

Bienvenid@s

WEBINAR





Irene García Moreno

Investigadora grupo COMES, ETSII Ciudad Real, UCLM

Materiales compuestos multidireccionales de fibra continua obtenidos mediante impresión 3D: comportamiento bajo cargas de impacto

21 de Mayo 2020, 16:00 (Madrid, GMT+2)



Universidad de
Castilla-La Mancha



Materiales compuestos multidireccionales de fibra continua obtenidos mediante impresión 3D: comportamiento bajo cargas de impacto compuestos de fibra continua obtenidos mediante fabricación aditiva



Universidad de
Castilla-La Mancha



- 1. PRESENTACIÓN DEL GRUPO COMES**
- 2. FABRICACIÓN ADITIVA DE MATERIALES COMPUESTOS CON FIBRAS**
- 3. LAMINADOS UNIDIRECCIONALES**
 - **TRACCIÓN Y FLEXIÓN**
 - **ILSS**
 - **IMPACTO**
- 4. LAMINADOS MULTIDIRECCIONALES**
- 5. CONCLUSIONES**

1.

GRUPO COMES



Universidad de
Castilla-La Mancha



1. GRUPO COMES

Nuestro grupo de Investigación: **Mecánica de los Medios Continuos e Ingeniería de Materiales (COMES)**

**Grupo multidisciplinar:
8 doctores y 2 investigadores
predoctorales**



Avda. Camilo José Cela, s/n
13071 Ciudad Real (España)

Juan José López Cela
Tel. 926 295 300 ext: 3806
juanjose.lopez@uclm.es

Gloria Patricia Rodríguez Donoso
Tel. 926 295 300 ext: 3815
gloria.rodriguez@uclm.es



[Escuela de Ingeniería Industrial y Aeroespacial, Toledo](#)
Avenida Carlos III, s/n
Real Fábrica de Armas 45071 Toledo (España)
Tel. 925 268 800



[ETS Ingeniería Industrial, Ciudad Real](#)
Laboratorio de Mecánica de los Medios Continuos e Ingeniería de Estructuras
Laboratorio de Ciencia e Ingeniería de Materiales
[Instituto de Investigaciones Energéticas y Aplicaciones Industriales \(INEI\)](#)
Laboratorio de Materiales Compuestos

1. GRUPO COMES

Líneas de investigación: 1. Procesado y modificación superficial de materiales metálicos con energía solar concentrada

Energía solar concentrada



- Tratamientos térmicos y superficiales
- Sinterización de aleaciones metálicas
- Síntesis autopropagada a altas temperaturas (SHS)
- Procesado de recubrimientos
- Procesado de espumas metálicas

Lente de Fresnel con cámara de reacción

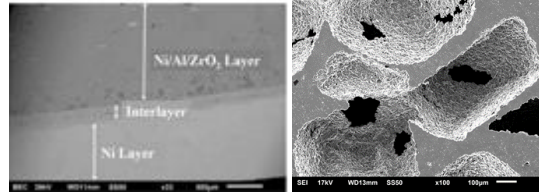
Colaboraciones:



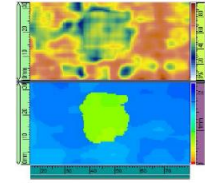
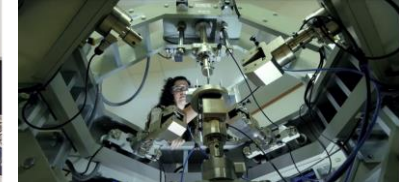
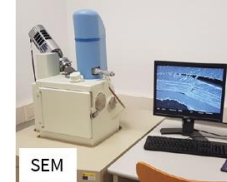
PROMES-CNRS



Universidad de
Castilla-La Mancha



Líneas de investigación: 2. Procesado y caracterización del comportamiento mecánico de materiales compuestos reforzados con fibras de carbono (CFRP)

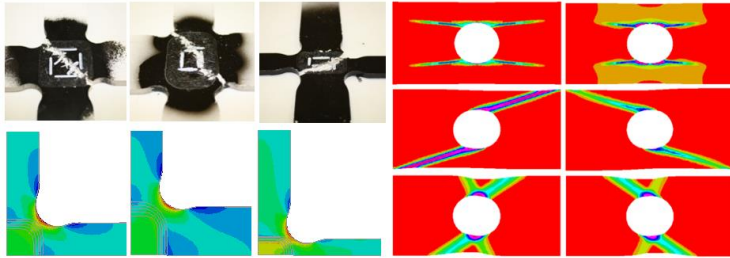


CAI, envejecimiento térmico, caracterización mediante ultrasonidos Phased Array, flexión de tres puntos, estudio del efecto de la configuración y secuencia del laminado, tolerancia al impacto

1. GRUPO COMES

Líneas de investigación: 3. Método de los Elementos Finitos aplicado al análisis del comportamiento de materiales y estructuras (Mecánica computacional)

- Comportamiento elástico y/o plástico anisótropo de materiales: desarrollo de nuevos algoritmos y validación experimental
- Software comerciales de análisis mediante FEM: ABAQUS®, ANSYS®, ADINA®



Líneas de investigación: 3. Procesado de aleaciones metálicas mediante Fabricación aditiva: Aceros Inoxidables, Superalaciones, Aleaciones de Titanio

- Técnicas de fabricación aditiva FDM y sinterización de polvos metálicos en tres etapas

Impresora 3D de
filamento metálico (pieza
en verde) basado en FDM

Equipo de eliminación
de ligante polimérico
(DEBINDING)

Horno de sinterización
(SINTERING)

Líneas de investigación: 4. Procesado de polímeros avanzados reforzados mediante Fabricación Aditiva: PEEK, PEKK, PEI,... reforzados con fibra corta, nanopartículas, fibra continua

- Fabricación aditiva mediante FFF (Fused Filament Fabrication) de estructuras funcionales de materiales compuestos termoplásticos reforzados



2.

FABRICACIÓN ADITIVA DE MATERIALES COMPUESTOS CON FIBRAS



Universidad de
Castilla-La Mancha



2. FABRICACIÓN ADITIVA DE MATERIALES COMPUESTOS CON FIBRAS

MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADOS CON FIBRA

Propiedades

- Baja densidad
- Módulo específico
- Alta resistencia

Aplicaciones estructurales



Energías



Naval



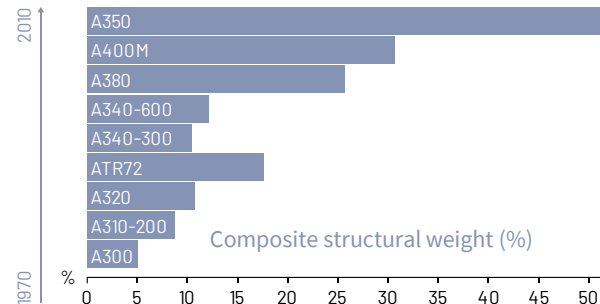
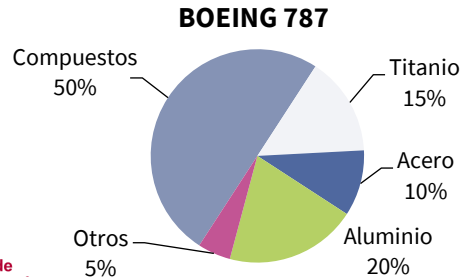
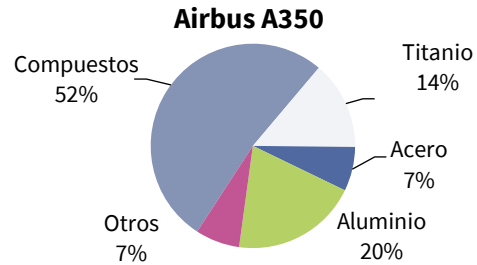
Aeronáutica



Aeroespacial

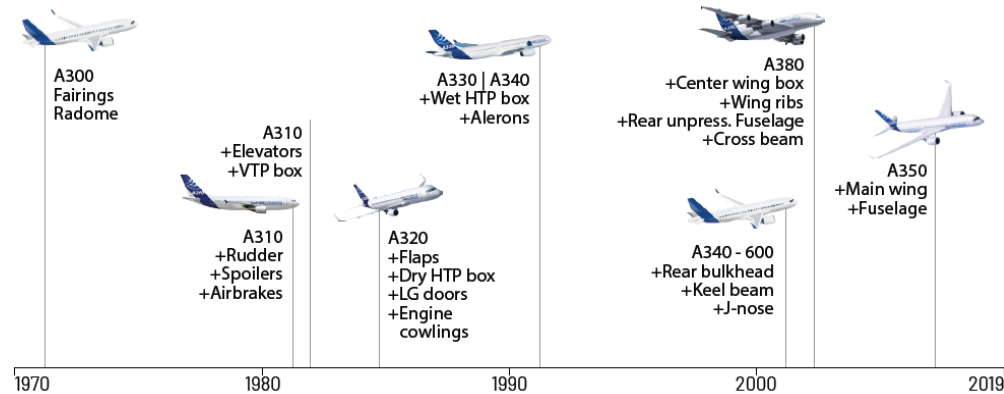
2. FABRICACIÓN ADITIVA DE MATERIALES COMPUESTOS CON FIBRAS

SECTOR AERONÁUTICO

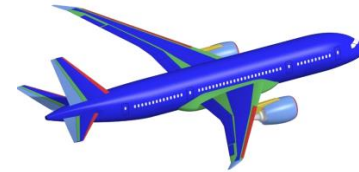


2. FABRICACIÓN ADITIVA DE MATERIALES COMPUESTOS CON FIBRAS

SECTOR AERONÁUTICO



BOEING 787



- Carbon laminate
- Carbon sandwich
- Fiberglass
- Aluminium
- Aluminium/Steel/titanium pylons

2. FABRICACIÓN ADITIVA DE MATERIALES COMPUESTOS CON FIBRAS

FABRICACIÓN ADITIVA

Bioimpresión



Piezas metálicas

Ventajas

- Geometrías complejas
- Pocos residuos
- Reducción de costes
- Facilidad de empleo

Transporte



Boeing 777x

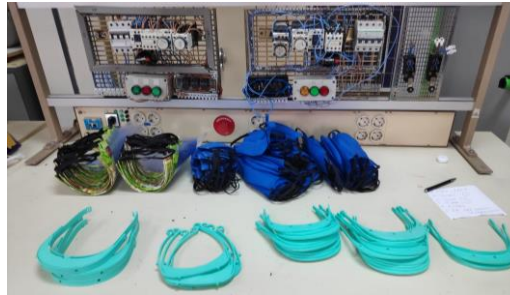


2. FABRICACIÓN ADITIVA DE MATERIALES COMPUESTOS CON FIBRAS

La fabricación aditiva y la impresión 3D, respuesta rápida y flexible
en la lucha contra el COVID-19



Ventiladores, viseras, respiradores,
hisopos nasales
o mascarillas

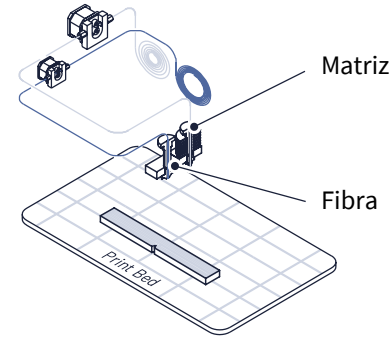
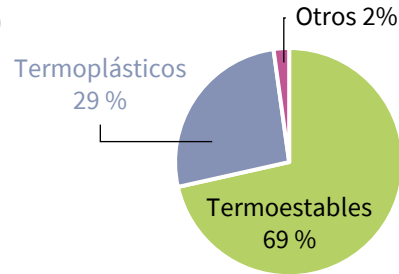


2. FABRICACIÓN ADITIVA DE MATERIALES COMPUESTOS CON FIBRAS

FABRICACIÓN ADITIVA

Matrices poliméricas (2018)

Reutilizable
No necesita curado



¿Usos?

Actualmente:
Prototipos conceptuales

Poros, baja resistencia interlaminar

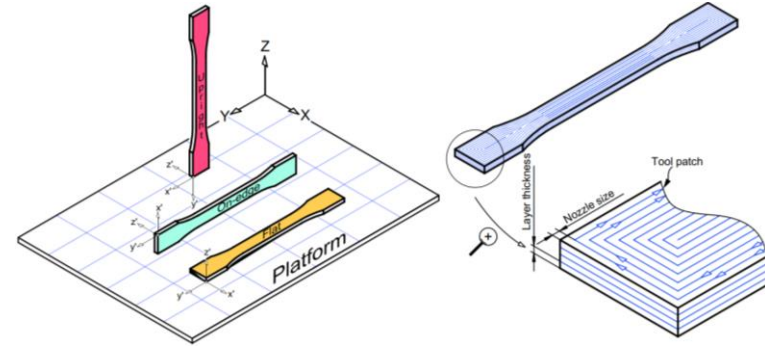
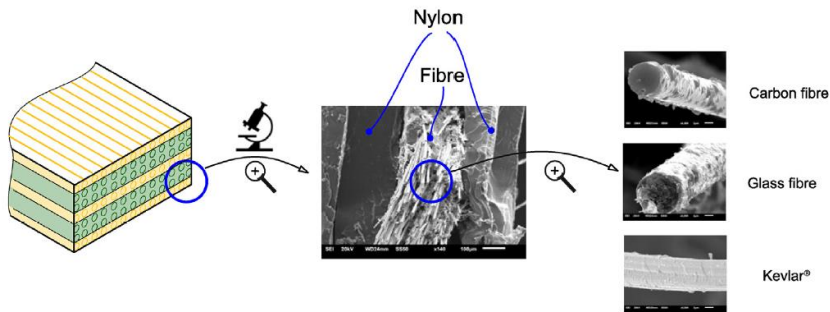
Expectativas:
Piezas funcionales

Refuerzo con fibras continuas

2. FABRICACIÓN ADITIVA DE MATERIALES COMPUESTOS CON FIBRAS

FABRICACIÓN ADITIVA

Alta anisotropía

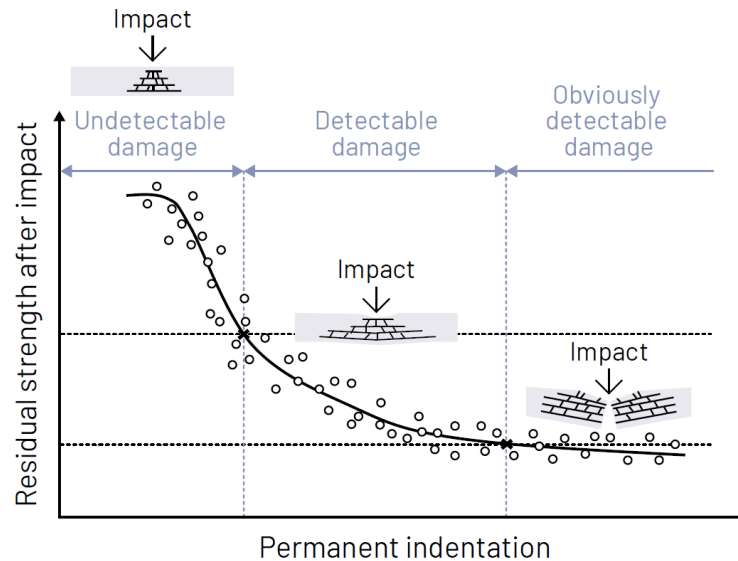


PLA SIN REFUERZO

- Orientación de impresión
- Altura de capa
- Velocidad de alimentación

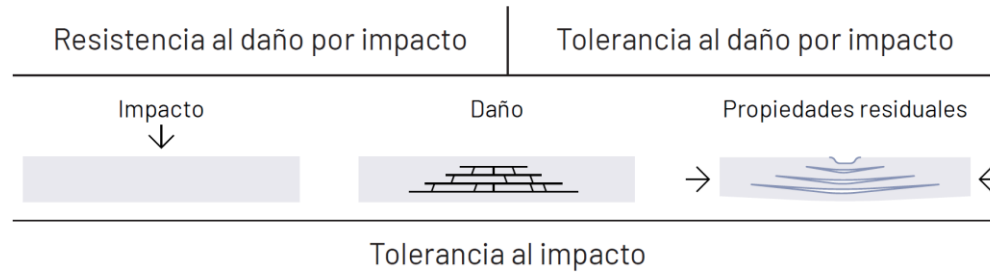
2. FABRICACIÓN ADITIVA DE MATERIALES COMPUESTOS CON FIBRAS

IMPACTO EN MATERIALES COMPUESTOS

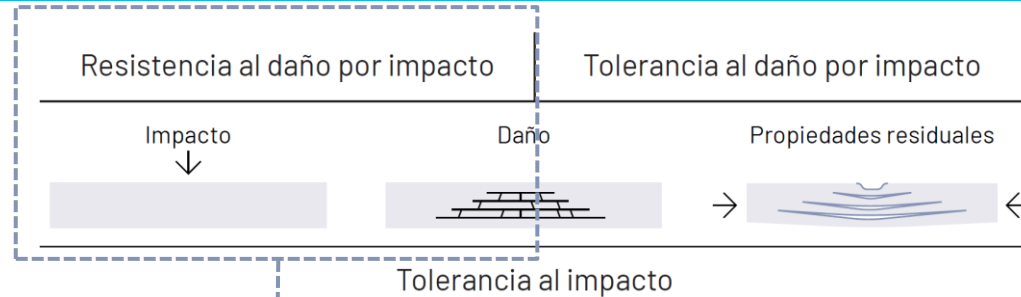


C. Bouvent et al., Damage and fracture in Comp. Mat., 2016

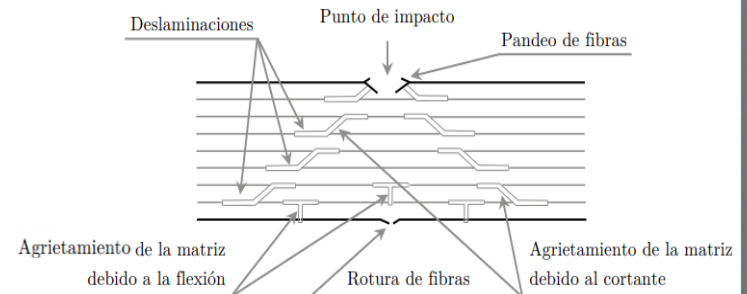
2. FABRICACIÓN ADITIVA DE MATERIALES COMPUESTOS CON FIBRAS



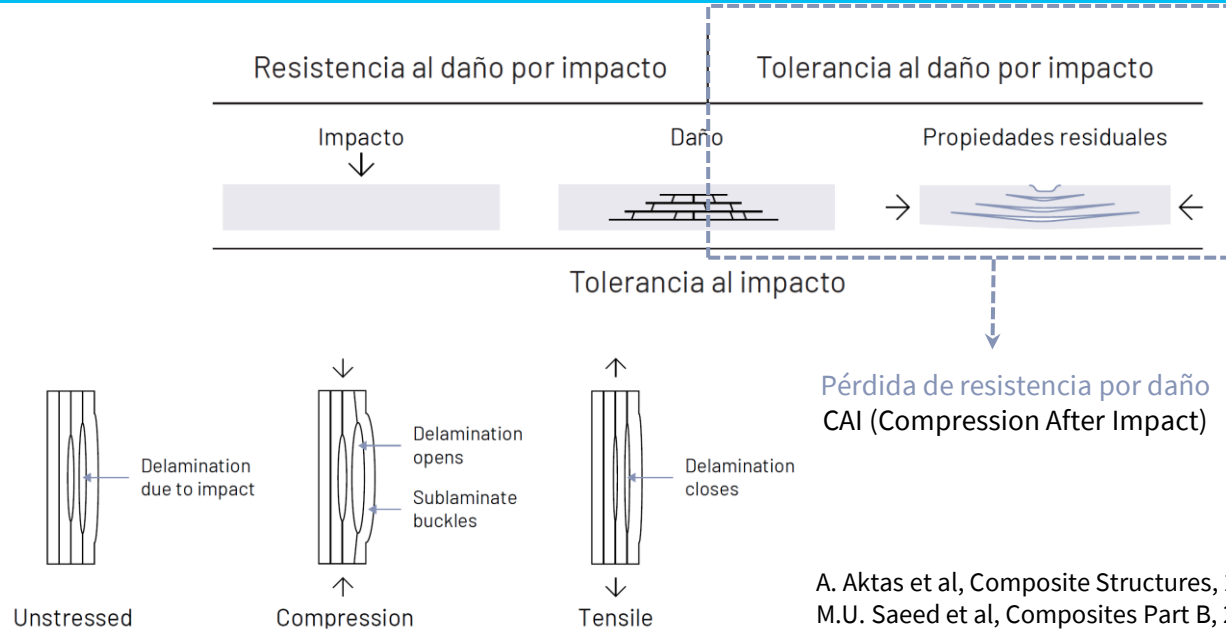
2. FABRICACIÓN ADITIVA DE MATERIALES COMPUESTOS CON FIBRAS



Respuesta del material y daño inducido
Ultrasonidos (Phased Array), SEM



2. FABRICACIÓN ADITIVA DE MATERIALES COMPUESTOS CON FIBRAS



A. Aktas et al, Composite Structures, 2013
M.U. Saeed et al, Composites Part B, 2014

2. FABRICACIÓN ADITIVA DE MATERIALES COMPUESTOS CON FIBRAS

Propiedades mecánicas de materiales compuestos obtenidos mediante fabricación aditiva

1. Tracción y flexión
2. ILSS
3. Resistencia al impacto

Materiales

Matriz: Nailon
Fibra: carbono, Kevlar, vidrio

Parámetros

Altura de capa: 0.1, 0.125, 0.2 mm
Orientación: planta, perfil
Cantidad de refuerzo

2. FABRICACIÓN ADITIVA DE MATERIALES COMPUESTOS CON FIBRAS

¿Filamentos utilizados?



Matriz:

nylon
Ø 1,75 mm
273 °C



Refuerzo:

Carbono
Ø 0,35 mm
232 °C



Vidrio
Ø 0,30 mm
232 °C

Kevlar
Ø 0,30 mm
232 °C

Haz de fibra: 34,5% de refuerzo

Fabricación



Modelo sólido (.stl)



Configuración de la impresión

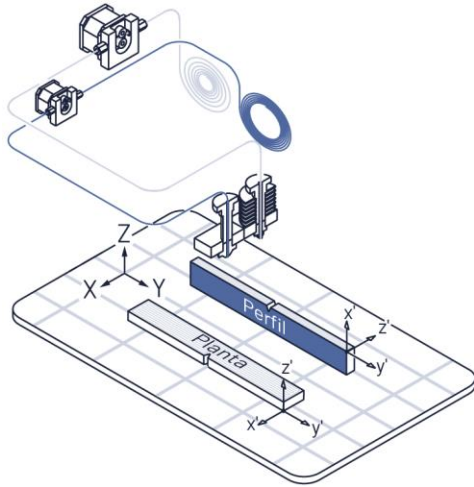


Impresión

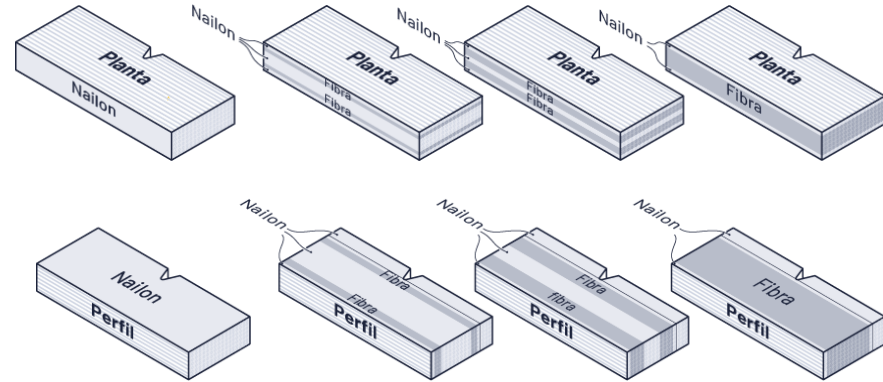
2. FABRICACIÓN ADITIVA DE MATERIALES COMPUESTOS CON FIBRAS

Properties	Nylon	Carbon	Glass	Kevlar®	PLA	ABS
Tensile Strength (MPa)	31	700	590	610	15.5–72.2	36–71.6
Tensile Modulus (MPa)	940	54000	21000	27000	2020–3550	99.8–2413
Elongation at Break (%)	54	1.5	3.8	2.7	0.5–9.2	3–20
Flexural Strength (MPa)	32	470	210	190	52–115.1	48–110
Flexural Modulus (MPa)	840	51000	22000	26000	2392–4930	1917–2507
Izod Impact notched (J/m)	1015	958	2603	1873	27–192	47–174

2. FABRICACIÓN ADITIVA DE MATERIALES COMPUESTOS CON FIBRAS



Orientación de impresión



Tipo A

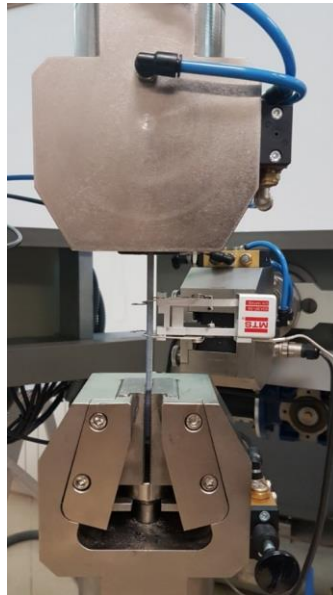
Tipo B

Tipo C

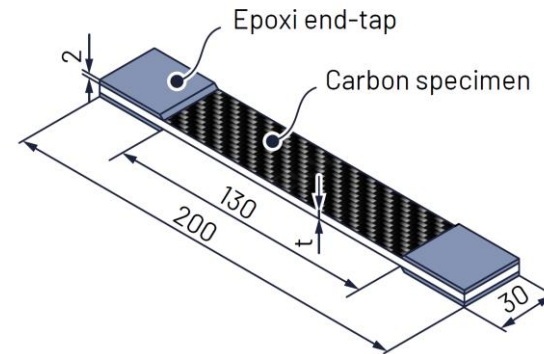
Volumen de refuerzo

2. FABRICACIÓN ADITIVA DE MATERIALES COMPUESTOS CON FIBRAS

Ensayo de tracción

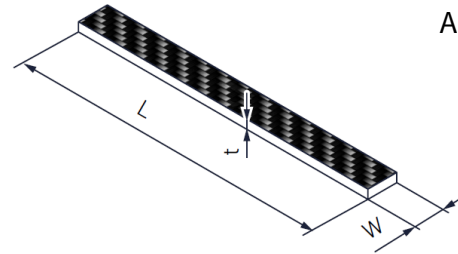
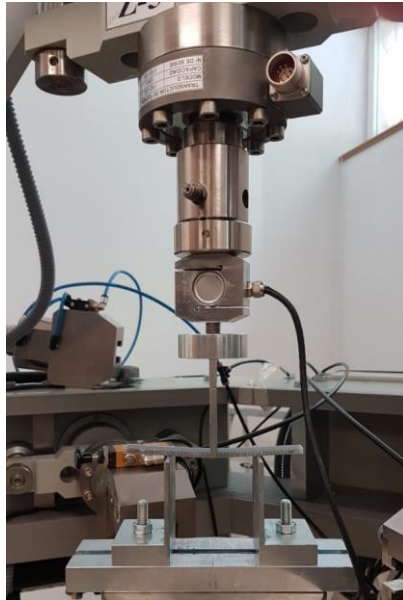


ASTM D3039

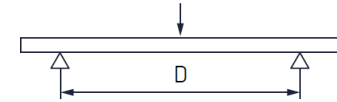


2. FABRICACIÓN ADITIVA DE MATERIALES COMPUESTOS CON FIBRAS

Ensayo de flexión de tres puntos



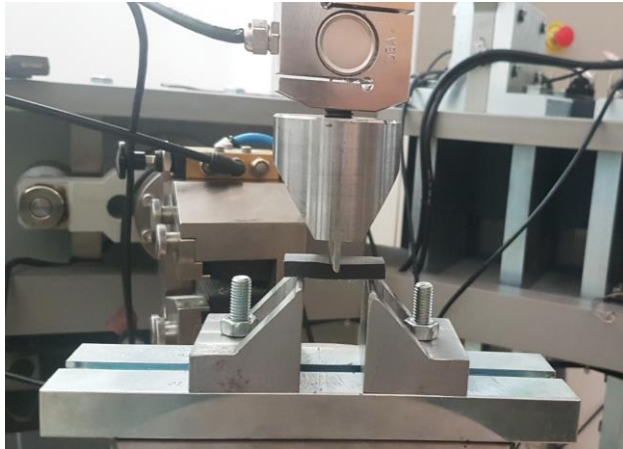
ASTM D7264



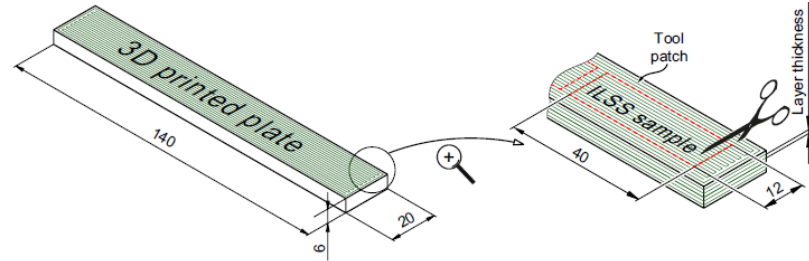
Parameter	Value
Length (L)	127 mm
Width (W)	12.7 mm
Thickness (t)	4 mm
Number of wall layers (n_{wall})	4
Number of roof/floor layers ($n_{\text{roof/floor}}$)	4
Width of wall layer (W_{wall})	0.4 mm

2. FABRICACIÓN ADITIVA DE MATERIALES COMPUESTOS CON FIBRAS

Ensayo ILSS



ISO 14130



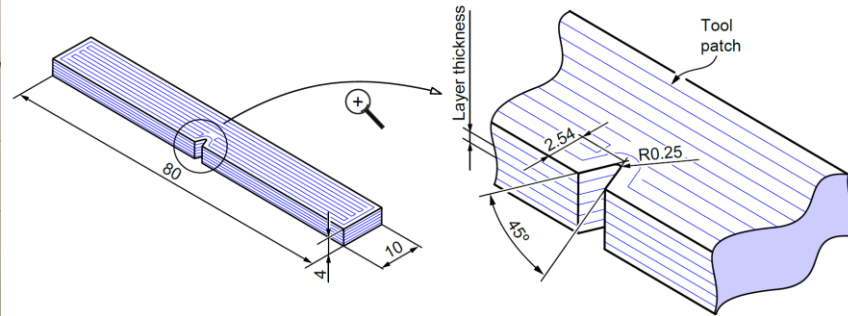
2. FABRICACIÓN ADITIVA DE MATERIALES COMPUESTOS CON FIBRAS

Ensayo de impacto

Péndulo Charpy 10 J



ASTM D6110

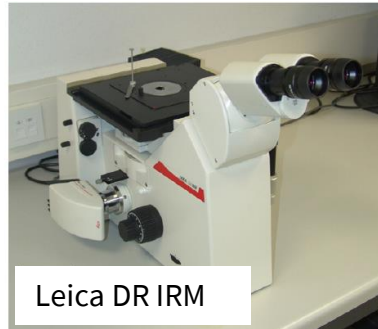


2. FABRICACIÓN ADITIVA DE MATERIALES COMPUESTOS CON FIBRAS

Análisis de fallo y fractografía



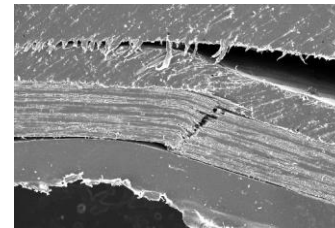
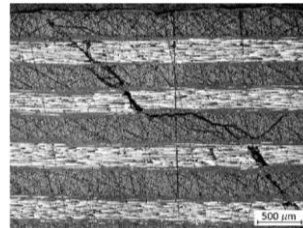
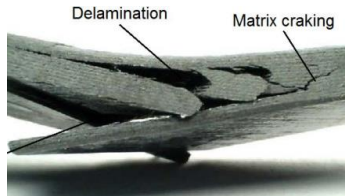
Lupa Veho



Leica DR IRM



SEM



3.

LAMINADOS UNIDIRECCIONALES



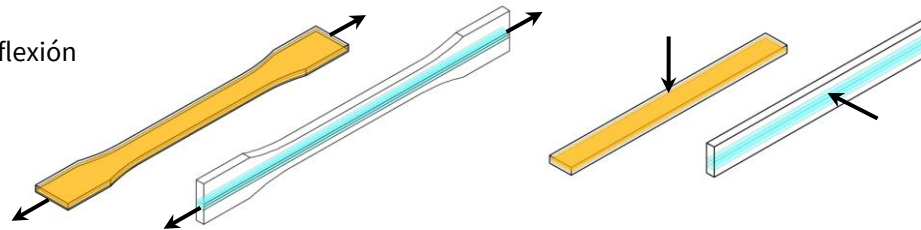
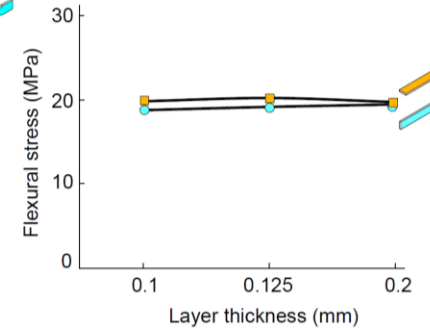
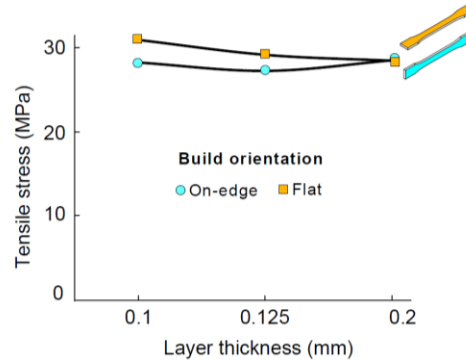
Universidad de
Castilla-La Mancha



3. LAMINADOS UNIDIRECCIONALES

3.1. Tracción y flexión: **SIN REFUERZO**

- Baja influencia orientación y LH
Menor LH: mayor coste
- En Planta > En Perfil
- Resistencia a tracción > resistencia a flexión
- Comportamiento dúctil



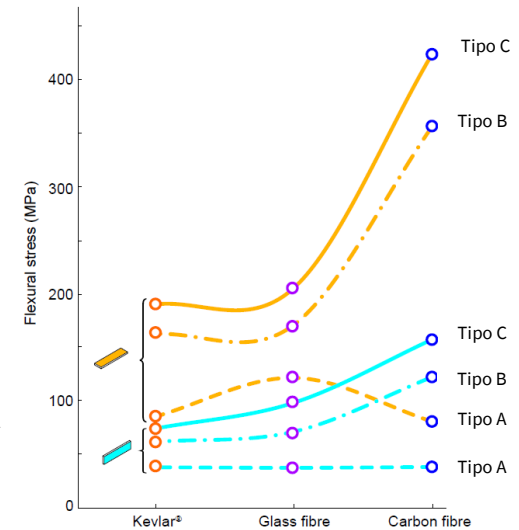
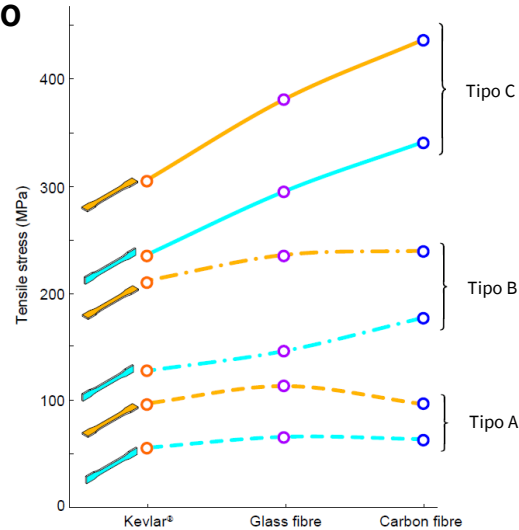
3. LAMINADOS UNIDIRECCIONALES

3.1. Tracción y flexión: **CON REFUERZO**

- Ausencia de presión: mayor porosidad
- Significativa influencia del tipo de fibra:
CF mayor resistencia, pero caros
Flexión Tipo C notable mejora
- Aumento de resistencia al reforzar

	CF	Kevlar	Vidrio
Tracción	1313 %	887 %	1133 %
Flexión	1888 %	791 %	863 %

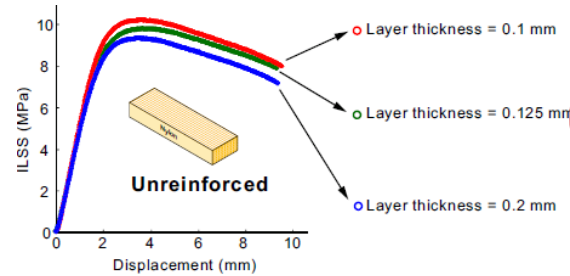
- En planta > En perfil



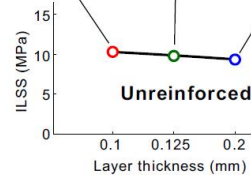
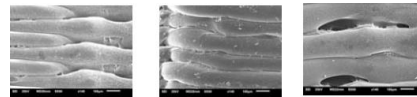
3. LAMINADOS UNIDIRECCIONALES

3.2. ILSS: SIN REFUERZO

- No hay diferencias significativas
- Mayor porosidad al incrementar LH



Comportamiento dúctil
(deformación plástica)

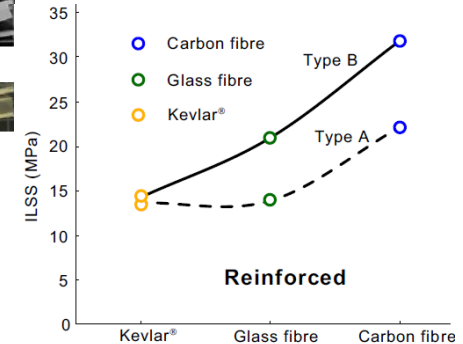
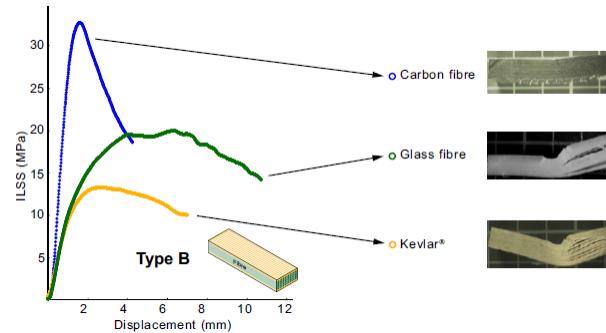
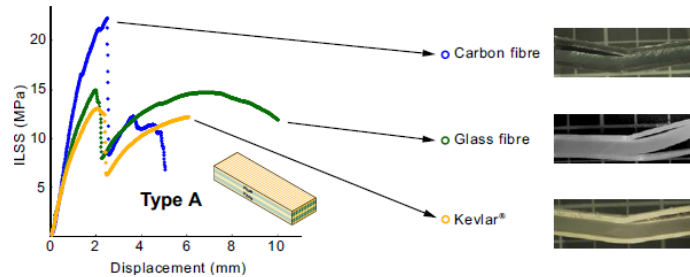


↑ Altura de capa ↓ adherencia

3. LAMINADOS UNIDIRECCIONALES

3.2. ILSS: **CON REFUERZO**

- ILSS aumenta al añadir refuerzo
- El incremento ILSS no es proporcional a la fibra añadida (porosidad)
- CF presenta comportamiento frágil
- Kevlar da lugar a más delaminaciones

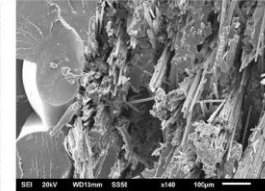
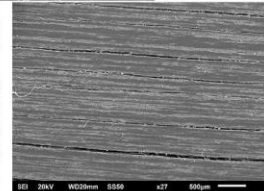
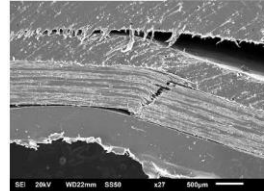


3. LAMINADOS UNIDIRECCIONALES

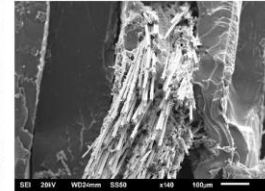
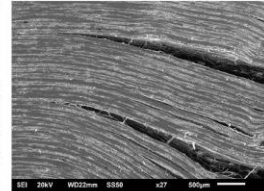
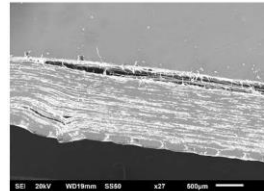
3.2. ILSS: **CON REFUERZO**

- ILSS aumenta al añadir refuerzo
- El incremento ILSS no es proporcional a la fibra añadida (porosidad)
- CF presenta comportamiento frágil
- Kevlar da lugar a más delaminaciones

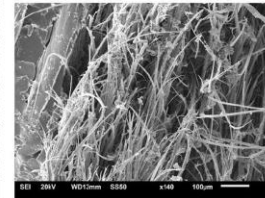
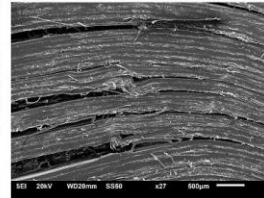
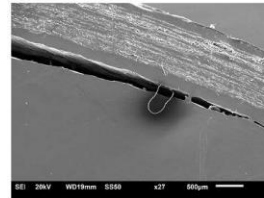
CF



Vidrio



Kevlar



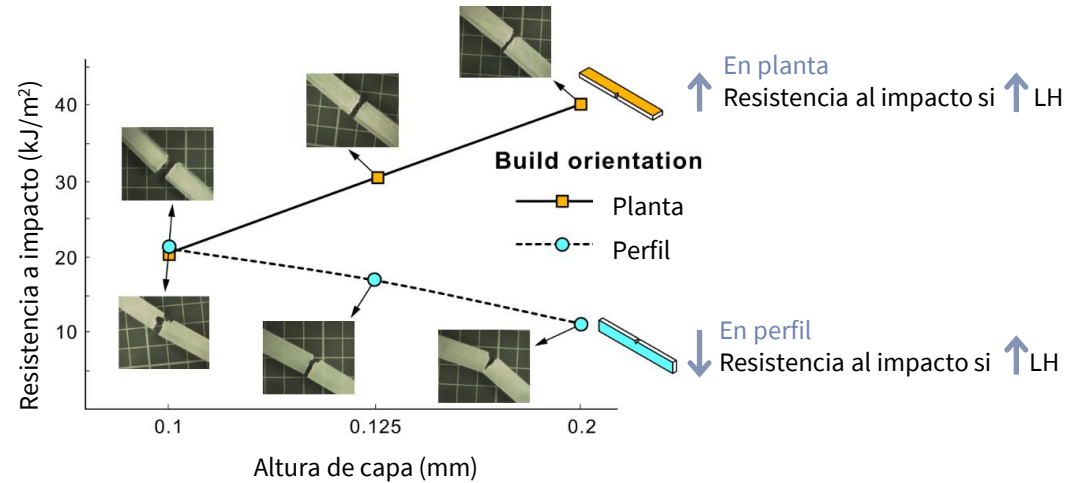
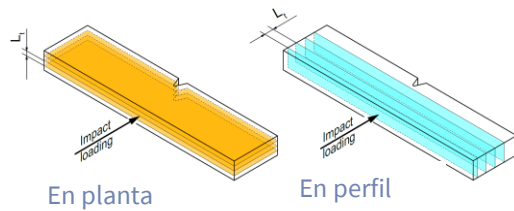
Tipo A

Tipo B

Fractura

3. LAMINADOS UNIDIRECCIONALES

3.3. Impacto: **SIN REFUERZO**

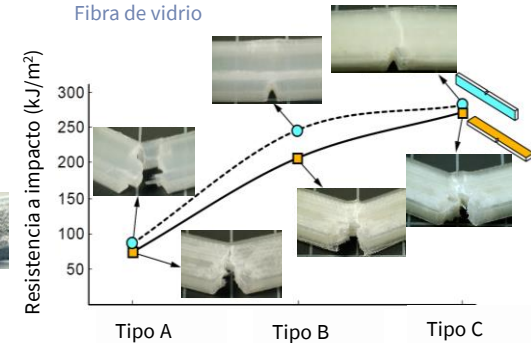
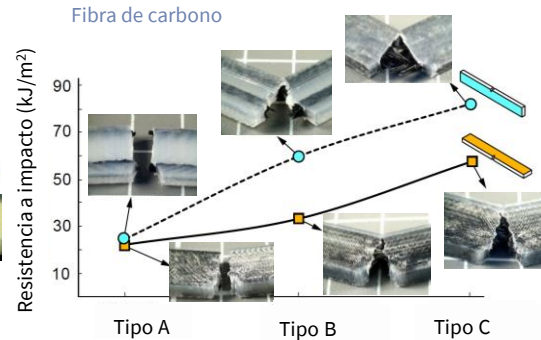
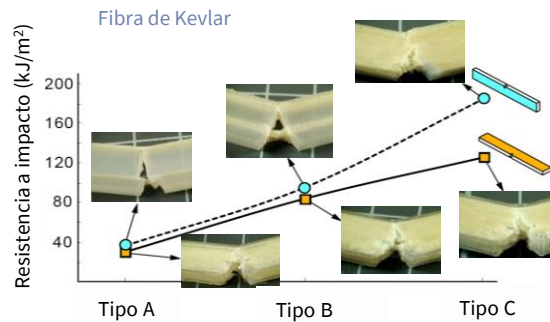


En planta mayor resistencia a impacto que en perfil

3. LAMINADOS UNIDIRECCIONALES

3.3. Impacto: **CON REFUERZO**

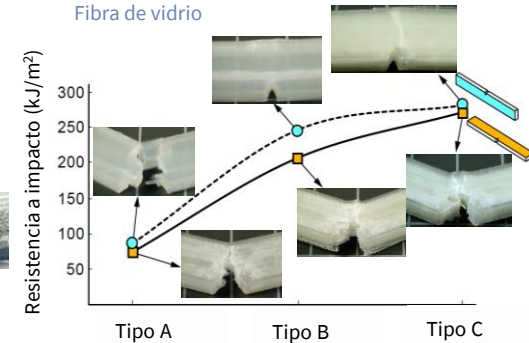
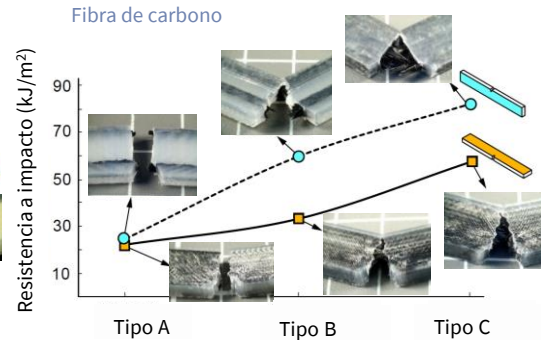
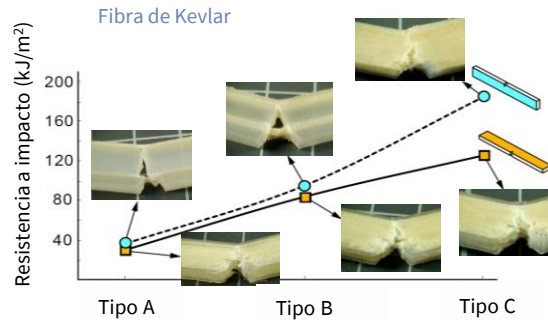
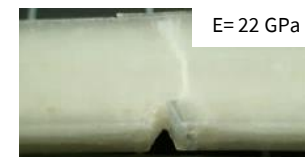
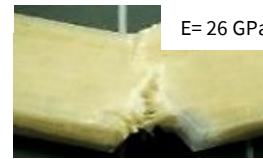
- La resistencia a impacto aumenta al reforzar
- El incremento de resistencia al impacto no es proporcional a la cantidad de fibra (porosidad)
- Fibra de carbono: baja resistencia al impacto



3. LAMINADOS UNIDIRECCIONALES

3.3. Impacto: **CON REFUERZO**

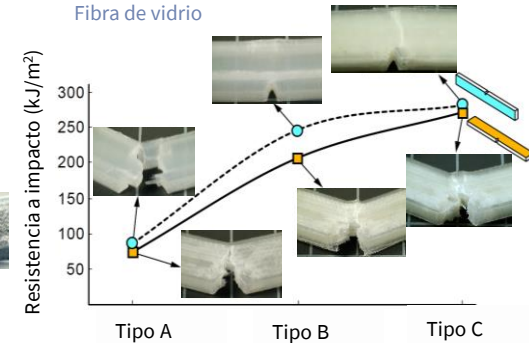
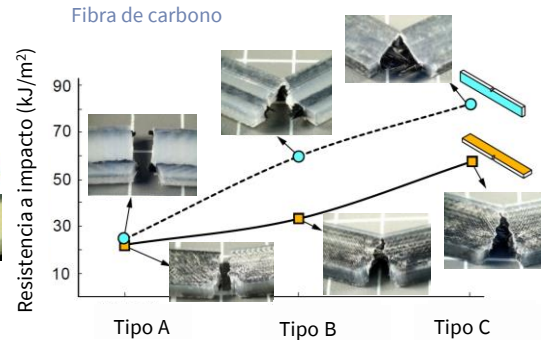
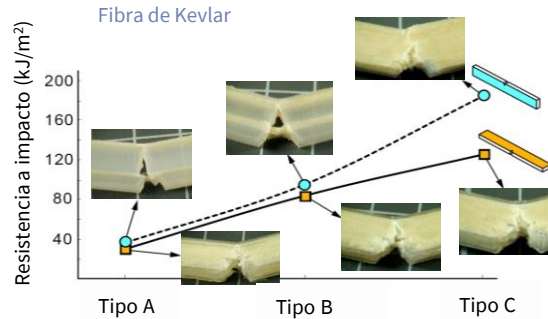
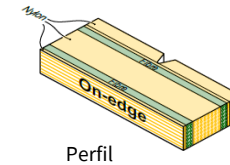
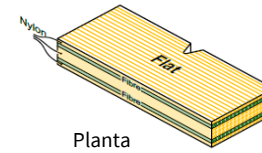
- Fibra de carbono: baja resistencia al impacto



3. LAMINADOS UNIDIRECCIONALES

3.3. Impacto: **CON REFUERZO**

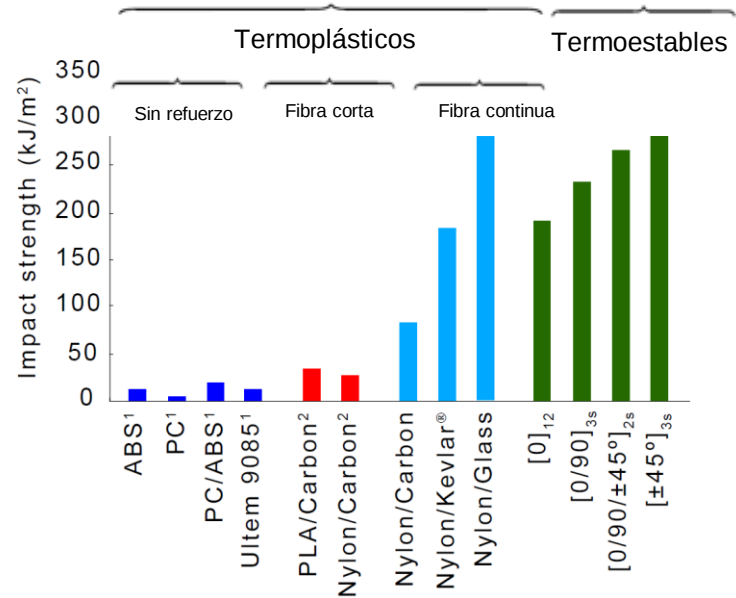
- De perfil: mejor resistencia al impacto (resistencia de cada capa)



3. LAMINADOS UNIDIRECCIONALES

3.3. Impacto: **CON REFUERZO**

- 3D **fibra de carbono** menor resistencia a impacto que preimpregnados
- Resistencia a impacto de 3D **Kevlar/vidrio fibras** es comparable con preimpregnados
- Refuerzo con fibra continua aporta la mejor resistencia a impacto



4.

LAMINADOS MULTIDIRECCIONALES



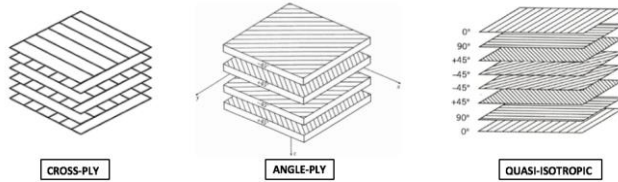
Universidad de
Castilla-La Mancha



4. LAMINADOS MULTIDIRECCIONALES

4.1. Fabricación de las probetas

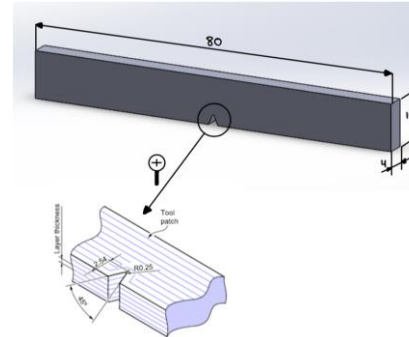
Configuración del laminado:



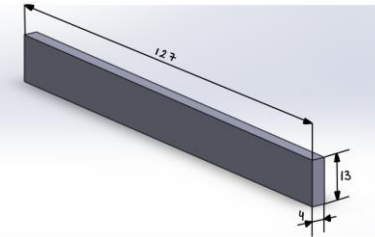
	Secuencia de laminado
1	[0/0/90/90/0/0/90/90/0/0/90/90/0/0/90/90/0/0/90/90/0/0]
2	[45/45/-45/-45/45/45/-45/-45/45/45/-45/-45/45/45/-45/-45/45/45/-45/-45/45/45]
3	[0/0/90/90/45/45/-45/-45/45/45/-45/-45/45/45/-45/-45/45/45/90/90/0/0]

Probetas de Tipo C, en planta, FC

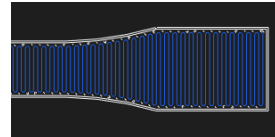
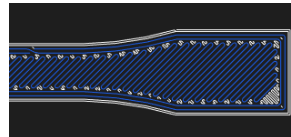
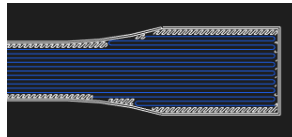
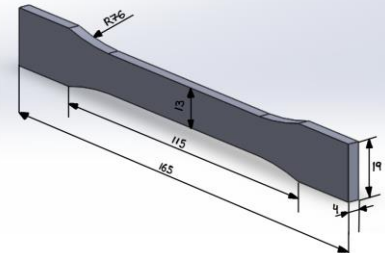
Impacto



Flexión

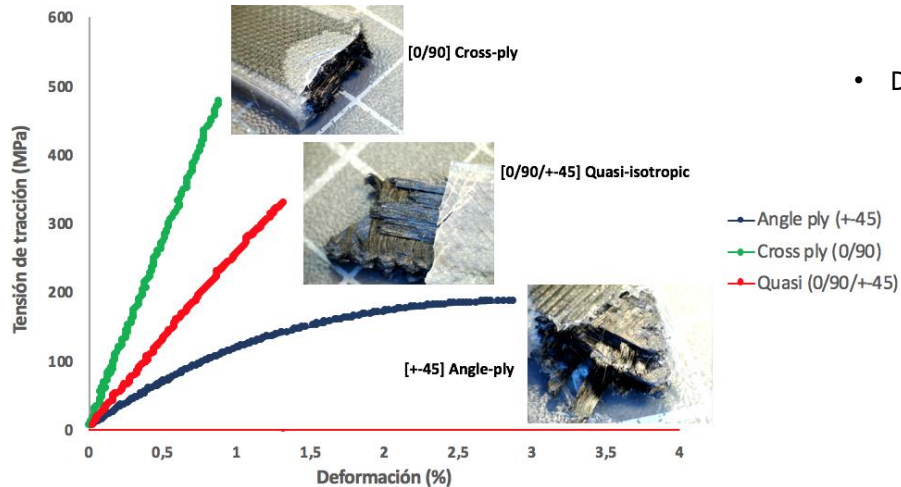


Tracción



4. LAMINADOS MULTIDIRECCIONALES

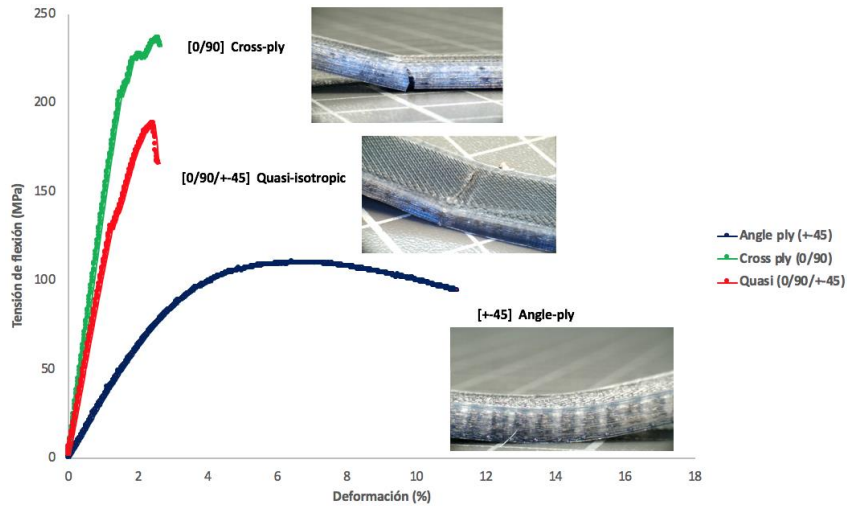
4.2. Tracción



- Resistencia a tracción y módulo de elasticidad
Cross ply > Quasi isotropic > Angle ply
- Deformación
Cross ply < Quasi isotropic < Angle ply

4. LAMINADOS MULTIDIRECCIONALES

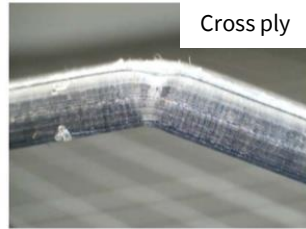
4.3. Flexión



- Resistencia a flexión y módulo de elasticidad
Cross ply > Quasi isotropic > Angle ply
- Deformación
Cross ply < Quasi isotropic < Angle ply

4. LAMINADOS MULTIDIRECCIONALES

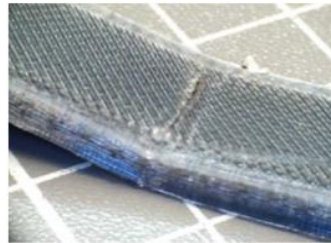
4.3. Flexión



Cross ply



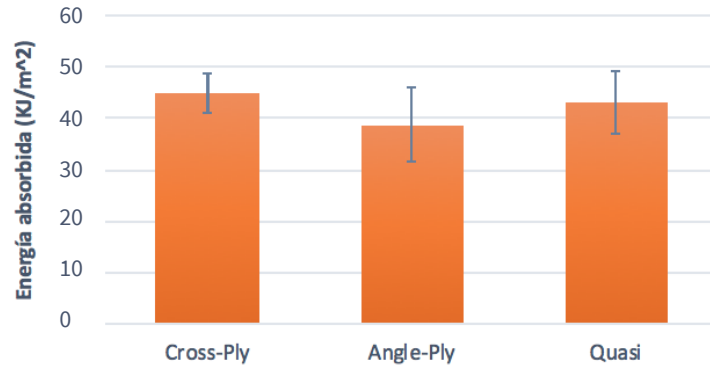
Angle ply



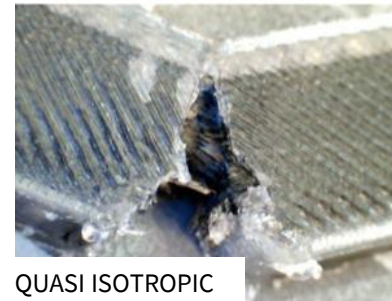
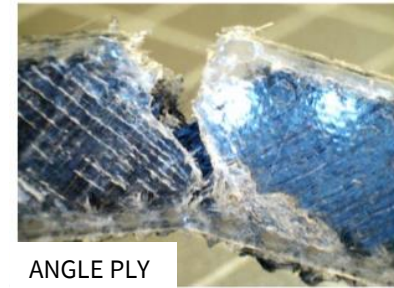
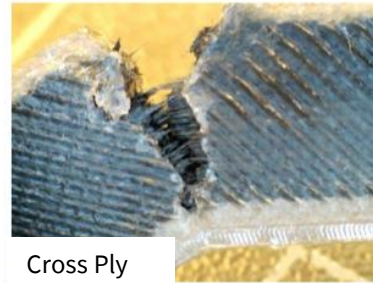
Quasi isotropic

4. LAMINADOS MULTIDIRECCIONALES

4.4. Impacto



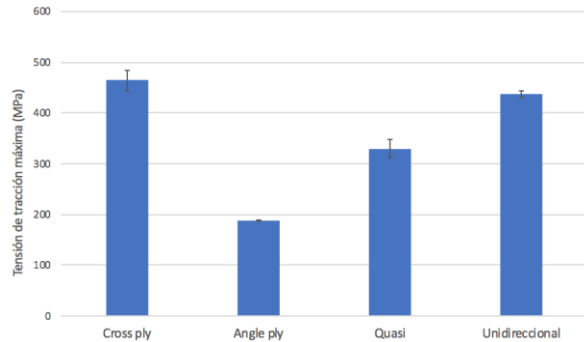
No se observan diferencias significativas



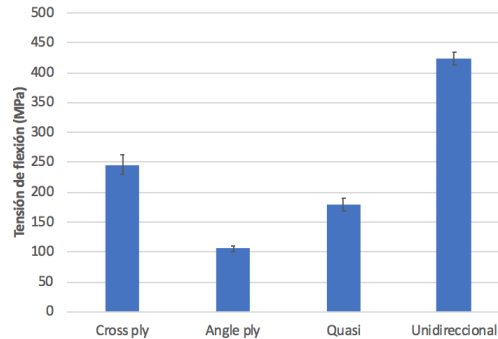
4. LAMINADOS MULTIDIRECCIONALES

4.4. Impacto COMPARACIÓN CON UNIDIRECCIONALES

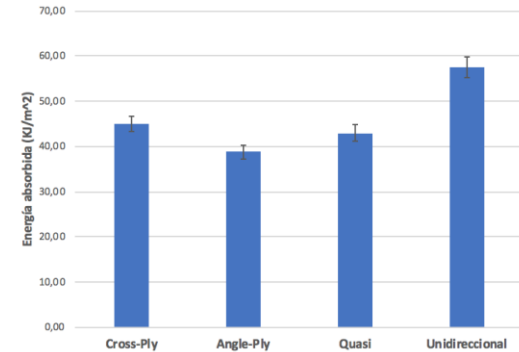
- En general las propiedades resistentes no mejoran con laminados multidireccionales
- El laminado multidireccional mejora al unidireccional en propiedades de tracción
- La configuración Cross Ply es la proporciona mayor resistencia de las multidireccionales



TRACCIÓN



FLEXIÓN



IMPACTO

5.

CONCLUSIONES



Universidad de
Castilla-La Mancha



5. CONCLUSIONES

UNIDIRECCIONALES SIN REFUERZO

- A tracción y flexión: poca influencia de la altura de capa y orientación de impresión
- A impacto: el efecto de la altura de capa es más significativo y depende de la orientación de impresión
- Propiedades resistentes en planta > en perfil

UNIDIRECCIONALES CON REFUERZO

- Doble efecto de la adición de fibras en materiales compuestos obtenidos mediante fabricación aditiva:
 - Incrementan la resistencia
 - Empeoran la adherencia entre capas
- A tracción y flexión: CF > GF > Kevlar
- ILSS: fibra de Kevlar presenta peor adherencia y, en consecuencia, peores propiedades resistentes
- A impacto: CF peor resistencia debido a su extrema fragilidad y rigidez

MULTIDIRECCIONALES

- En general las propiedades resistentes no mejoran con laminados multidireccionales
- 0/90 es la configuración preferible entre las multidireccionales

LÍNEAS FUTURAS

- Reforzar termoplásticos avanzados de uso industrial con mejores propiedades mecánicas, alta resistencia térmica y química: PEEK, PAEK, PEKK, ULTEM. Para ello, se propone la adición de nanopartículas en baja concentración, así como el uso de fibras continuas de refuerzo

**MUCHAS
GRACIAS**

