

Bienvenid@s

WEBINAR



Sigue el Webinar



#WebinarsAEMAC



MORALES DIEZ, UNAI (PhD)

Personal Docente Investigador
Tecnologías Plásticos y Composites
Mondragon Unibertsitatea
umorales@mondragon.edu

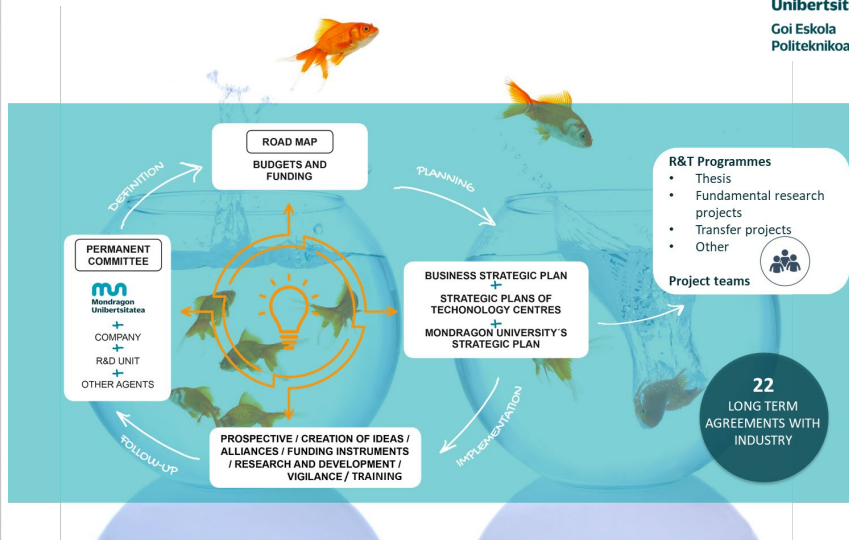


RECHARGE Recycling to Protect
Valorización de Resultados de Investigación
Premio Enpresa Sortuz 2022
info@recharge.eus



From research to knowledge transfer

M
Mondragon
Unibertsitatea
Goi Eskola
Politeknikoa



FINANCIACIÓN
FUENTES
PRIVADAS



PUBLICACIONES
CON PARTNERS
INDUSTRIALES



GRUPOS
INVESTIGACIÓN

18

6º
UNIVERSIDAD
EUROPEA EN
IMPACTO
REGIONAL



7º
UNIVERSIDAD
EUROPEA EN
TRANSFERENCIA
TECNOLÓGICA



1º
UNIVERSIDAD
ESPAÑOLA EN
TRANSFERENCIA
TECNOLÓGICA



U-Multirank

CONTRIBUCIÓN DEL NÚCLEO AUXÉTICO EN LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE ENERGÍA IMPRESIÓN 3D-cFF



- Introducción
- Estado del arte (SoA)
- Objetivos
- Núcleo auxético
- Perfil impreso
- Combinación núcleo y perfil
- Conclusiones y líneas futuras
- Presentación StartUP RECHARGE

1. Introducción

Problemática y retos actuales

1. Introducción



8

Docol® EV Concept SSAB



alpha, fuel cell Pedelec

Alstom's Coradia dual-mode overhead



1. Introducción



9



Published 12/11/2019 | 1 MINUTE READ

Carbon fiber composite rail bogie unveiled

The CAFIBO rail bogie is constructed from recycled and surplus carbon fiber and was developed by ELG Carbon Fibre and partners.



EDITED BY BONNIE MASON
Associate Editor, CompositesWorld

SHARE



READ NEXT

- > Recycled carbon fiber on the rails
- > What to make of the first JEC World in three years
- > Multi-flange RTM frames enable radical rear fuselage design



ARTÍCULO

Los composites de España, en el Mobility Planet de JEC World

HELENA ABRIL LANZUELA

Técnica Operaciones en AEMAC | info@aemac.org

AEMAC organiza el cuarto pabellón nacional en la feria JEC World, que se celebra del 25 al 27 de Abril en Paris Nord Villegeintz, y este año se traslada al Hall 6, estará al lado del Mobility Planet, donde sus asociados exhibirán innovadoras piezas fabricadas en España.



Dos generadores de estructura de caja, aluminio (arriba) e híbrido CFRP/aluminio (abajo) | Camión de T600

[https://www.compositesworld.com/news/recycled-carbon-fiber-composite-rail-bogie-unveiled-](https://www.compositesworld.com/news/recycled-carbon-fiber-composite-rail-bogie-unveiled)
<https://www.globalrailwayreview.com/article/102360/carbon-fibre-bogie-passenger-trains-irr/>

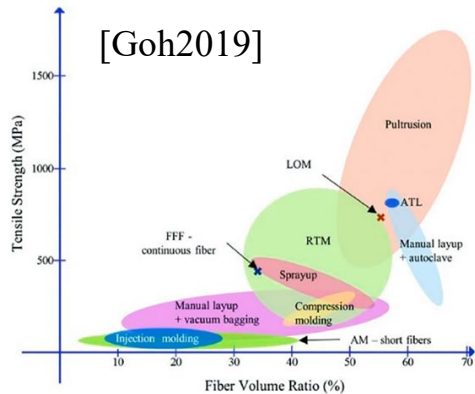
1. Introducción



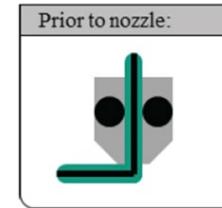
10

Fabricación aditiva

La impresión 3D FFF de composite de fibra continua permite fabricación prototipos funcionales (CFRTP). FFF basada en pre-impregnados (cFF) mayores propiedades mecánicas.



[Mark2015]
[Blok2017]



[Baumann2017]

Baumann F. *et al.* Procedia CIRP, vol. 66, 2017.

Blok LG. *et al.* Addit Manuf 2018;22:176–86.

Goh GD, *et al.* Mater Des 2018;137:79–89.

Mark2015. U.S. Patent No 9,156,205.

1. Introducción

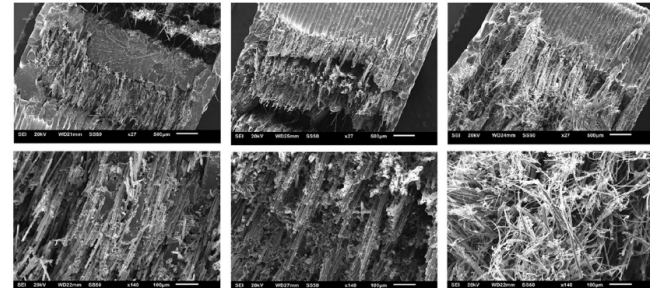
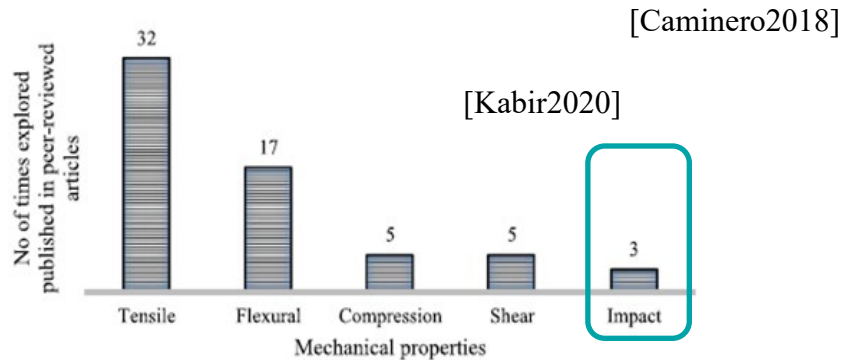


11

Fabricación Aditiva

La caracterización mecánica de los materiales impresos cFF → geometría sencilla o sollicitación estándar.

Sólo unas pocas analizan la capacidad de absorción de energía y la resistencia al impacto.



Caminero MA. *et al.* Compos Part B Eng 2018;148:93–103.

Kabir SMF *et al.* Compos Struct 2020;232.

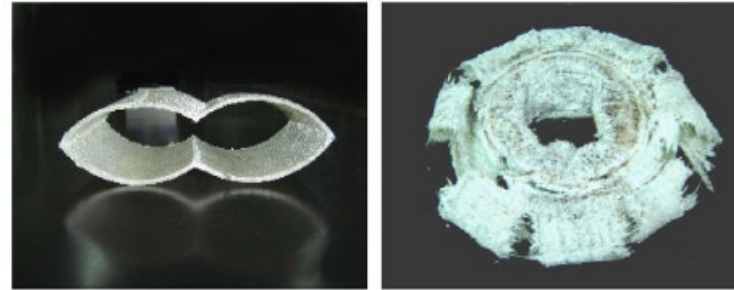
1. Introducción

Estructuras a impacto

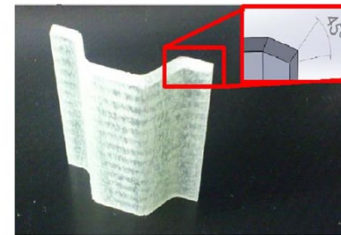
Los perfiles tubulares $\rightarrow$ absorción de energía en impacto AXIAL ($\uparrow$).

Sin embargo, la capacidad frente a impacto RADIAL u OBLICUO ($\downarrow$).

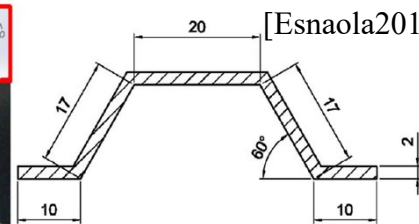
[Abdewi2008]



[Belingardi2013]



[Esnaola2018]



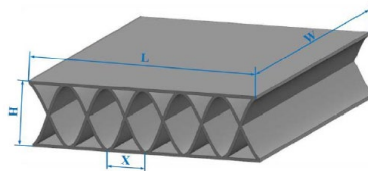
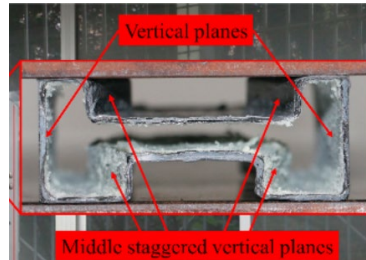
Abdewi EF. *et al.* Thin-Walled Struct 2008;46:320–32.

Belingardi G. *et al.* Compos Struct 2013;102:217–25.

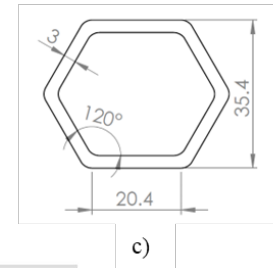
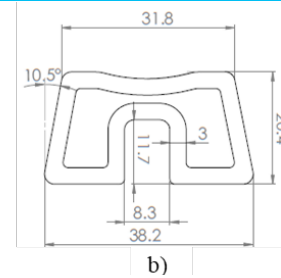
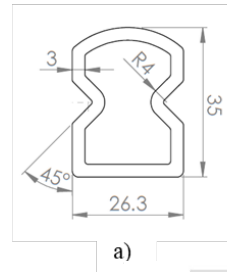
Esnaola A *et al.* Compos Struct 2018;187:316–324.

1. Introducción

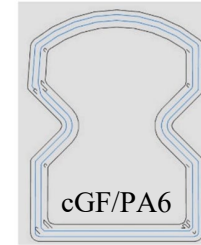
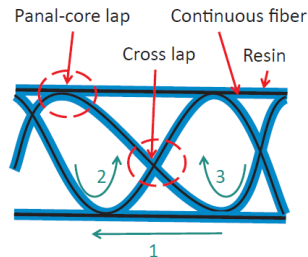
Estructuras a impacto



[Zhao2020]



[HouZ2018]



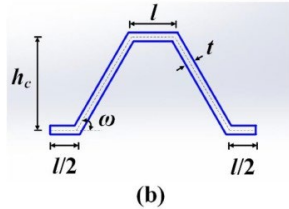
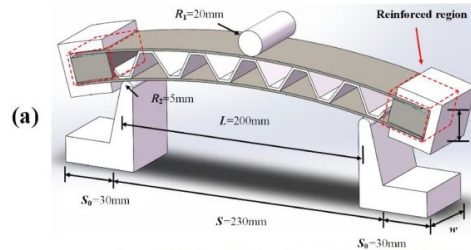
[Morales2021]

Zhao Y. *et al.* Thin-Walled Struct 2020;157.
Hou Z. *et al.* Compos Struct 2018;184:1005–10.
Morales *et al.* Compos Struct 2021;274:114337.

1. Introducción

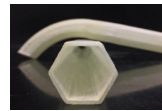
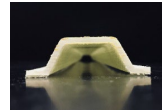
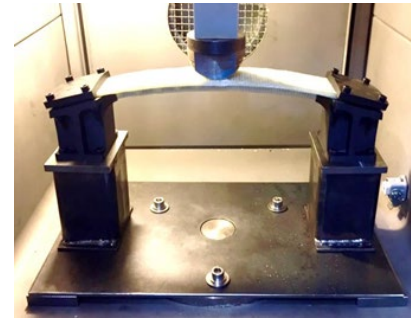
Estructuras a impacto

[Bing2018]



(c)

[Paracom2017]



Robtrusion
CURVED COMPOSITE PROFILES

Bing D. *et al.* Int. J. Mech. Sci. 2018;149:101-111.

Tena I. *et al.* Paracom (Exp. 92/17 (Diputación Foral de Gipuzkoa 2017).

1. Introducción



15

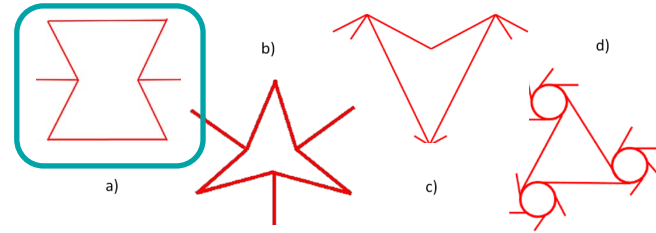
Estructuras celulares

Estructuras con eficiencia ($\uparrow$) en disipación.
Metamateriales $\rightarrow$ candidatos rellenar los
perfiles tubulares.

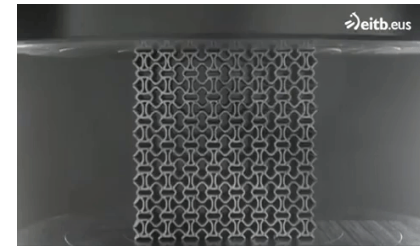
Estructuras Auxéticas $\rightarrow$ densifican en
compresión y mejoran la absorción de energía.

Estructura Reentrante Hexagonal (RH) $\rightarrow$
integrada en paneles sándwich.

Validación bajo carga a impacto está aún pendiente.



[Saxena2016]



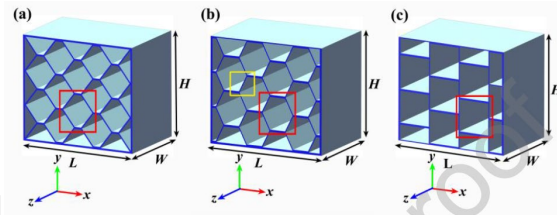
[Teknopolis2018]

1. Introducción

Estructuras celulares

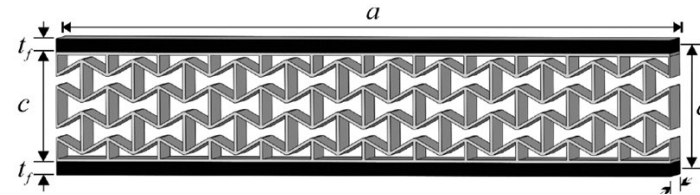
La integración de estructuras auxéticas → mejorar la absorción de energía RADIAL de los perfiles tubulares.

Perfiles rellenos



[Zeng2021]

Vigas sándwich



[LiT2017]

[HouS2018]

Paneles sándwich [Sugiyama2018]



Hou S. *et al.* Mater Des 2018;160:1305–21.

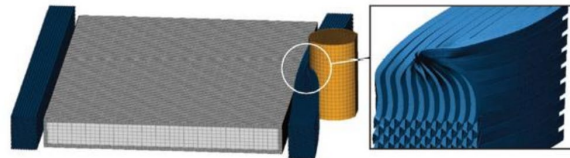
Li T. *et al.* Compos Struct 2017;175:46–57.

Zeng C. *et al.* Addit Manuf 2021;38.

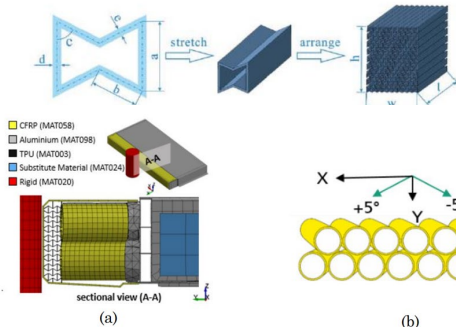
Sugiyama K. *et al.* Compos Part A Appl Sci Manuf 2018;113:114–21.

1. Introducción

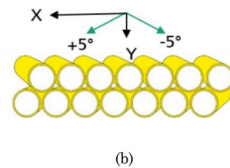
Estructuras a impacto



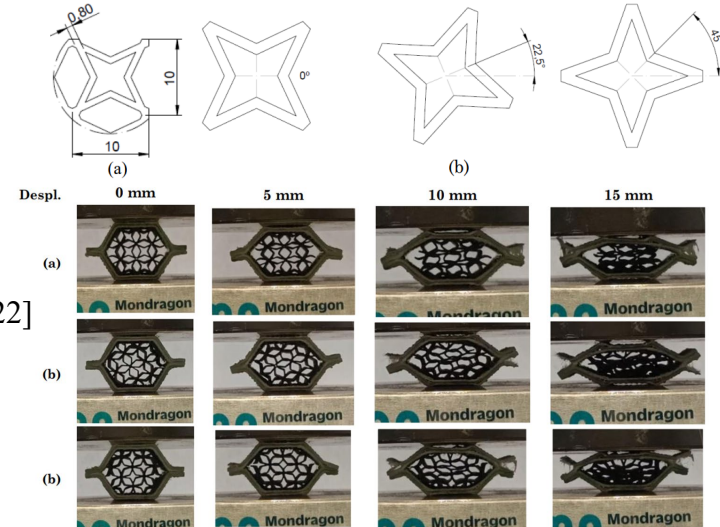
[MaT2021]



[Olazi2022]



[Nossol2022]



Nossol P. *et al.* Technol. Light. Struct. 2022; 5: 15–23.

Ma T. *et al.* Proc. Inst. Mech. Eng. Part C J. Mech. Eng. Sci. 2021;235: 4214–4230.

Olaziregi U. *et al.* Hibridación de procesos de fabricación convencionales de composites con impresión 3D, 2022; MGEP.

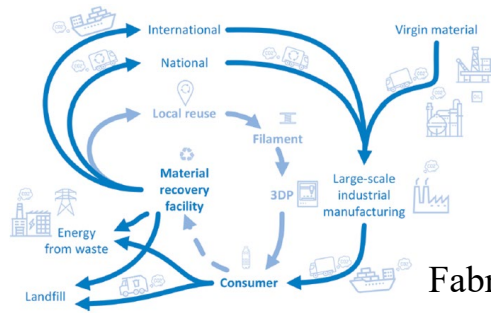
1. Introducción



18

Economía Circular e Impresión 3D

Reciclado del plástico [Garmulewicz2018]



<https://hexr.com>.

<https://www.3dhubs.com>.

Garmulewicz A. *et al.* Calif Manage Rev 2018;60.

Alarga la vida útil mediante personalización

Revalorización local de residuos plásticos para impresión FFF.

Fabricación digital y distribuida

Optimización de la cadena de suministro.

[3DHUBS]



2. Objetivos

2. Objetivos



20

Análisis crítico SoA

No se ha encontrado ningún estudio relativo a la fabricación, caracterización y validación a impacto de **perfiles rellenos con núcleos auxéticos e impresos** mediante tecnología **cFF**.

Tampoco se han encontrado estudios dedicados al **análisis del efecto mejorado de la combinación** entre **núcleos auxéticos impresos** y **perfiles reforzados** con fibras continuas orientadas **radialmente**.

2. Objetivos



21

Analizar la **mejora** del comportamiento ante el **impacto radial** de perfiles de poliamida reforzados con fibras continuas de vidrio fabricados por **impresión 3D**.

3. Desarrollo

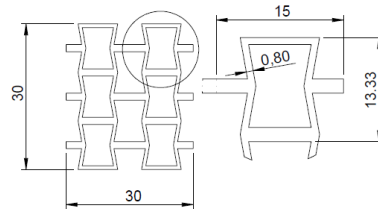
3. Desarrollo



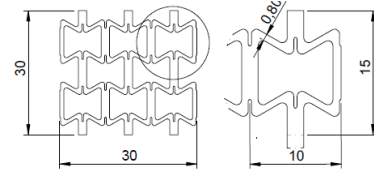
23

Núcleo Auxético

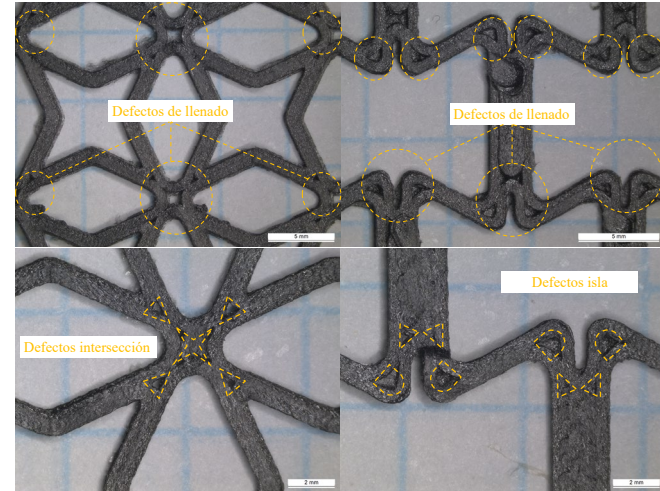
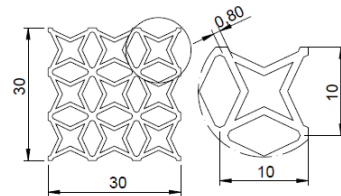
RH (R. Convencional)
[Quan2020]



ASH (R. Modificado)
[WangH2019]



RSH (R. tipo Estrella)
[Ingrole2017]



Ingrole A. *et al.* Mater Des 2017;117.
Quan C. *et al.* Compos Part B Eng 2020; 187.
Wang H. *et al.* Compos Struct 2019;208.

3. Desarrollo



24

Núcleo Auxético

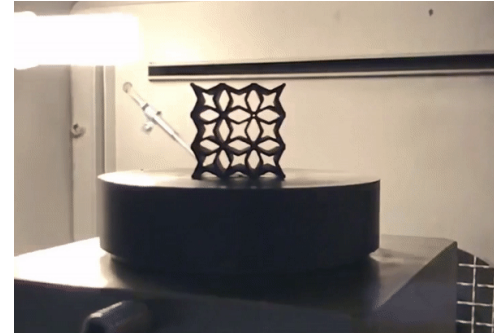
Fractovis plus

Condiciones de ensayo:

- Impacto punta plana.
- Energía (70 J).
- Temp. Amb y 55% RH.

Resultados de impacto en el plano.

Ref.	$P_{\max}$ (kN)	SEA (kJ/kg)	Modo fallo
RSH	6,5 ($\pm 0,6$)	8,5 ($\pm 0,1$)	Estable
ASH	8,9 ($\pm 1,3$)	6,8 ($\pm 0,3$)	Estable
RH	12,8 ($\pm 1,7$)	7,9 ($\pm 0,4$)	Estable



Valores SEA compresión en el plano.

Material	Proceso fabricación	Tipo estructura	SEA (kJ/kg)	Referencia
cKF/PLA	cFF	Reentrante Hexagonal	0,4	[Quan2020]

SEA impacto en el plano (RSH) es un orden de magnitud superior a bibliografía.

3. Desarrollo

Perfil Hueco

Geometría FOLD.

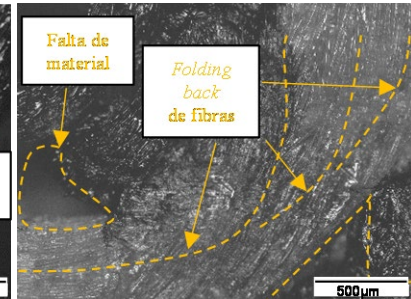
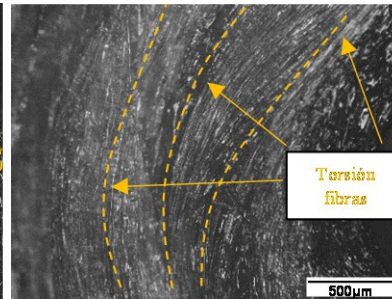
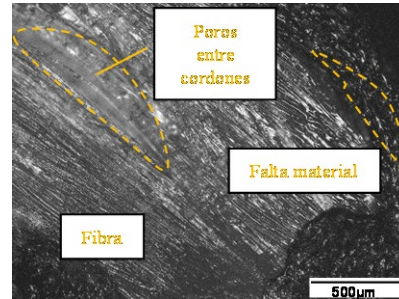
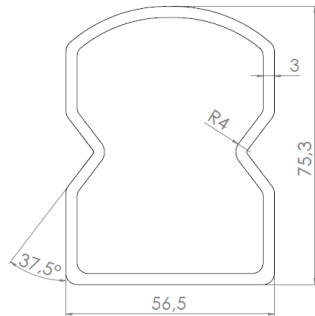
Materiales cGF/PA.

Patrón CONCÉNTRICO.

Capacidad de absorción de energía:

- Dirección **RADIAL**.
- Impacto

[Morales2021]



3. Desarrollo

Perfil hueco

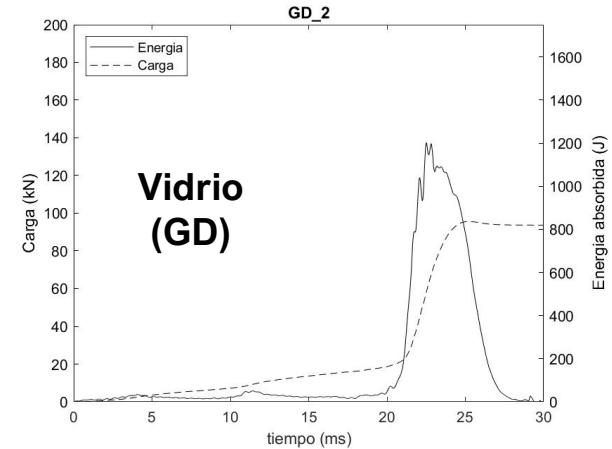
Dynatup 8120

Condiciones de ensayo:

- Impactor punta plana.
- Energía (800 J).
- Temp. Amb y 55% RH.

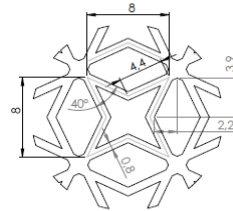
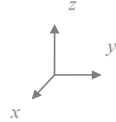
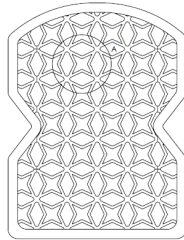
Resultados de impacto radial de perfil huecos.

Ref.	P_{max} (kN)	SEA (kJ/kg)	Modo fallo
GD	14,2 ($\pm 1,0$)	2,5 ($\pm 0,9$)	Estable



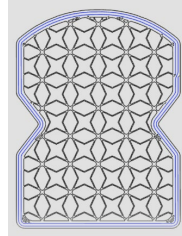
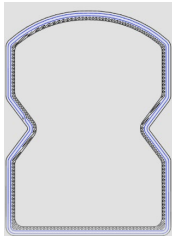
3. Desarrollo

Perfil relleno



DETALLE A

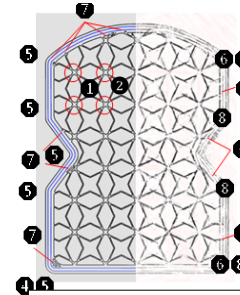
Patrones de impresión



cGF/PA

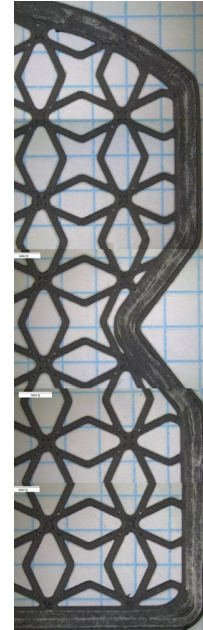
 **Markforged**
[Eiger®]

Microestructural



Defectos de impresión:

- 1 Poros intersección
- 2 Poros isla
- 3 Poros entre cordones
- 4 *Folding back* de fibras
- 5 Torsión de fibras
- 6 Desalineación de fibras
- 7 Zonas ricas en matriz
- 8 Falta de llenado



3. Desarrollo

Perfil relleno

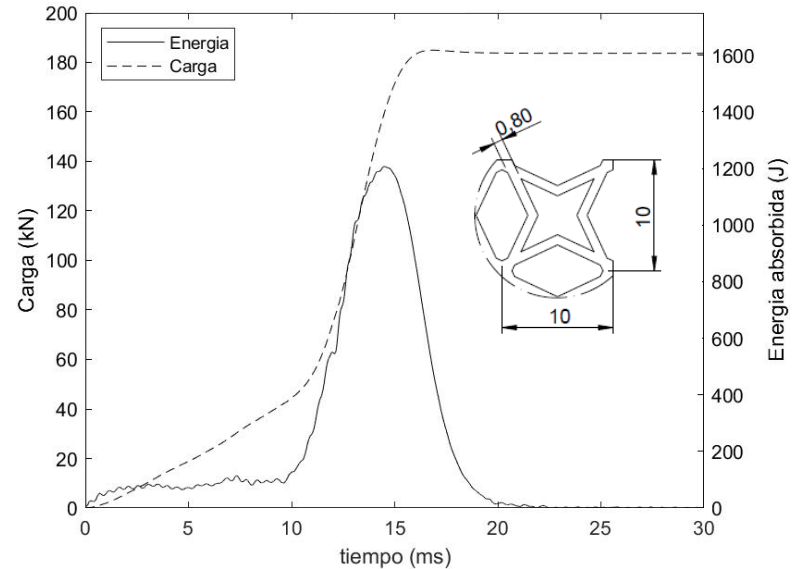
Dynatup 8120

Condiciones de ensayo:

- Impactor punta plana.
- Energía (1600 J).
- Temp. Amb y 55% RH.

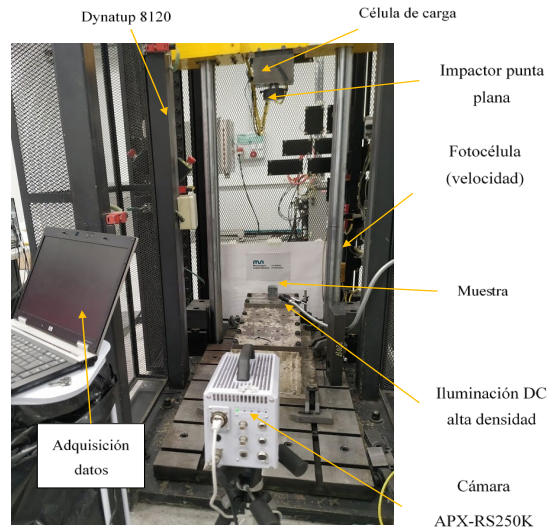
Resultados de impacto radial de perfil rellenos.

Ref.	$P_{\max}$ (kN)	SEA (kJ/kg)	Modo fallo
OSD	127,0 ($\pm 2,2$)	11,8 ($\pm 0,2$)	Estable
ODD	125,2 ($\pm 6,5$)	13,8 ($\pm 0,7$)	Estable
GSD	131,0 ($\pm 1,9$)	15,7 ($\pm 1,1$)	Estable
GDD	136,2 ($\pm 4,6$)	17,7 ($\pm 0,9$)	Estable



3. Desarrollo

Setup de ensayo

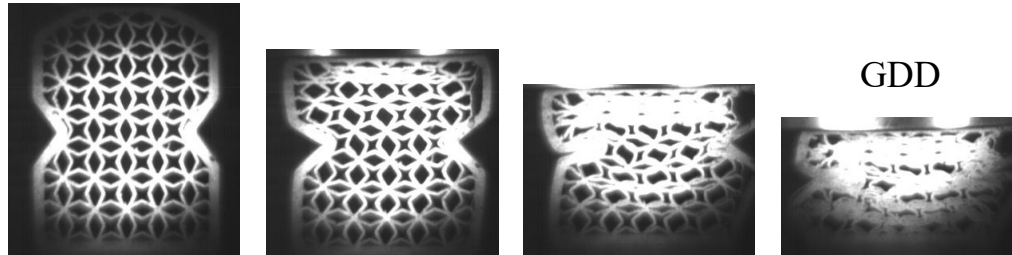


Patrón de colapso deformación del perfil y plegado del núcleo.

La densificación del núcleo y secuencia de generación rótulas.

$SEA \uparrow$ efecto del Poisson negativo del núcleo auxético.

Patrones de colapso



4. Resultados



30

Efecto sinérgico

El modo de colapso combinado entre núcleo y perfil produce un efecto sinérgico y un aumento entre **5-7 veces** la capacidad de disipación de energía de los perfiles huecos.

<i>SEA</i> (kJ/kg)	Perfil Hueco	Núcleo	Relleno
Vidrio	2,5	8,5	17,7

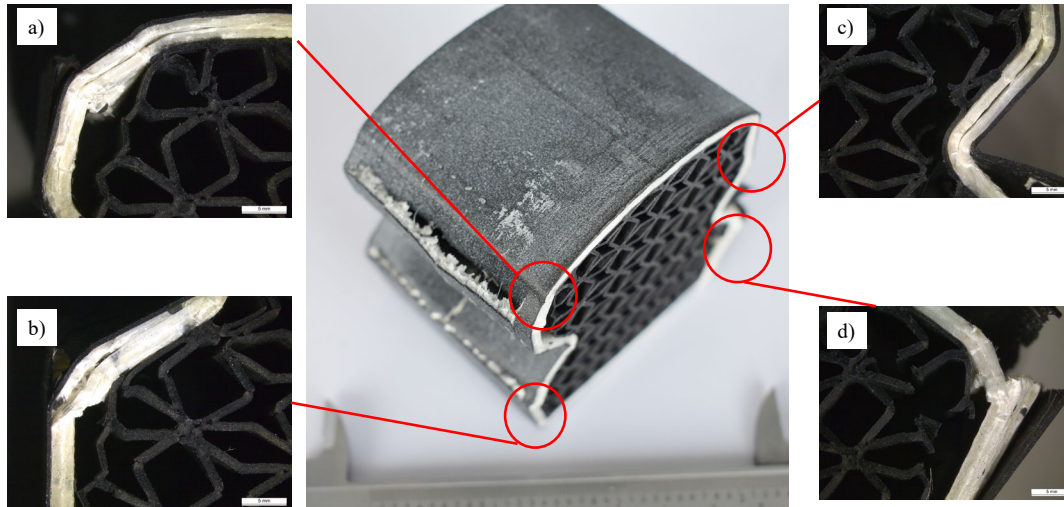
El aumento supone **una mejora del 18%**, en bibliografía.

Valores de *SEA* para crush radial.

