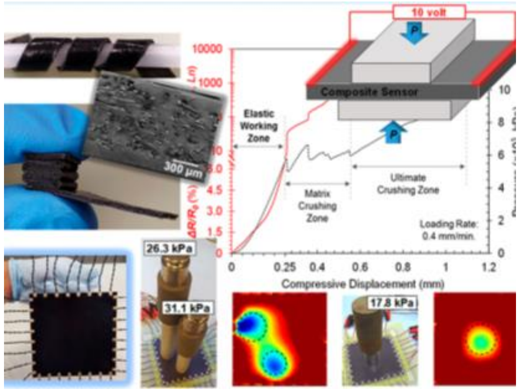


Materiales Autorreparables electro-estimulados. Solicitud patente española nº 202030363. Universidad Rey Juan Carlos.

AEMAC ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS

4. DESARROLLOS FUTUROS

Tomografía por impedancia eléctrica



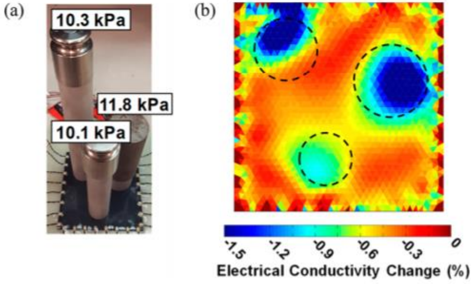
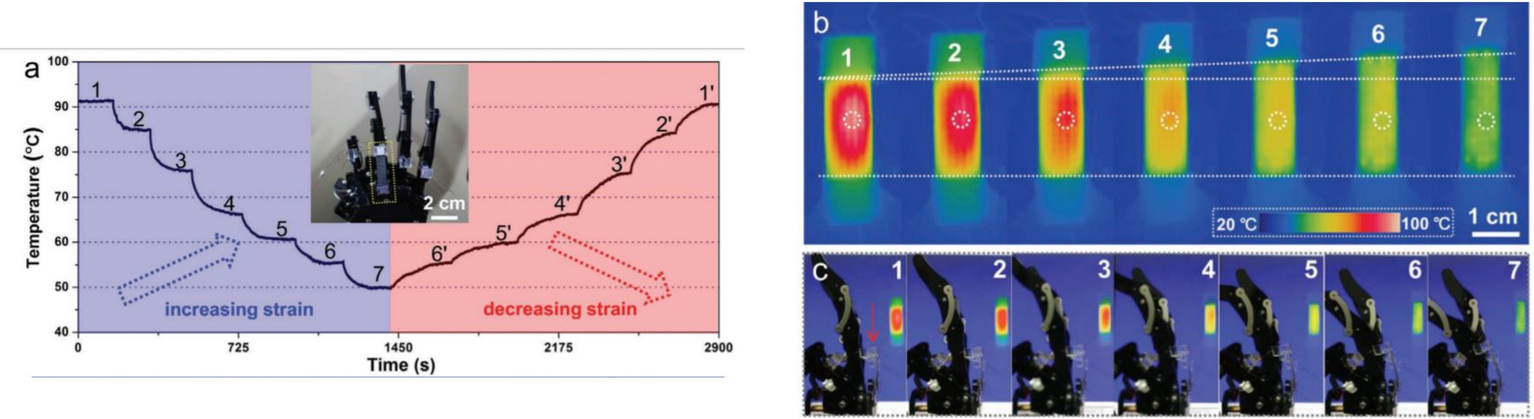


Figure 12. Photograph (a) showing sensor with concurrently applied compressions of 10.3, 11.8, and 10.1 kPa; and (b) the corresponding EIT map with dashed circles indicating the actual contact areas.

Large-Area Carbon Nanotube-Based Flexible Composites for Ultra-Wide Range Pressure Sensing and Spatial Pressure Mapping. H. Dai et al. ACS Applied Materials & Interfaces; 11, 48370-80 (2019)

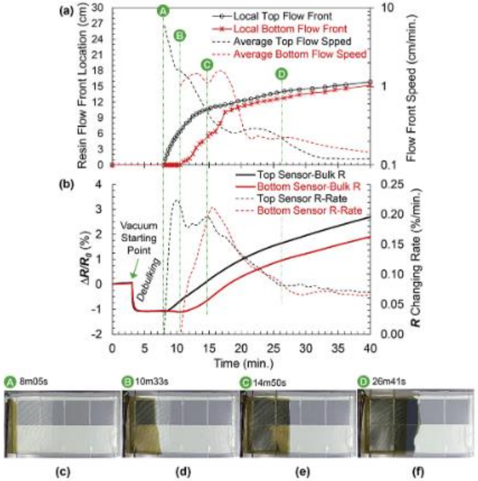
AEMAC ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS

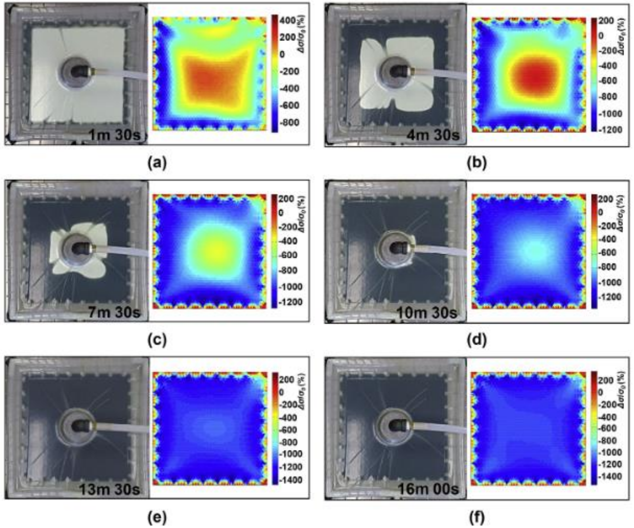
SHM y Efecto Joule



Wireless Monitoring of Small Strains in Intelligent Robots via a Joule Heating Effect in Stretchable Graphene–Polymer Nanocomposites. D. Zhang et al. Advanced Functional Materials; 30 (2019)

SHM del proceso de fabricación





Scalable and multifunctional carbon nanotube-based textile as distributed sensors for flow and cure monitoring. H. Dai et al. Carbon; 164, 28-41 (2020)

AEMAC
ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS

5. CONCLUSIONES

5. CONCLUSIONES

- El empleo de nanopartículas conductoras permite la creación de sistemas de SHM con muy alta sensibilidad.
- La modelización es un aspecto clave. Conocimiento sobre influencia y geometría de nanopartículas en propiedades electromecánicas.
- Desarrollo de sistemas multifuncionales con capacidad de auto-monitorización:
  - Adhesivos tipo film nanoestructurados.
  - Resinas estructurales como sensores superficiales.
  - Sensores flexibles para la monitorización de pequeñas y grandes deformaciones.
- Existe un extenso trabajo por delante. Sensores flexibles, sistemas de monitorización del proceso de fabricación, etc.

AEMAC ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS

MUCHAS GRACIAS

AEMAC
ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS