

Bienvenid@s

WEBINAR



Sigue el Webinar

2



#WebinarsAEMAC



ALBERTO JIMÉNEZ SUÁREZ

Investigador y Profesor
Universidad Rey Juan Carlos

*Matrices nanorreforzadas multifuncionales de aplicación
en el sector del transporte y la energía*

29 de Mayo de 2019, 17 horas. (Madrid, GMT +2)

Matrices nanorreforzadas de aplicación en los sectores del transporte y la energía



Universidad
Rey Juan Carlos



CIM

CIENCIA E INGENIERÍA DE MATERIALES



- **INTRODUCCIÓN**
 - **¿QUÉ SON LAS MATRICES NANORREFORZADAS?**
 - **¿QUÉ SON LAS MATRICES MULTIFUNCIONALES?**
 - **¿RETOS DEL SECTOR DEL TRANSPORTE Y LA ENERGÍA?**
- **PROCESADO Y PROPIEDADES DE LAS MATRICES NANORREFORZADAS**
- **EJEMPLOS DE APLICACIÓN DE LAS MATRICES NANORREFORZADAS**
 - **MATERIALES COMPUESTOS MULTIESCALARES**
 - **ADHESIVOS NANORREFORZADOS**
 - **MATRICES NANORREFORZADAS CON CAPACIDAD DE AUTORREPARACIÓN**
 - **MATRICES PARA IMPRESIÓN 3D**
- **CONCLUSIONES/RESUMEN**

1. INTRODUCCIÓN

¿Qué son las matrices nanorreforzadas?

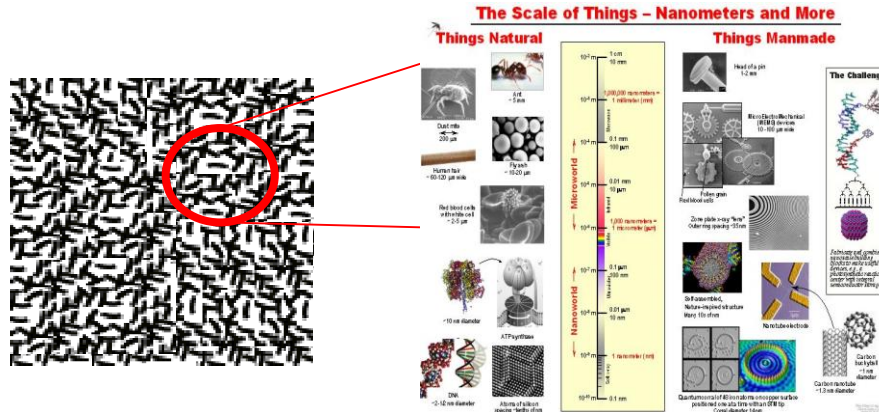
¿Qué son las matrices multifuncionales?

¿Qué retos nos ofrecen los sectores de la energía y el transporte?

1. INTRODUCCIÓN

7

■ ¿Qué son las matrices nanorreforzadas?

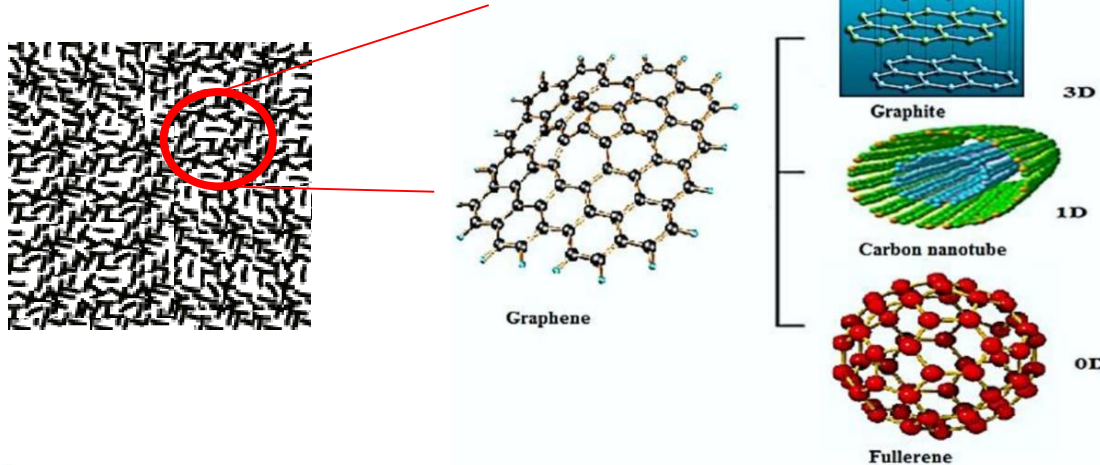


- ✓ Material compuesto
- ✓ El refuerzo tiene, al menos una de sus dimensiones, en la escala nanométrica (<100 nm)
- ✓ Nanopartículas, nanotubos, nanoláminas

1. INTRODUCCIÓN

8

- ¿Qué son las matrices nanorreforzadas?



EN ESTA PRESENTACIÓN

MATRIZ:
Polímero termoestable
(Resinas epoxi)

REFUERZO:
Nanoestructuras de
carbono

1. INTRODUCCIÓN

9

■ ¿Qué es un material multifuncional?

Podemos considerar cualquier material diseñado para cumplir varias funciones de manera simultánea

MANTENER UNAS
PROPIEDADES
MECÁNICAS ADECUADAS
(FUNCIÓN ESTRUCTURAL)



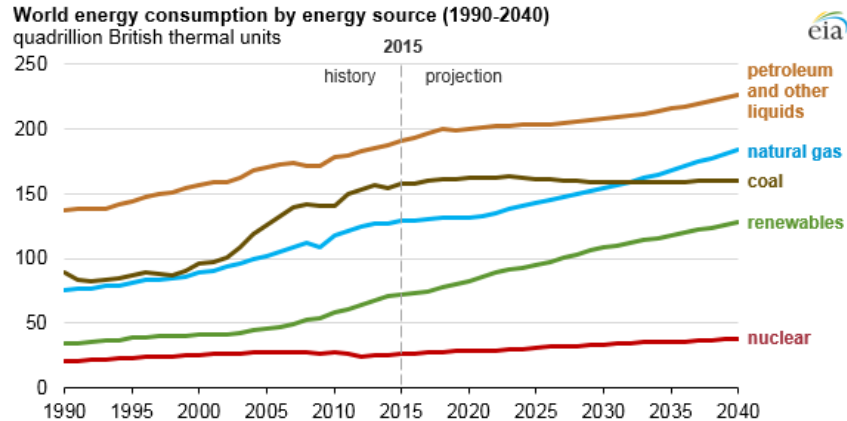
- SENSOR DE LA SALUD ESTRUCTURAL
- DISIPACIÓN TÉRMICA
- GENERACION DE CALOR
- EFECTO BARRERA
- APANTALLAMIENTO ELECTROMAGNÉTICO
- CUALQUIER OTRA FUNCIONALIDAD

1. INTRODUCCIÓN

10

- ¿Qué retos nos ofrecen los sectores del transporte y la energía?

INCREMENTO CONSUMO ENERGÉTICO



Fuente: U.S. Energy Information Administration's - International Energy Outlook 2017

MEDIOAMBIENTE



Universidad
Rey Juan Carlos



CIM

CIENCIA E INGENIERÍA DE MATERIALES



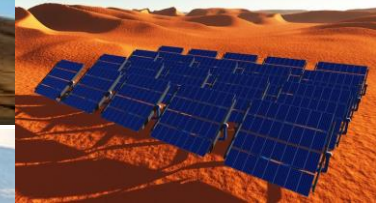
1. INTRODUCCIÓN

11

■ ¿Qué retos nos ofrecen los sectores del transporte y la energía?

ALTERNATIVAS POSIBLES

- Mejorar la eficiencia → Menos consumo para la misma actividad
- Recursos energéticos menos contaminantes → ENERGÍAS RENOVABLES



1. INTRODUCCIÓN

12

■ ¿Qué retos nos ofrecen los sectores del transporte y la energía?

NUEVOS RETOS PARA LOS MATERIALES EMPLEADOS

- Condiciones más severas: Hielo, erosión por partículas en suspensión, agresividad del agua marina, etc.
- Mayor durabilidad (protección frente a erosión, anti-hielo, deshielo, autorreparación)
- Mantenimiento: Más complejo y caro → SHM, autorreparación)



Universidad
Rey Juan Carlos



CIM

CIENCIA E INGENIERÍA DE MATERIALES

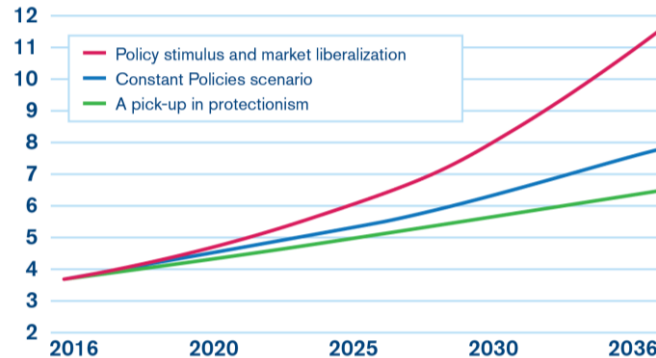


1. INTRODUCCIÓN

13

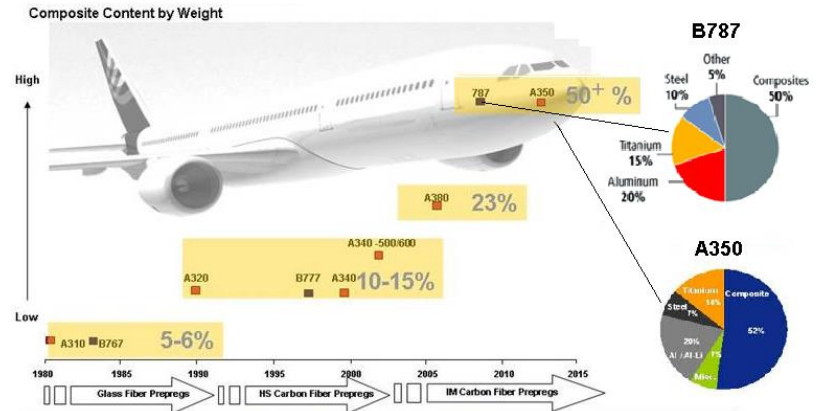
■ ¿Qué retos nos ofrecen los sectores del transporte y la energía?

Nº Pasajeros a nivel global (miles de millones)



Previsión crecimiento del número de pasajeros en tráfico aéreo.
(Fuente: IATA)

Uso de materiales compuestos en aeronaves



Universidad
Rey Juan Carlos



CIM

CIENCIA E INGENIERIA DE MATERIALES



1. INTRODUCCIÓN

14

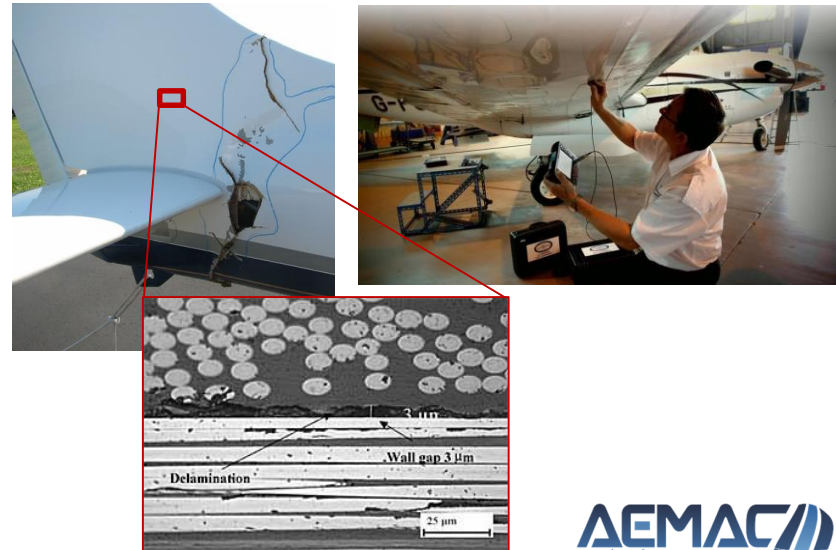
■ ¿Qué retos nos ofrecen los sectores del transporte y la energía?

Menores emisiones contaminantes a la atmósfera

Disminución de costes de mantenimiento

Incremento de la seguridad

Nuevos retos de la industria del transporte aeroespacial



1. INTRODUCCIÓN

15

- **¿Qué retos nos ofrecen los sectores del transporte y la energía?**

Menores emisiones contaminantes a la atmósfera

Disminución de costes de mantenimiento

Incremento de la seguridad

Nuevos retos de la industria del transporte aeroespacial



1. INTRODUCCIÓN

16

- **¿Qué retos nos ofrecen los sectores del transporte y la energía?**

Menores emisiones contaminantes a la atmósfera

Disminución de costes de mantenimiento

Incremento de la seguridad

Nuevos retos de la industria del transporte aeroespacial



2. Procesado y propiedades

2.1 ¿Cómo las podemos emplear?



2.1 Alternativas en el empleo de las matrices

18

Materiales Compuestos
Nanorreforzados
(*Nanocomposites*)

Rutas
convencionales
de moldeo

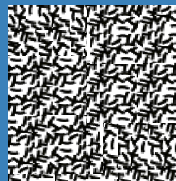
Impresión 3D
(*Direct Write,
SLA, DLP*)

Adhesivos nanorreforzados

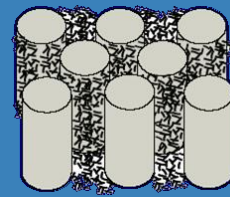
Recubrimientos orgánicos

Materiales Compuestos Multiescalares

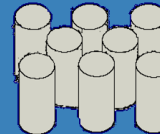
Materiales compuestos
nanorreforzados



Materiales compuestos
multiescalares



Material compuesto
tradicional o
micrométrico



Universidad
Rey Juan Carlos



CIM

CIENCIA E INGENIERIA DE MATERIALES



2. Procesado y propiedades

2.2 ¿Cómo se pueden procesar?

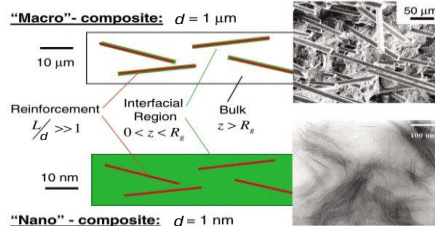
2.2 Procesado de las matrices nanorreforzadas

20

SUPERFICIE ESPECÍFICA

Intercara
refuerzo/matriz

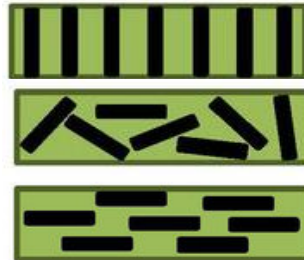
Aglomeración



ORIENTACIÓN

Propiedades a medida
(campos eléctricos y
magnéticos)

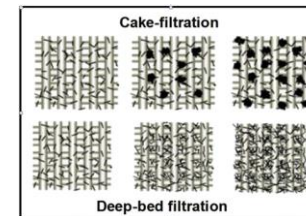
NO deseada
(orientación/decantación)



OTROS PROBLEMAS

Viscosidad

Filtrado en
fabricación de
multiescalares



Universidad
Rey Juan Carlos



CIM

CIENCIA E INGENIERÍA DE MATERIALES



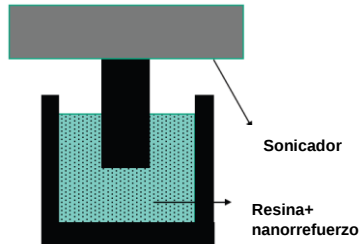
2.2 Procesado de las matrices nanorreforzadas

21

DISPERSIÓN

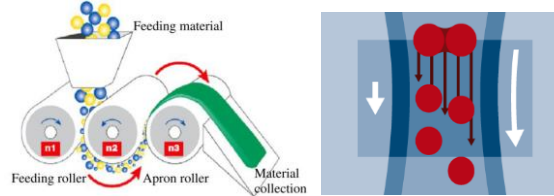
Alternativas sin disolventes

SONICACIÓN



- ✓ Exfoliación de GNP
- ✓ Buenos resultados dispersando CNT,CNF
- ✗ Eficiencia baja para elevada viscosidad
- ✗ Discontinuo y menos escalable
- ✗ Rotura del nanorrefuerzo con el tiempo

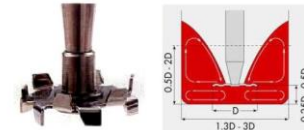
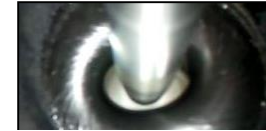
CALANDRADO



P-C. Ma et al, Compos. Part A, 41 (2010) y Exakt Technologies website

- ✓ Buenos resultados dispersando CNT,CNF.
- ✓ Eficiencia a mayores viscosidades
- ✓ Escalable y continuo
- ✗ Exfoliación más limitada de GNP
- ✗ Posibilidad de rotura del nanorrefuerzo

AGITACIÓN DE ALTA CIZALLA/TOROIDAL



- ✓ Distribución uniforme del nanorrefuerzo
- ✓ Rápida y escalable
- ✗ Viscosidad limitada por el flujo
- ✗ Dispersiones bajas
- ✗ Posible ondulación del GNP



Universidad
Rey Juan Carlos



CIM

CIENCIA E INGENIERIA DE MATERIALES

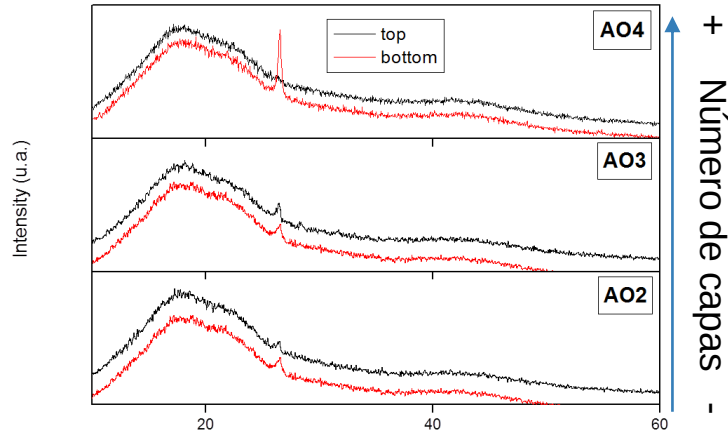


2.2 Procesado de las matrices nanorreforzadas

22

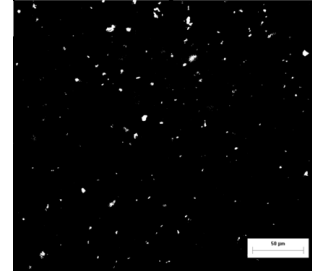
Orientación no deseada y decantación

DRX CARA SUPERIOR E INFERIOR

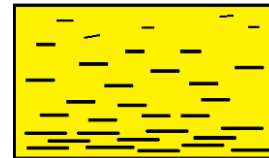
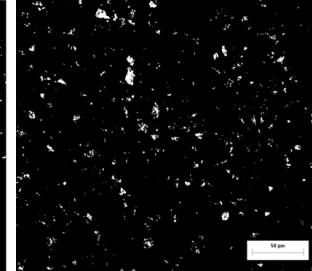


Imágenes TOM

cara superior



cara inferior



Partículas de menor número de capas (parcialmente exfoliadas)

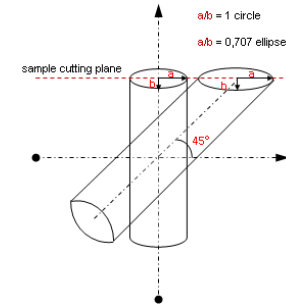
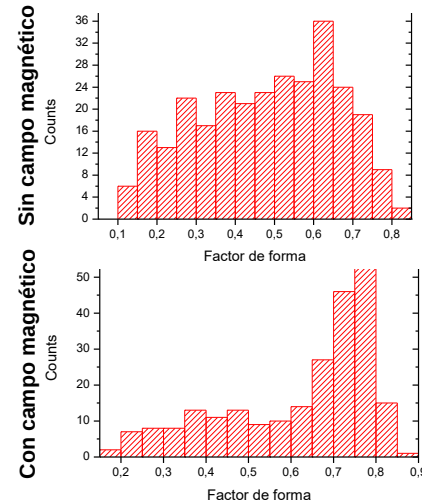
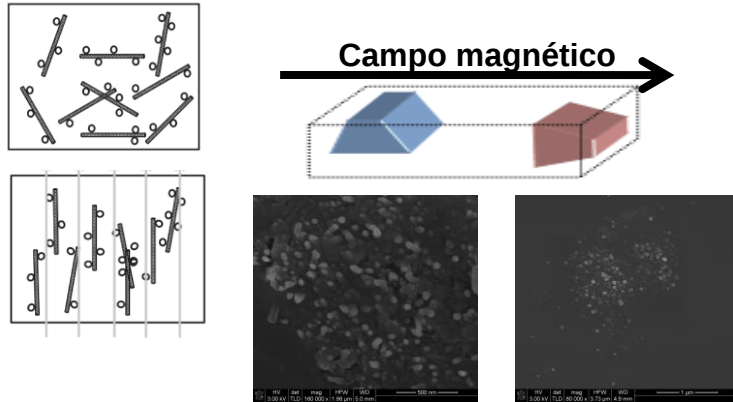
Partículas más gruesas, decantadas y orientadas

2.2 Procesado de las matrices nanorreforzadas

23

Orientación deseada y movilidad del nanorrefuerzo

CAMPOS MAGNÉTICOS → Funcionalización con partículas magnéticas



2.2 Procesado de las matrices nanorreforzadas

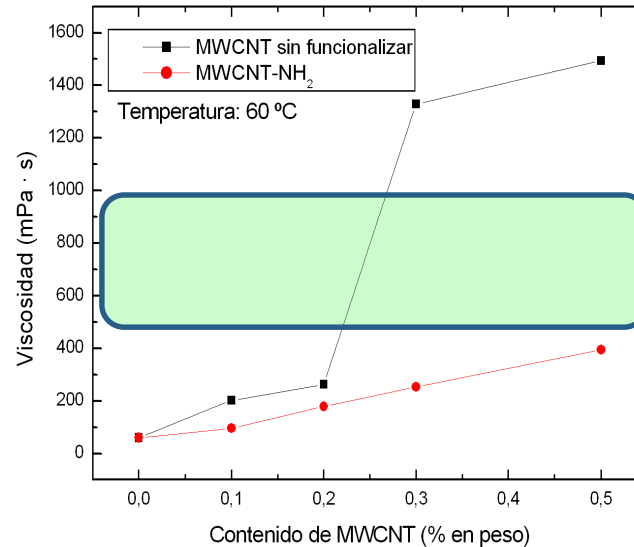
24

MODIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL FLUIDO

VISCOSIDAD

DIFICULTAD PARA ELIMINAR
GASES OCLUÍDOS

DIFICULTAD PARA
PROCESARLA (MOLDEO,
IMPREGNADO DE FIBRAS, ETC.)



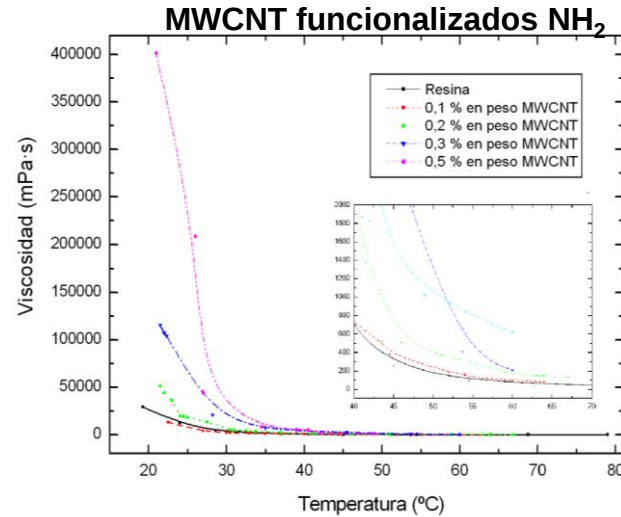
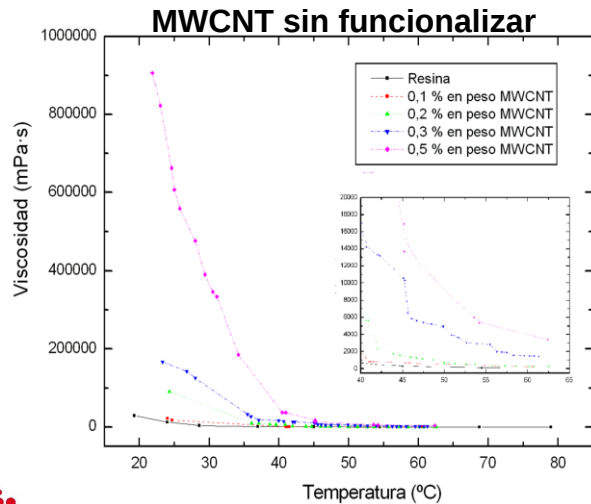
Concentraciones
más elevadas
pueden impedir
un correcto
procesado de las
matrices

Resina LY556 (SIN
ENTRECruzANTE)
MWCNT NC3150 Y
NC3152 de Nanocyl

2.2 Procesado de las matrices nanorreforzadas

25

MODIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL FLUIDO



La temperatura es un método efectivo para disminuir la viscosidad

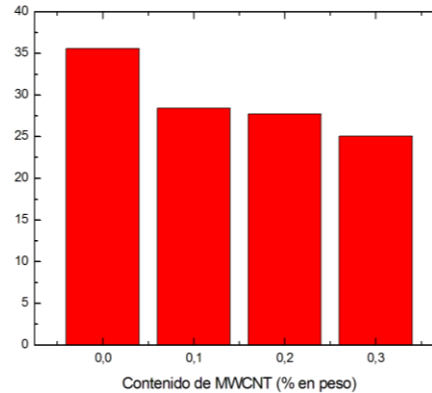
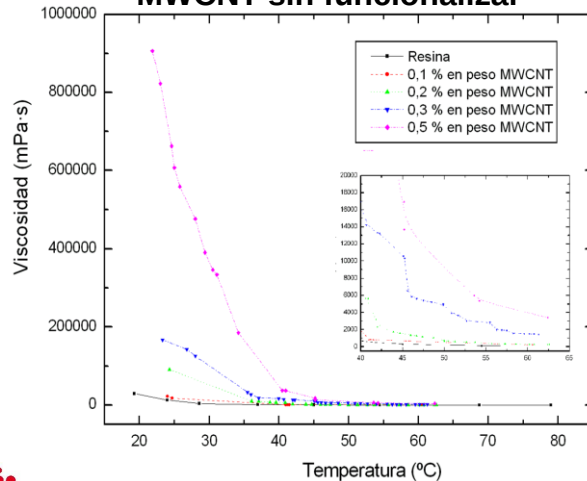
Resina LY556 (SIN ENTRECruzante)
MWCNT NC3150 Y NC3152 de Nanocyl

2.2 Procesado de las matrices nanorreforzadas

26

MODIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL FLUIDO

MWCNT sin funcionalizar



↓ T_{gel} un 30 % por la adición de nanorrefuerzo

↓
Aceleración del proceso de curado inicial

La temperatura
es un método
efectivo para
disminuir la
viscosidad

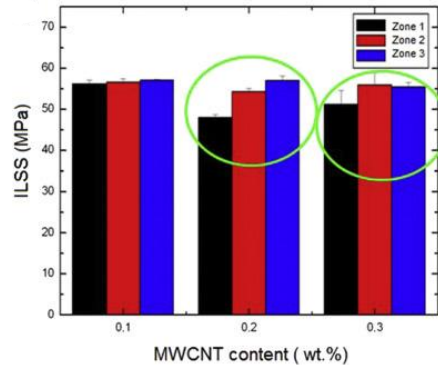
Resina LY556 (SIN
ENTRECruzANTE)
MWCNT NC3150 Y
NC3152 de Nanocyl

AEMAC
ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS

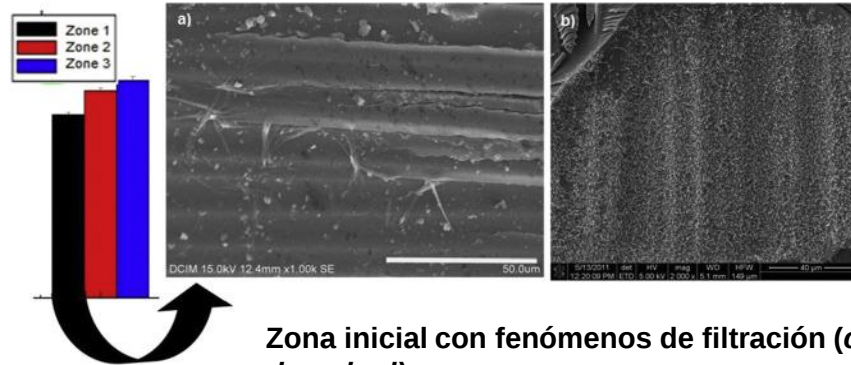
2.2 Procesado de las matrices nanorreforzadas

27

FENÓMENO DE FILTRADO



MWCNT NC3150, Nanocyl, fabricación por VARIM

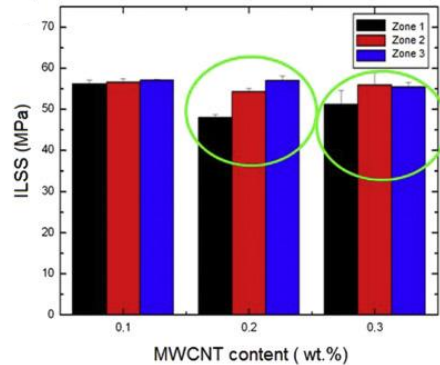


Zona inicial con fenómenos de filtración (*cake* y *deep-bed*)

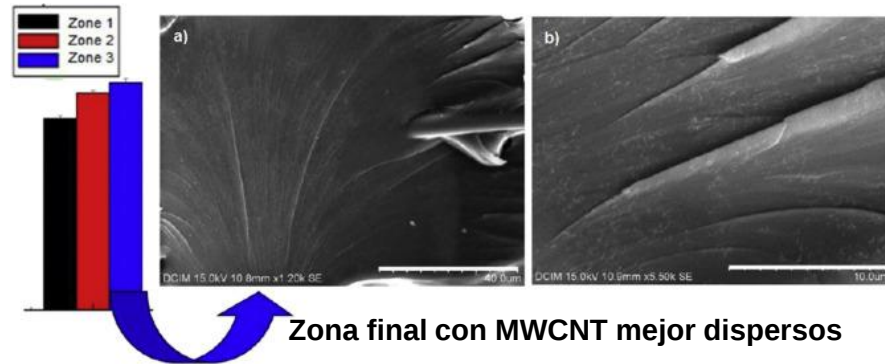
2.2 Procesado de las matrices nanorreforzadas

28

FENÓMENO DE FILTRADO



MWCNT NC3150, Nanocyl, fabricación por VARIM



2.2 Procesado de las matrices nanorreforzadas

29

Procesado

INCORPORACIÓN EN LA MATRIZ (PRINCIPALES RETOS)

- **DISPERSIÓN**
- **ORIENTACIÓN**
- **INCREMENTO DE LA VISCOSIDAD**
- **FILTRADO EN VÍA HÚMEDA**

Alternativas al problema de filtrado

INCORPORACIÓN EN EL TEJIDO

- **Crecimiento ORIENTADO (CVD)**
- **Deposición por electroforesis (SIN ORIENTACIÓN)**
- **Incorporación en el apresto/ensimaje de la fibra**
(depende de la morfología puede orientarse)

USO DE MOLDEO MANUAL POR CAPAS

- **Puede reducir problemas de filtrado parcialmente**
- **La viscosidad también afecta al proceso**
- **Menor reproducibilidad**

2. Procesado y propiedades

2.3 ¿Qué propiedades se persiguen?

2.3 Propiedades de las matrices nanorreforzadas

31

EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES TÉRMICAS

Conductividad
térmica

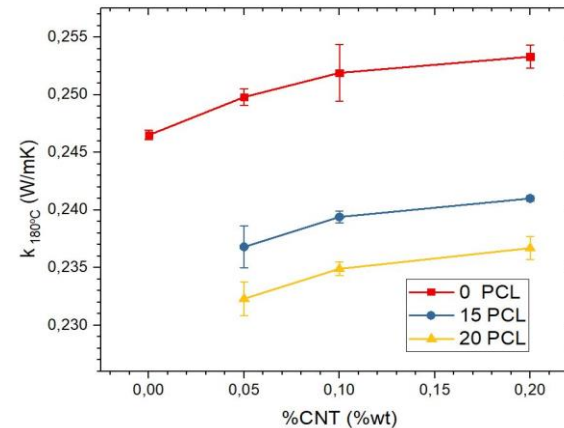
Temperatura
de transición
vítre

Degradación
térmica

Se encuentran aumentos y descensos en la literatura:

- ✓ Favorecen el calentamiento del material
- ✓ Retrasan/dificultan la movilidad de cadenas en estado gomoso
- × Dificultan la formación de la red entrecruzada

Efecto adición CNT en con. térmica



MWCNT NC7000, Nanocyl

2.3 Propiedades de las matrices nanorreforzadas

32

EFFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES TÉRMICAS

Conductividad
térmica

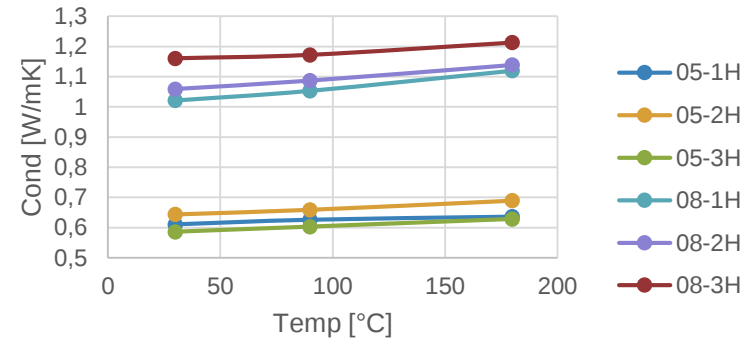
Temperatura
de transición
vítre

Degradación
térmica

Se encuentran aumentos y descensos en la literatura:

- ✓ Favorecen el calentamiento del material
- ✓ Retrasan/dificultan la movilidad de cadenas en estado gomoso
- × Dificultan la formación de la red entrecruzada

Cond. térmica en función de GNP



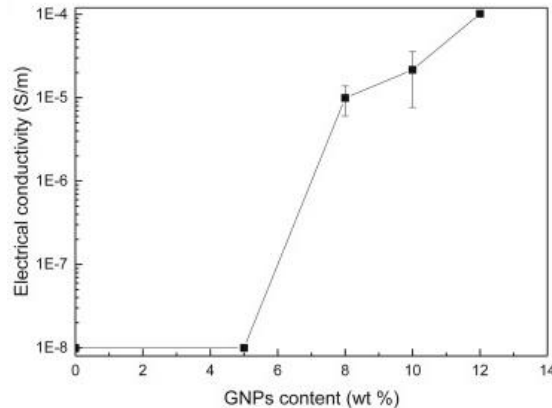
GNP M25, XGScience (0x-yH, x es contenido en masa; y es horas de sonicación), Valor de conductividad resina a 30 °C es 0,21 W/mK

2.2 Propiedades de las matrices nanorreforzadas

33

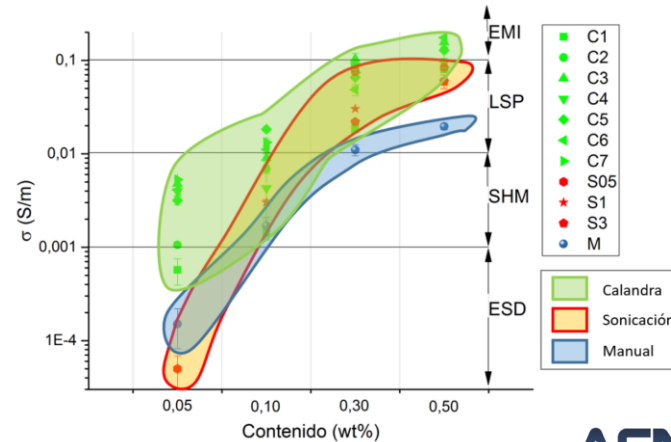
EFFECTO SOBRE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Umbral de percolación



Contenido y morfología

Dispersión

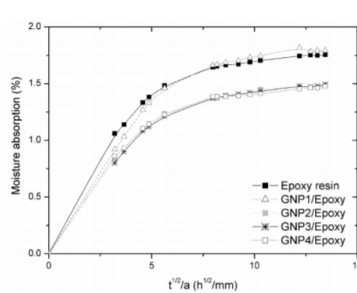


2.3 Propiedades de las matrices nanorreforzadas

34

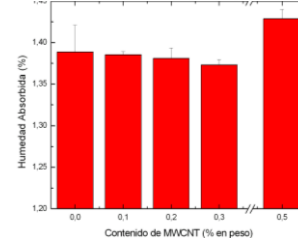
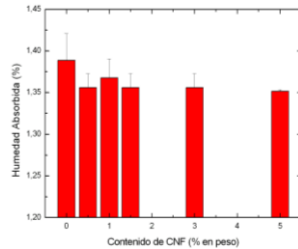
OTRAS PROPIEDADES

ABSORCIÓN DE HUMEDAD



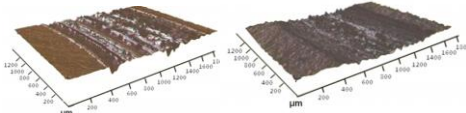
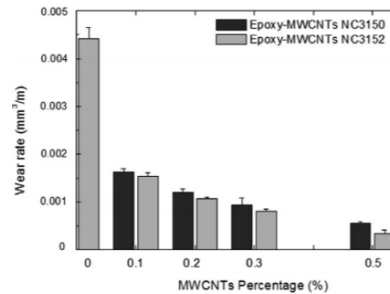
Nº Capas: GNP1<GNP2<GNP3<GNP4
GNP1 se pliega en el procesamiento

*GNP (A01,A02,A03,A04), Graphene Supermarket



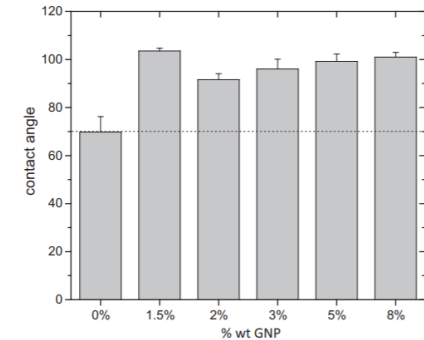
*MWCNT (NC3150,NC3152), Nanocyl

DESGASTE



Resina sin CNT Resina 0,5% MWCNT-NH₂

HIDROFOBICIDAD



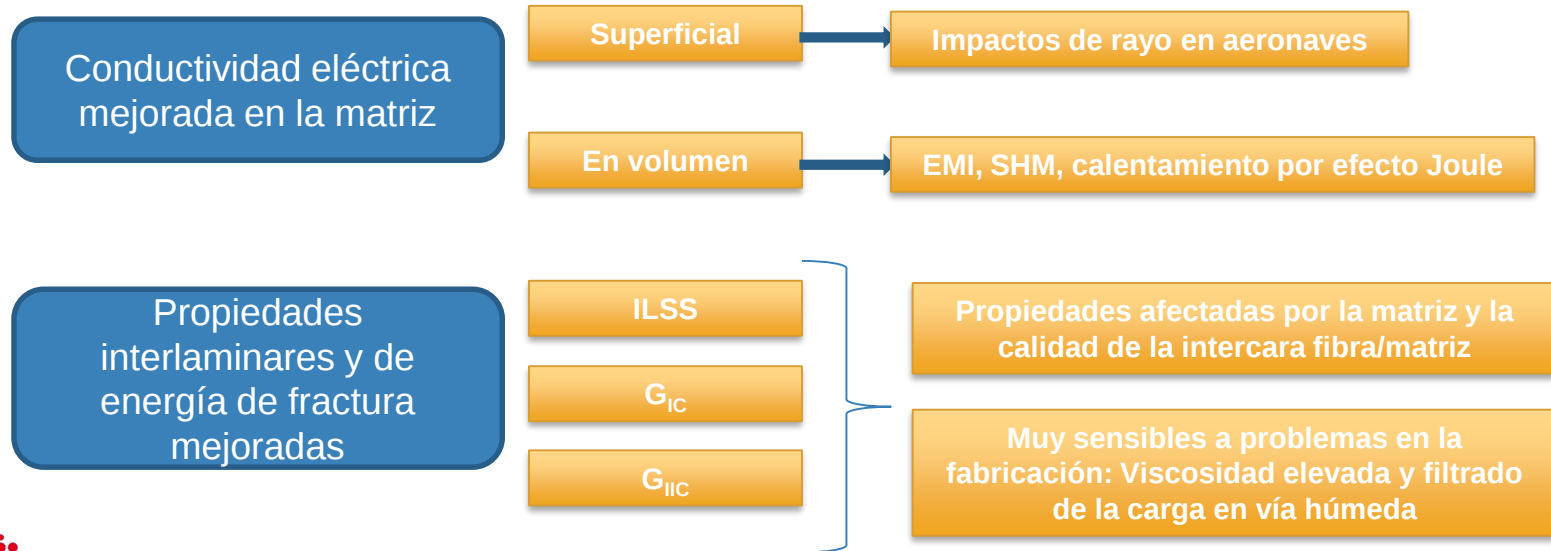
*GNP25, XGScience

3. APLICACIONES

3.1. Materiales compuestos multiescalares

3.1 Empleo en materiales compuestos multiescalares

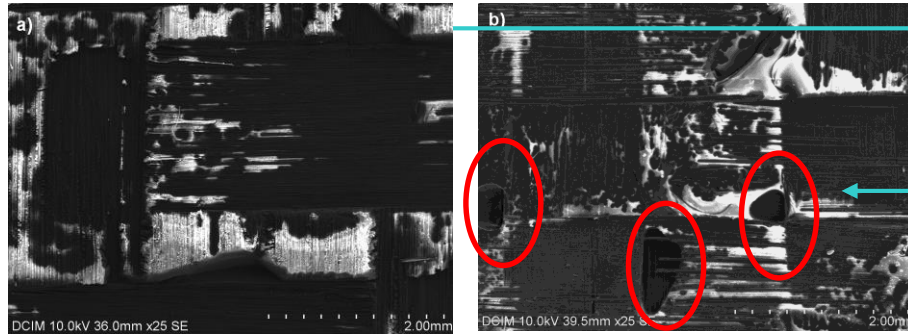
36



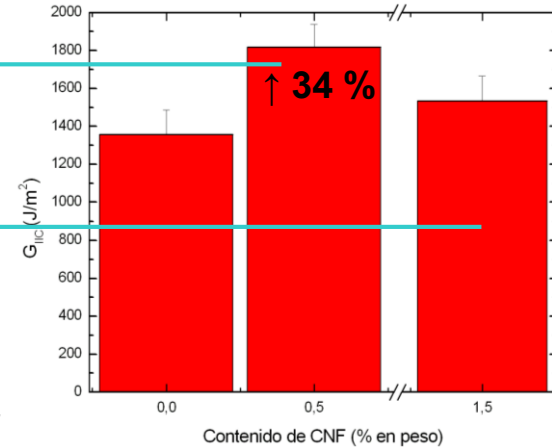
3.1 Empleo en materiales compuestos multiescalares

37

G_{IIC} con la adición de CNF a CFRP (Fibra de carbono/resina epoxi)



Mejora de la energía a fractura → Limitaciones en la fabricación con el incremento en contenido.



Universidad
Rey Juan Carlos



CIM

CIENCIA E INGENIERÍA DE MATERIALES

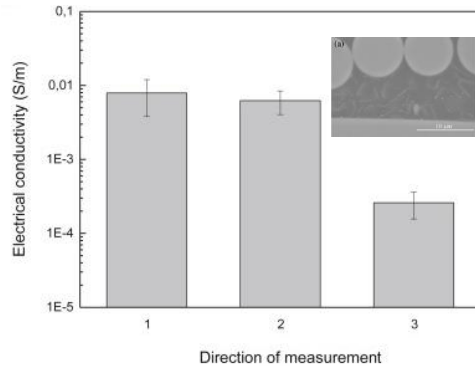


3.1 Empleo en materiales compuestos multiescalares

38

Conductividad eléctrica
mejorada en la matriz

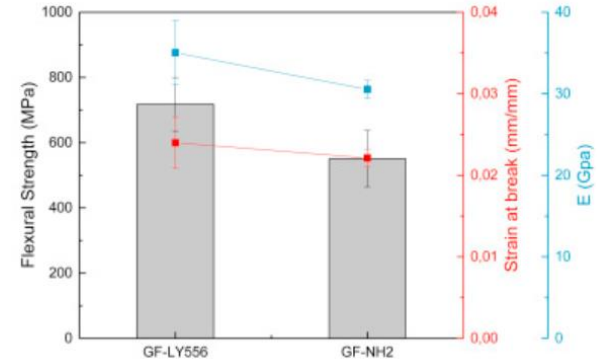
EMI, SHM, calentamiento por efecto Joule



12 % en masa, GNP-NH₂ G4, Cheaptubes,
GFRP (Fibra de vidrio/resina epoxi)

La fabricación por
hand lay-up evita
el problema de
filtrado

Viscosidad
dificulta el
impregnado
correcto +
intercara débil



Universidad
Rey Juan Carlos



CIM

CIENCIA E INGENIERIA DE MATERIALES

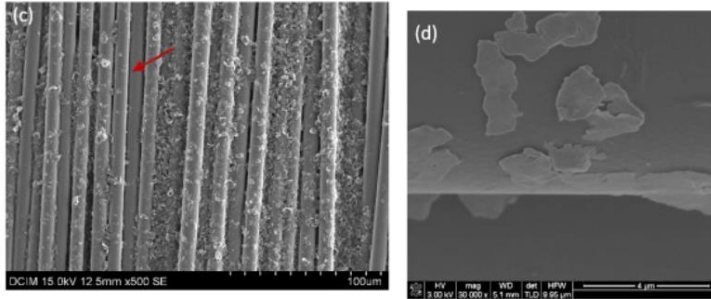


3.1 Empleo en materiales compuestos multiescalares

39

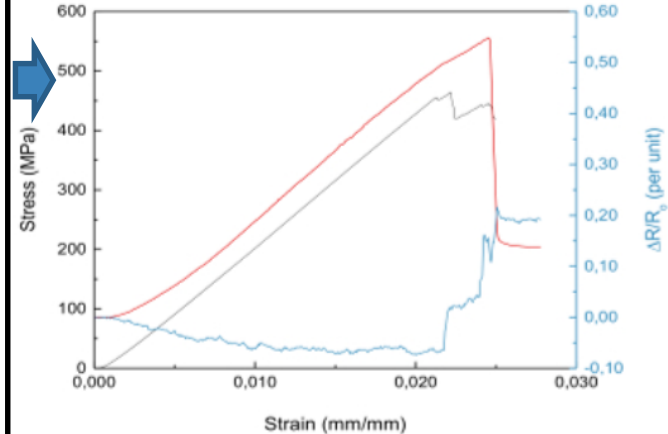
Incorporación en la fibra del nanorrefuerzo

EMI, SHM, calentamiento por efecto Joule



GNP-NH₂ G4, Cheaptubes en sizing,
GFRP (Fibra de vidrio/resina epoxi)

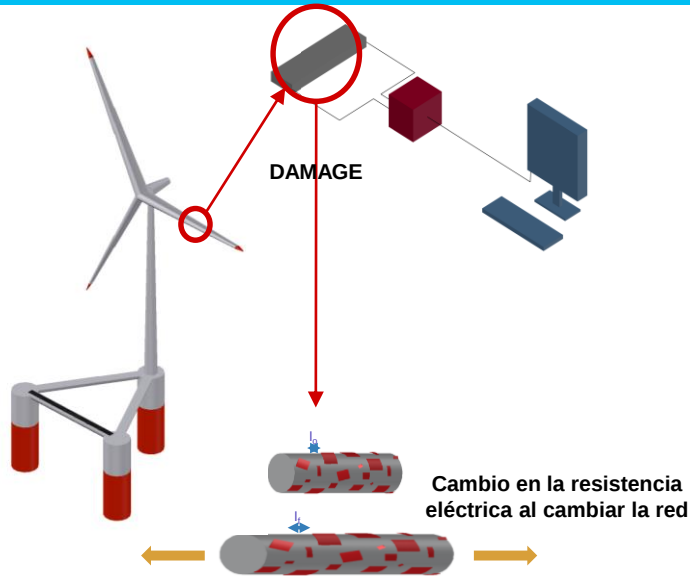
Posibilidad de monitorizar la
deformación y el daño en
ensayo de flexión



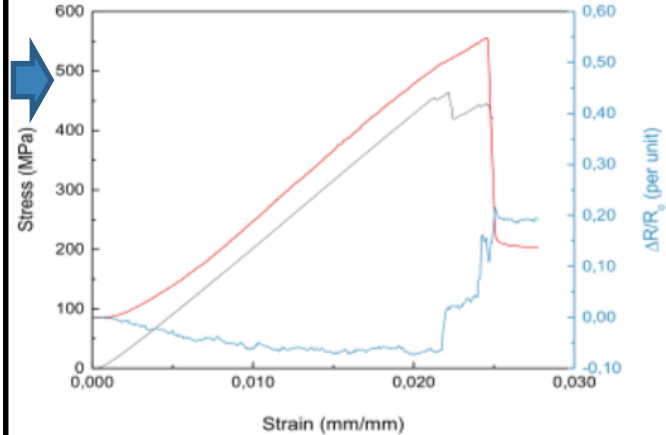
GNP-NH₂ G4, Cheaptubes en
sizing, GFRP (Fibra de
vidrio/resina epoxi)

3.1 Empleo en materiales compuestos multiescalares

40



Posibilidad de monitorizar la deformación y el daño en ensayo de flexión



GNP-NH₂ G4, Cheaptubes en sizing, GFRP (Fibra de vidrio/resina epoxi)

AEMAC
ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS



Universidad
Rey Juan Carlos



CIM

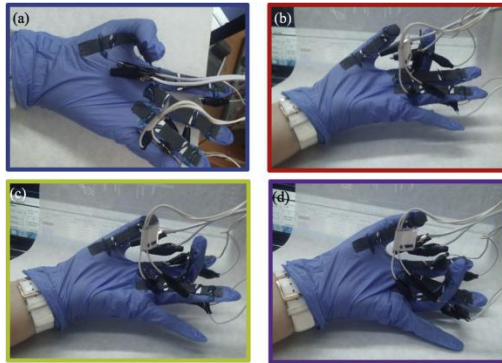
CIENCIA E INGENIERÍA DE MATERIALES

3.1 Empleo en materiales compuestos multiescalares

41

Incorporación en la fibra del nanorrefuerzo

EMI, SHM, calentamiento por efecto Joule



GNP-NH₂ G4, Cheaptubes en sizing, sobre fibra de vidrio

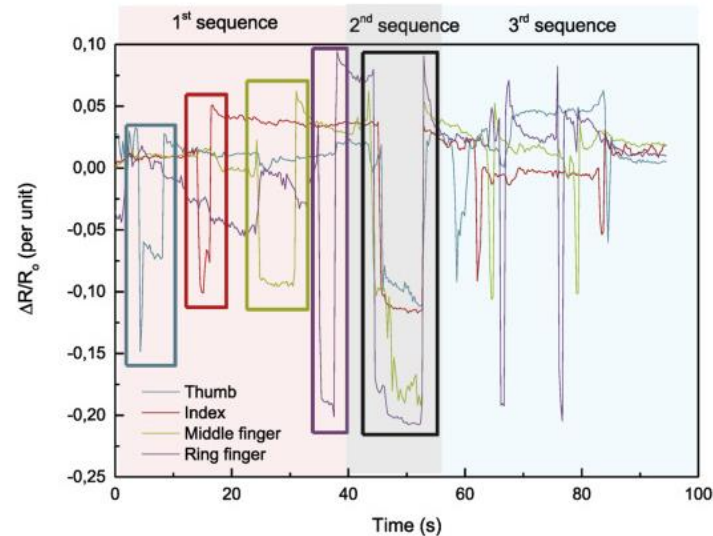


Universidad
Rey Juan Carlos



CIM

CIENCIA E INGENIERIA DE MATERIALES



ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS

3. APLICACIONES

3.2 Adhesivos nanorreforzados

3.2 Adhesivos nanorreforzados

43

Conductividad eléctrica
mejorada

Unión de elementos
conductores

SHM de la unión

Calentamiento efecto
Joule (curado)

Conductividad térmica
mejorada

Homogeneidad en
calentamiento por efecto Joule

Unión de elementos que requieren
transmisión de calor

Mantener o incrementar
la capacidad de unión del
adhesivo

Propiedades del
adhesivo

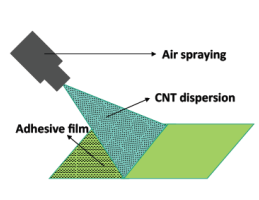
Propiedades de la intercara
entre adhesivo y sustratos

3.2 Adhesivos nanorreforzados

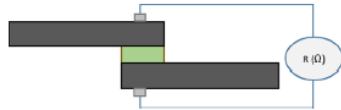
44

Conductividad eléctrica

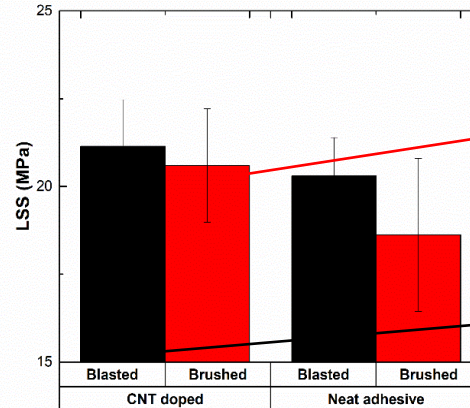
Uniones híbridas (Al/CFRP) empleando adhesivo en forma de film con CNT depositados sobre el mismo



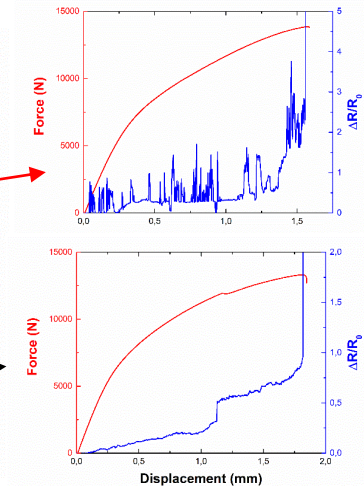
Ensayos de resistencia de uniones a solape simple (LSS)



Monitorización de la salud estructural de la unión



Ligera mejora de las propiedades mecánicas

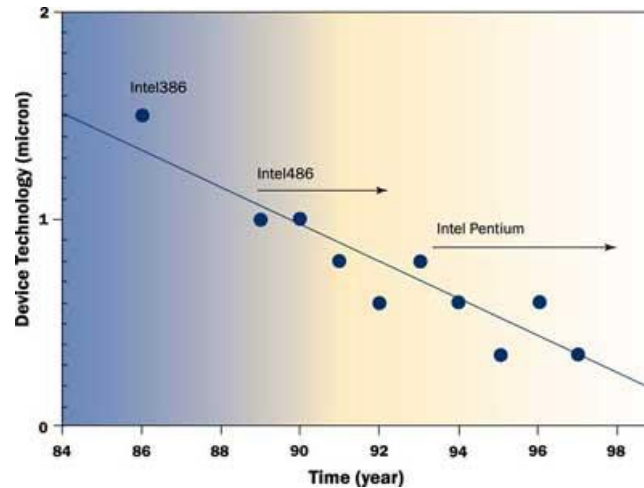
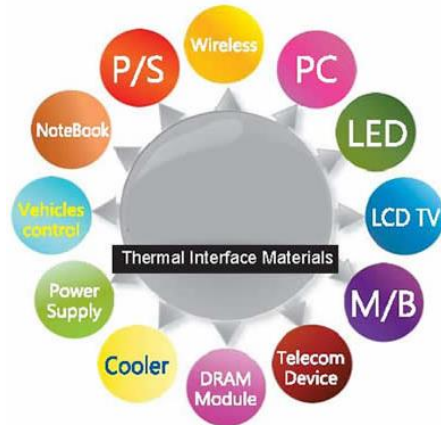


3.2 Adhesivos nanorreforzados

45

Conductividad térmica mejorada

Unión de elementos que requieren transmisión de calor



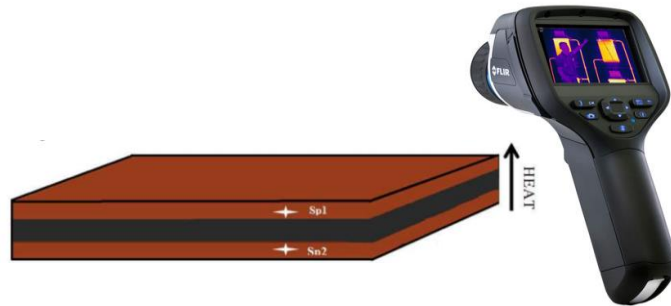
Necesidad de
evacuar el calor
generado
↓
Materiales de interfaz
térmica (TIM)

3.2 Adhesivos nanorreforzados

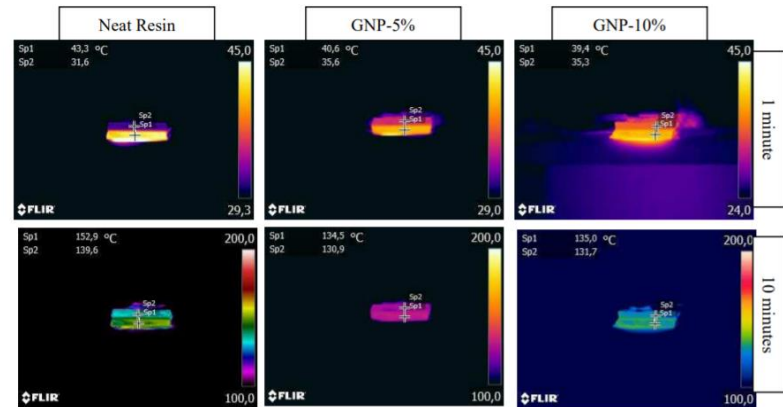
46

Conductividad térmica mejorada

Unión de elementos que requieren transmisión de calor



Placas de cobre unidas mediante el adhesivo nanorreforzado. Calentador flexible en la parte inferior GNP

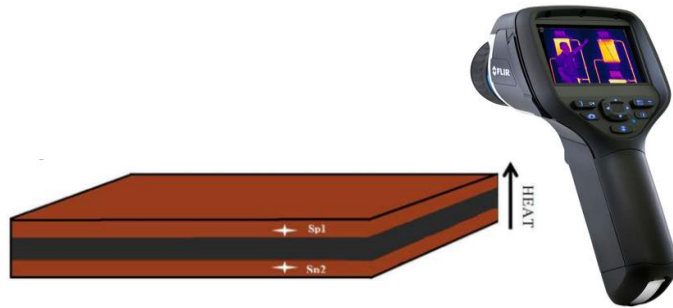


3.2 Adhesivos nanorreforzados

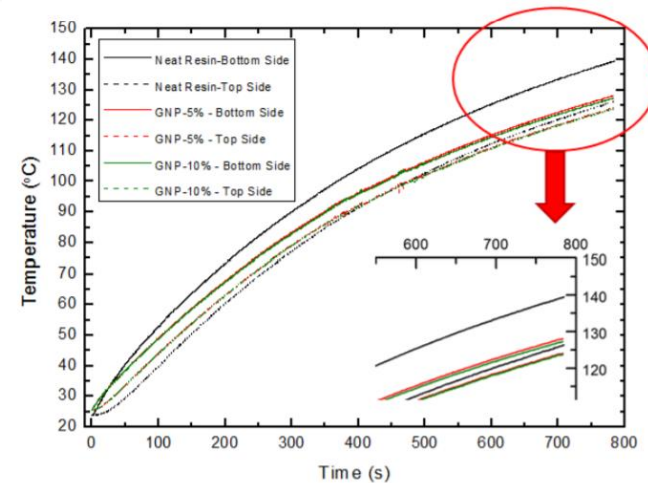
47

Conductividad térmica mejorada

Unión de elementos que requieren transmisión de calor



Placas de cobre unidas mediante el adhesivo nanorreforzado. Calentador flexible en la parte inferior
GNP



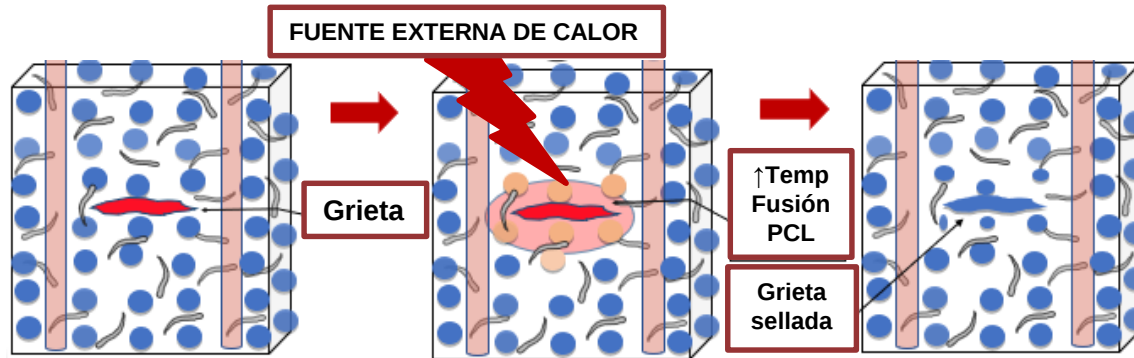
3. APLICACIONES

3.3 Sistemas autorreparables

3.3 Sistemas autorreparables

49

■ Sistemas basados en *blends* epoxi/PCL con reparación térmica



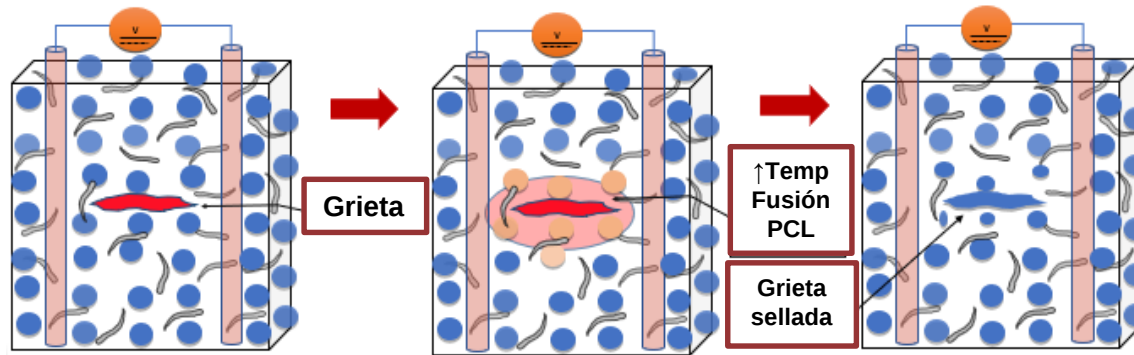
- Resina epoxi (DGEBA + DDS, *Sigma Aldrich*)
- Policaprolactona (PCL, *Sigma Aldrich*)
- MWCNT (NC700 *Nanocyl*)

Reparación por agente externo → Temperatura →
Dificultad para calentar diferentes estructuras

3.3 Sistemas autorreparables

50

■ Sistemas basados en *blends* epoxi/PCL con reparación térmica



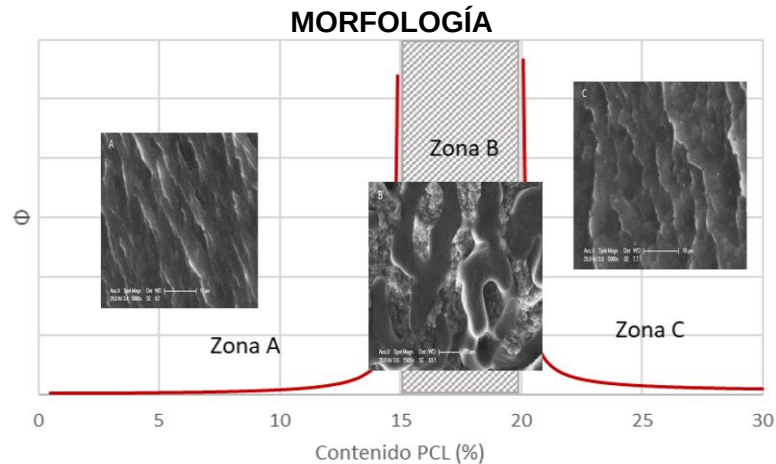
- Contenido en PCL
 - Prop. Mecánicas
 - Autorreparación
- Contenido en CNT
 - Conductividad eléctrica
 - Calentamiento por efecto Joule hasta la temperatura requerida

Calentamiento del material por efecto Joule mediante la aplicación de un voltaje en la matriz nanorreforzada

3.3 Sistemas autorreparables

51

- **Sistemas basados en *blends* epoxi/PCL con reparación térmica**

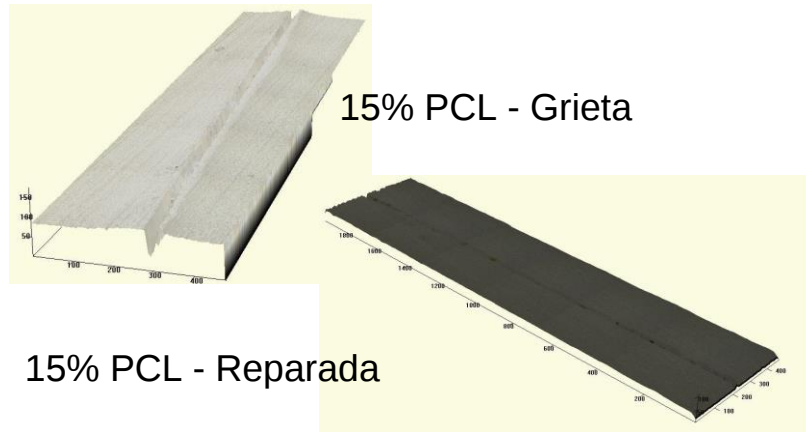


3.3 Sistemas autorreparables

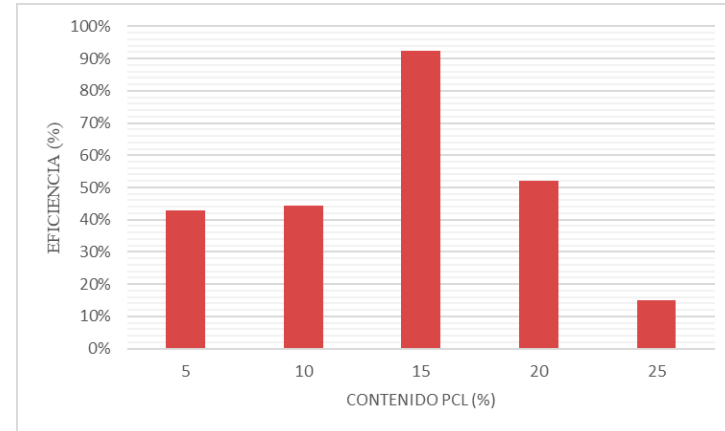
52

- **Sistemas basados en *blends* epoxi/PCL con reparación térmica**

EJEMPLO DE PERFILOMETRÍA



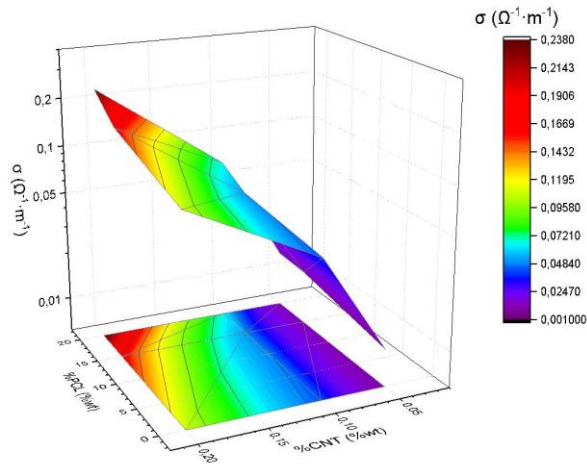
REPARACIÓN



3.3 Sistemas autorreparables

53

■ Sistemas basados en *blends* epoxi/PCL con reparación térmica



- 0,05 % en masa de MWCNT es suficiente para alcanzar conductividades entorno a 10^{-2} S/m $\rightarrow$ SHM $\rightarrow$ ¿Efecto Joule suficiente?
- Máximas conductividades alrededor de 0,1-0,2 S/m
- Incorporación de PCL causa un ligero incremento de la conductividad (el significativo es causado por el CNT)

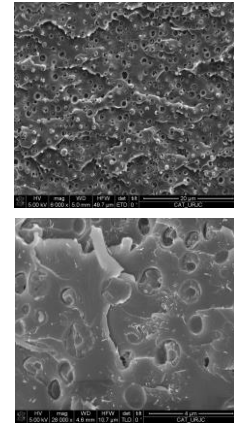
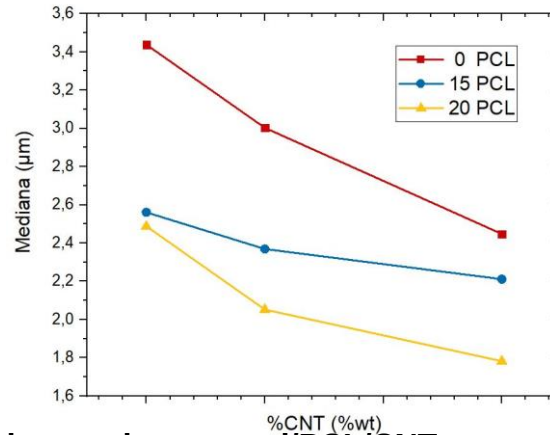
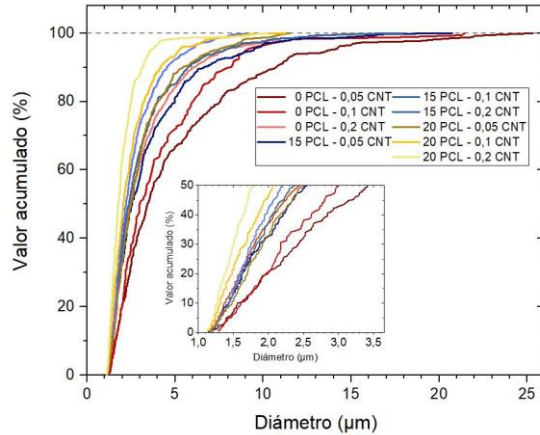


EFECTO DE LAS CONCENTRACIONES EN EL PROCESO DE DISPERSIÓN POR CALANDRADO

3.3 Sistemas autorreparables

54

■ Sistemas basados en *blends* epoxi/PCL con reparación térmica

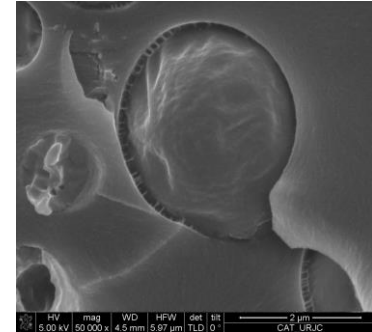
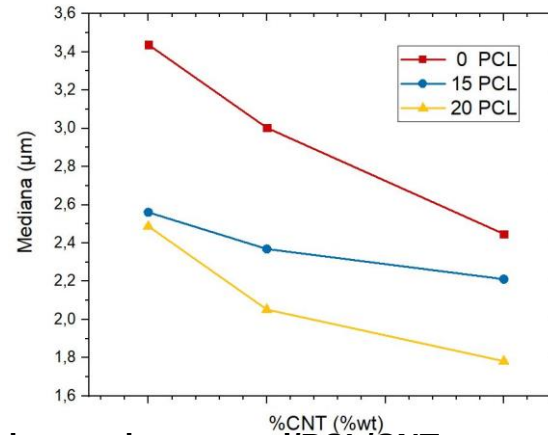
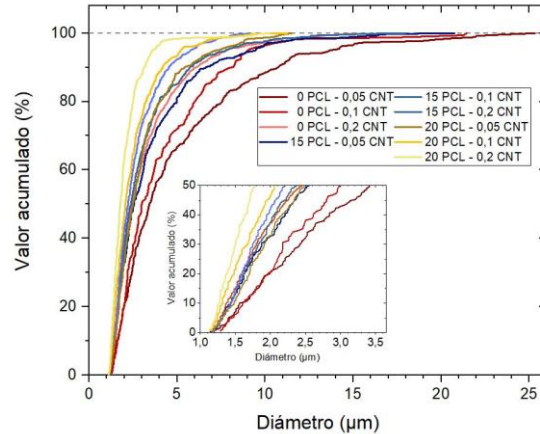


Tamaño de aglomerado en epoxi/PCL/CNT

3.3 Sistemas autorreparables

55

■ Sistemas basados en *blends* epoxi/PCL con reparación térmica



Tamaño de aglomerado en epoxi/PCL/CNT

3.3 Sistemas autorreparables

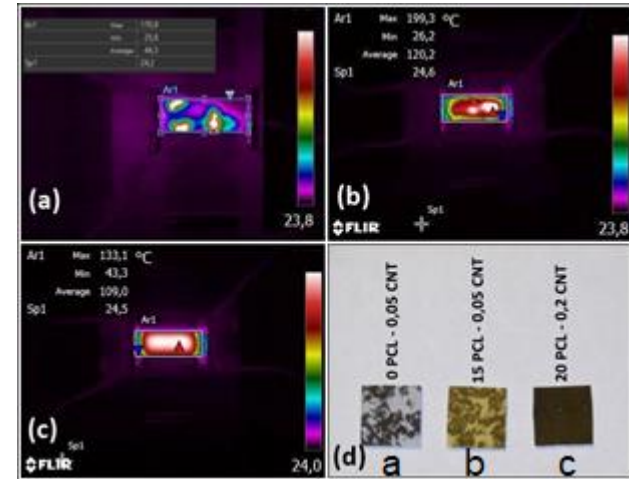
56

■ Sistemas basados en *blends* epoxi/PCL con reparación térmica

VOLTAJE REQUERIDO PARA ALCANZAR 100 °C

0 PCL			15 PCL			20 PCL		
%CNT (%wt)	Voltaje (V)	$\Delta T (T_{max} - T_{media}) (^{\circ}C)$	%CNT (%wt)	Voltaje (V)	$\Delta T (T_{max} - T_{media}) (^{\circ}C)$	%CNT (%wt)	Voltaje (V)	$\Delta T (T_{max} - T_{media}) (^{\circ}C)$
0,05			0,05	546,5	83,0	0,05	568	34,5
0,1	250,5	37,0	0,1	250,7	38,0	0,1	240	37,0
0,2	190,5	30,5	0,2	171,5	34,0	0,2	138,8	29,5

- ✓ Excesiva heterogeneidad con contenidos de 0,05 % en peso
- ✓ Temperaturas alcanzadas que permite reparación



3. APLICACIONES

3.4 Impresión 3D de matrices nanorreforzadas

3.4 Impresión 3D de matrices nanorreforzadas

58

- ¿Por qué dar el paso a las tecnologías de fabricación aditiva?

COMPLEJIDAD SIN COSTE

VARIACIONES EN EL DISEÑO

REDUCCIÓN ENSAMBLAJE

FABRICACIÓN *IN SITU*

DISEÑOS CON MENOS LIMITACIONES

FILOSOFÍA JIT

REPRODUCIBILIDAD EXACTA

REDUCCIÓN DE DESHECHOS

3.4 Impresión 3D de matrices nanorreforzadas

59

- ¿Es evidente el uso de materiales compuestos nanorreforzados en impresión 3D?

RESINAS TERMOESTABLES



NANORREFUERZOS

IMPRESIÓN 3D

TECNOLOGÍAS:

- Direct Write (Inyección)
- Estereolitografía (SLA)

ALTERNATIVAS:

- Resinas termocurables
- Resinas fotocurables
- Impresión 3D/2,5D

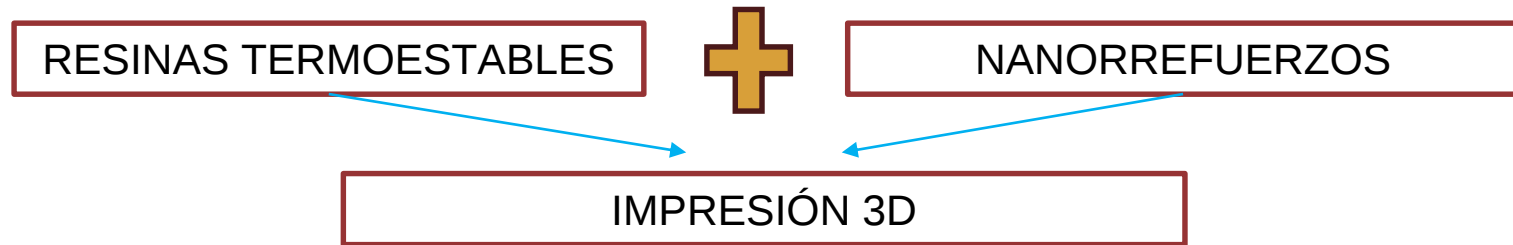
DIFICULTADES:

- Curado modificado
- Reología modificada

3.4 Impresión 3D de matrices nanorreforzadas

60

- ¿Es evidente el uso de materiales compuestos nanorreforzados en impresión 3D?

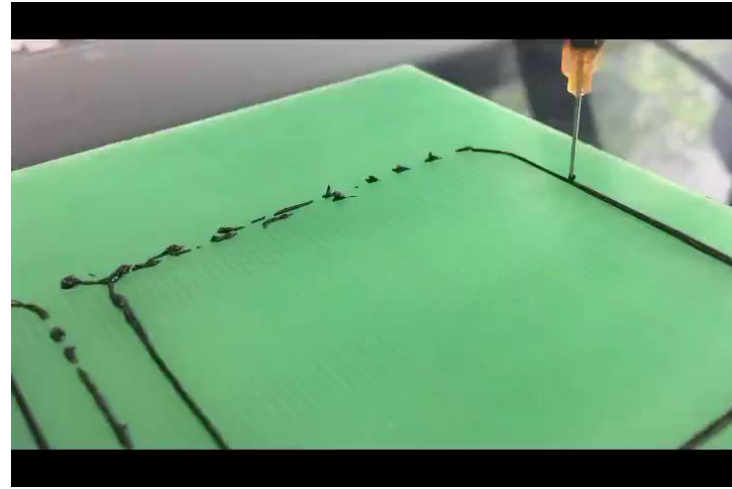


SHM – DESHIELO – *SELF-CURING* – *SELF-HEALING*

3.4 Impresión 3D de matrices nanorreforzadas

61

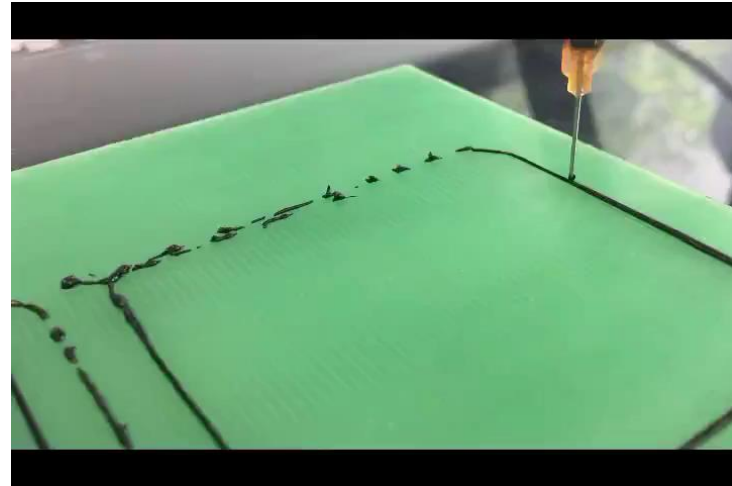
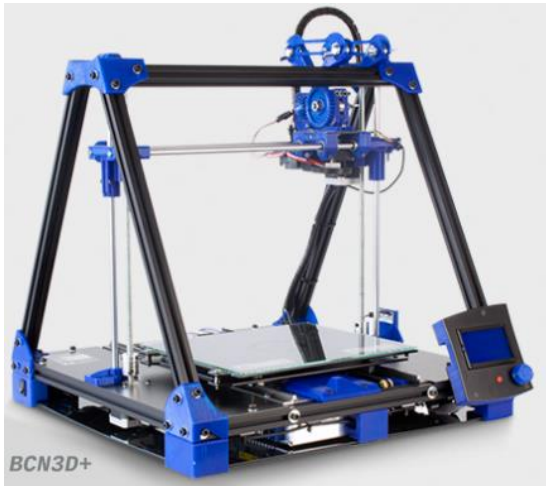
- **Resinas con curado térmico → Circuitos 2,5D superficiales → *Direct Write***



3.4 Impresión 3D de matrices nanorreforzadas

62

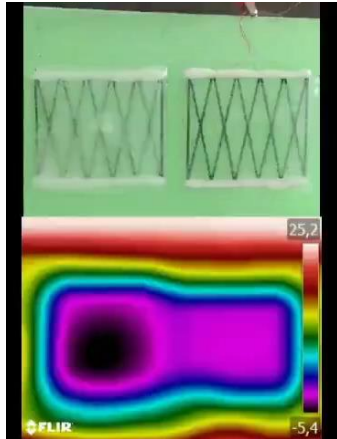
- Resinas con curado térmico → Circuitos 2,5D superficiales → *Direct Write*



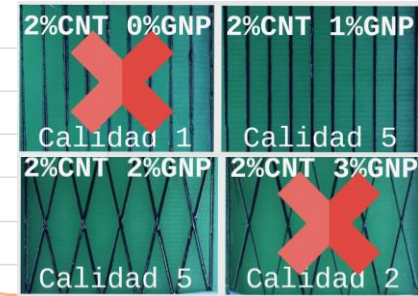
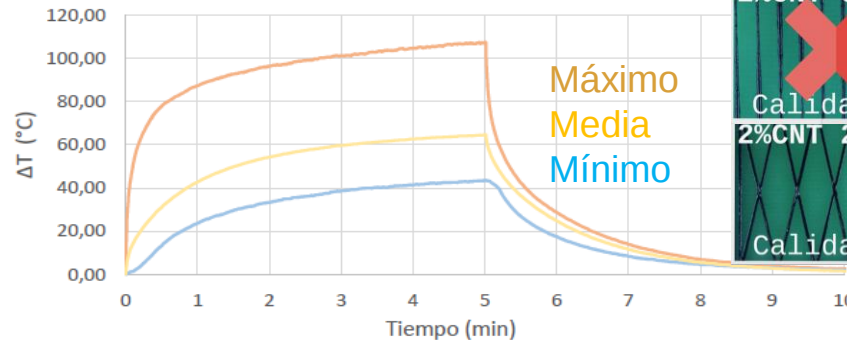
3.4 Impresión 3D de matrices nanorreforzadas

63

- Resinas con curado térmico → Circuitos 2,5D superficiales → *Direct Write* → *Deshielo*



ENSAYO DE DESHIELO CON EL CIRCUITO IMPRESO SELECCIONADO



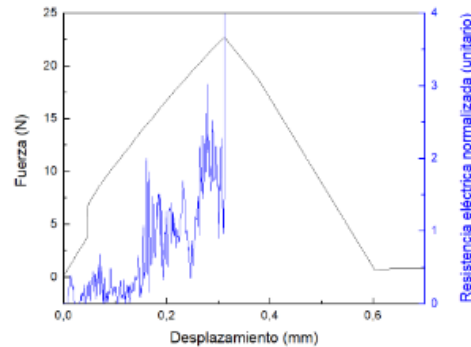
3.4 Impresión 3D de matrices nanorreforzadas

64

- Resinas con curado térmico → Circuitos 2,5D superficiales → *Direct Write* → SHM



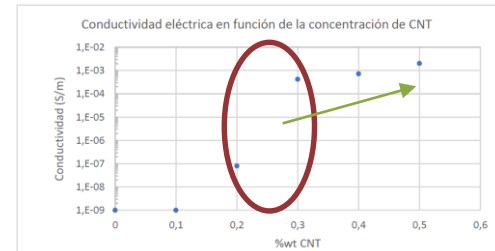
Ensayo de tracción individual de los hilos fabricados por *Direct Write*



$$S = \frac{\Delta R/R_0}{\varepsilon} = 137,5$$



- Sensibilidad muy alta
- Señal muy inestable



- Señal más estable
- Perder sensibilidad



Universidad
Rey Juan Carlos



CIM

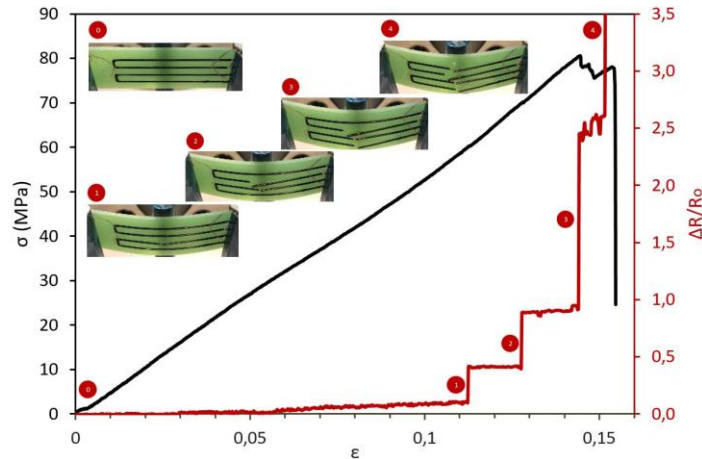
CIENCIA E INGENIERÍA DE MATERIALES



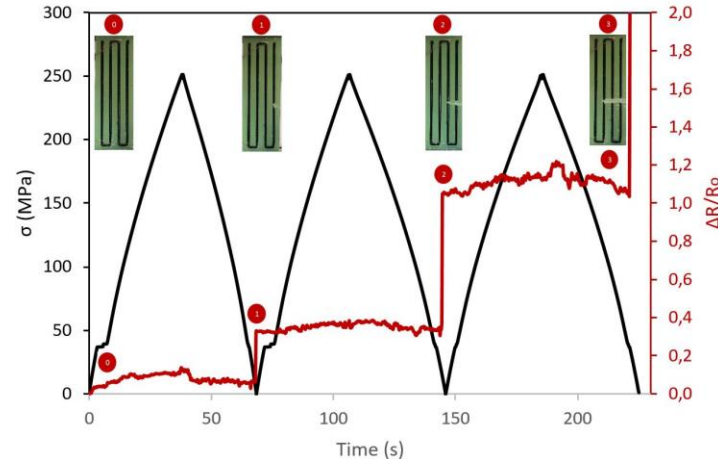
3.4 Impresión 3D de matrices nanorreforzadas

65

- **Resinas con curado térmico → Circuitos 2,5D superficiales → *Direct Write* → SHM**



Ensayo de flexión hasta rotura de los circuitos



Ensayo de tracción cíclico con eliminación de circuitos progresiva



Universidad
Rey Juan Carlos



CIM

CIENCIA E INGENIERIA DE MATERIALES

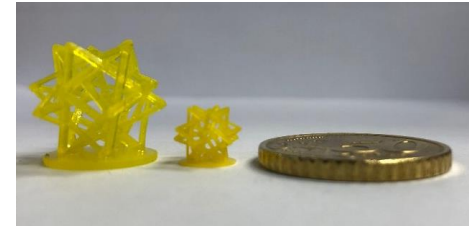
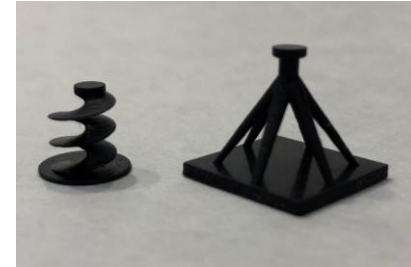
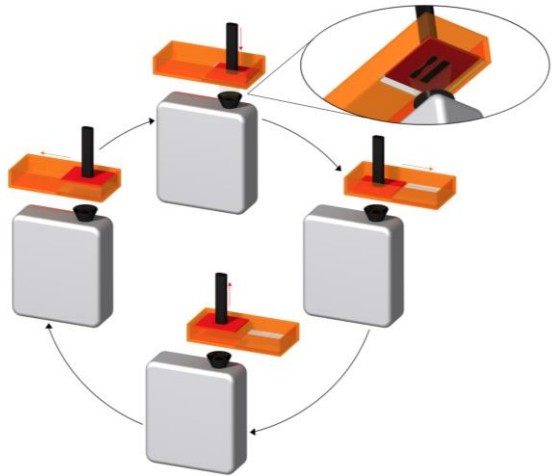


ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS

3.4 Impresión 3D de matrices nanorreforzadas

66

■ Resinas fotocurables por impresión 3D - DLP

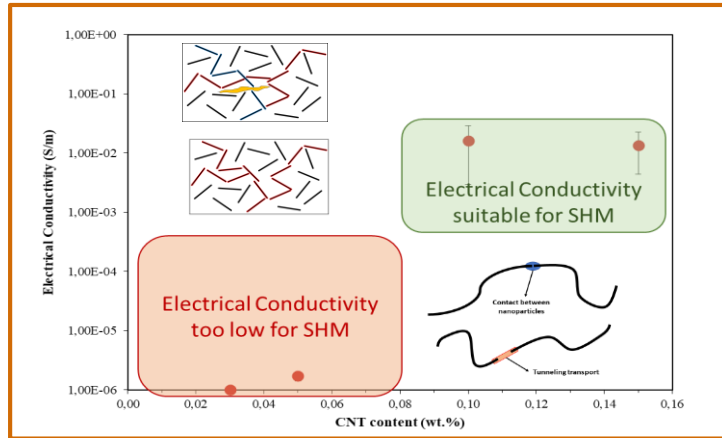


3.4 Impresión 3D de matrices nanorreforzadas

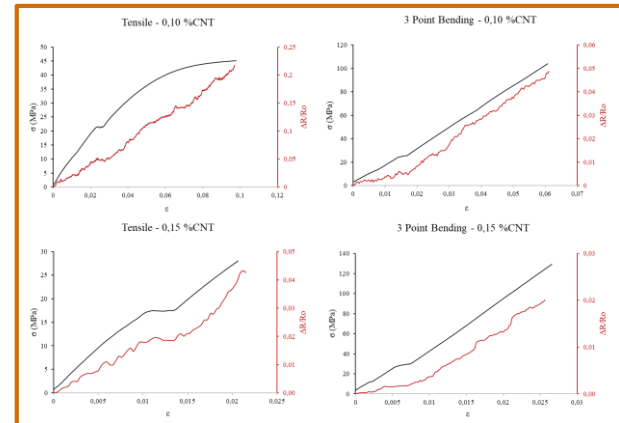
67

■ Resinas fotocurables por impresión 3D - DLP

Conductividad eléctrica



Monitorización de la salud estructural



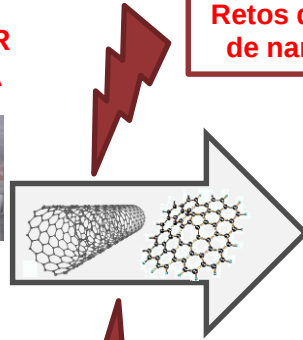
4. CONCLUSIONES

4 RESUMEN/CONCLUSIONES

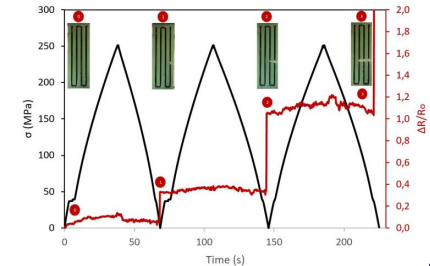
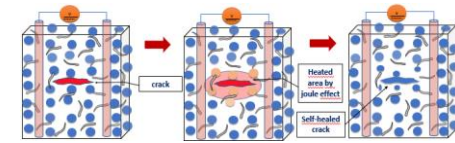
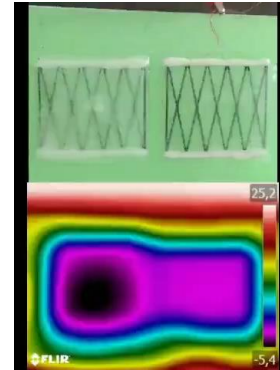
RETOS ACTUALES EN EL SECTOR DEL TRANSPORTE Y LA ENERGÍA



Retos del procesamiento de nanorreforzados



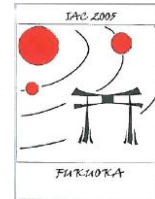
Nuevas tecnologías – Impresión 3D



THE SMALLEST PARTICLES, THE BIGGEST PROJECTS

IAC-05-C2.7.06

THE SMALLEST PARTICLES, THE BIGGEST PROJECTS



Alberto Jimenez Suarez
Carlos III University of Madrid, Spain
aljimenezs@yahoo.es

Pablo A. Madueño Asensio
Polytechnic University of Madrid, Spain
pablmad@yahoo.es

ABSTRACT

When we talk about nanotechnology we usually think in very little particles but, in fact it's probably that these things are smaller than we could think. Working with particles between 1 to 100 nanometers has supposed a revolution in scientific and technical areas. Investigation of materials in the nanometer scale (nanomaterials) has moved material limits to a higher position.

Agradecimientos

- Rocío Moriche Tirado
- Xoan Xosé Fernández Sánchez-Romate
- Alejandro Cortés Fernández
- Mónica Campo Gómez
- Silvia González Prolongo
- Gilberto del Rosario
- María Sánchez Martínez
- Jonathan Martín González
- María Isabel Rodríguez
- Alejandro Ureña Fernández



DATOS DE CONTACTO

Alberto Jiménez Suárez

Correo electrónico: alberto.jimenez.suarez@urjc.es

Scopus id: 37112453700

Researcher id: F-3391-2016

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8416-6398>

**MUCHAS
GRACIAS**