Perfil				Núcleo			
Material	Arquitectura refuerzo		Proceso fabricación	Material	Tipo	<i>SEA</i> (kJ/kg)	Reference
KF/Epoxy	Woven Fabric	0/90°	Filament winding	CF/Epoxy	Octogonal	3	[Mahdi2014]
KF/Epoxy	Woven Fabric	0/90°	Filament winding	CF/Epoxy	Hexagonal	2.1	[Mahdi2014]
cCF/PLA	Filamento	0°	cCF-3D Printing	cCF/PLA	Hexagonal	15	[Zeng2021]

4. Resultados

Micromecanismo de fractura perfil relleno



Perfil GDD, **delaminaciones** sólo entre **cordones** y **fracturas** de fibras.

5. Conclusiones



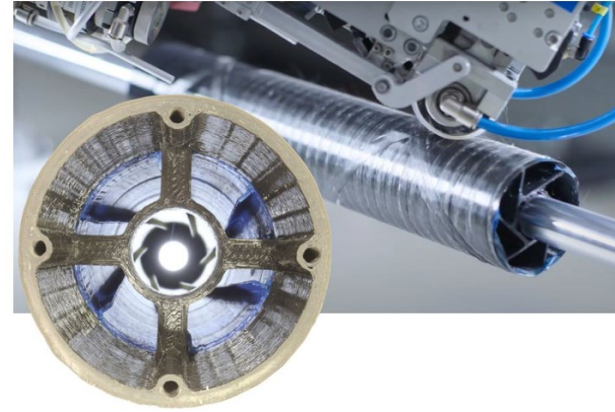
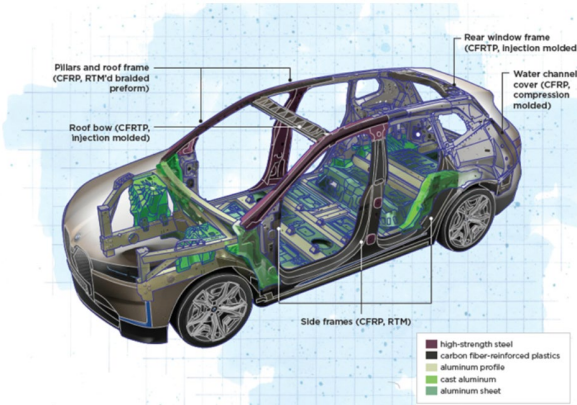
32

- Los defectos de impresión se comportan como iniciadores del colapso estable.
- Las propiedades a impacto de la **estructura celular RSH (SEA 8,5 kJ/kg)** son un orden de magnitud superiores encontradas en bibliografía
- La **densificación del núcleo** auxético contribuye en las propiedades a impacto de perfiles rellenos y sus **valores de SEA son entre 5-7 veces superior con respecto de los perfiles huecos**, produciendo **un efecto sinérgico**.
- El valor de SEA radial más alto alcanzado en el presente trabajo (17,7 kJ/kg) para GDD **supone una mejora de SEA 18% con respecto del estado del arte**.

5. Conclusiones

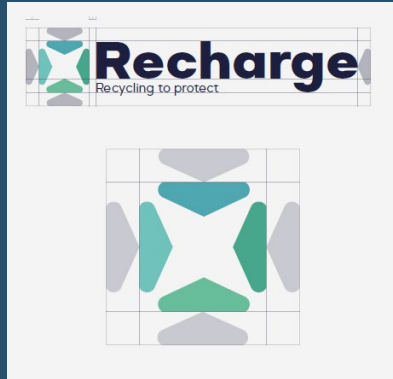


El **perfil GDD** (17,7 kJ/kg) mediante impresión 3D, estrategia industrialización → **refuerzo local** integrado en componentes por tecnologías convencionales.



El **perfil ODD** (13,8 kJ/kg) fabricación mediante **extrusión de plástico**.

Próximamente

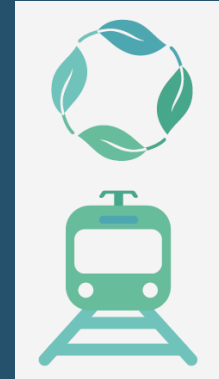


RECHARGE Recycling to Protect

www.recharge.eus

info@recharge.eus

Mondragon Goi Eskola Politeknikoa



6. Business



35

Protecciones frente a impacto para FFCC



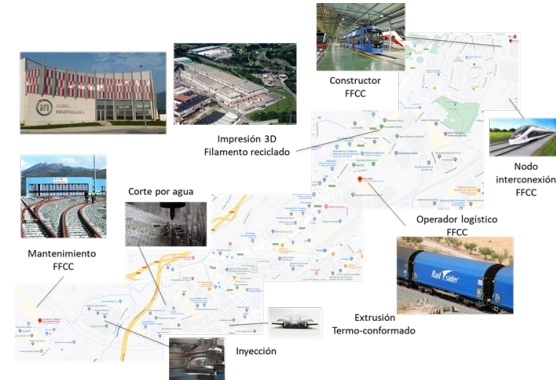
Modelo de negocio basado en:

- Producto (modular) de alto valor añadido (Protec).
- Economía Circular (Reciclado del plástico).
- Hibridación de procesos (Sobreimpresión 3D).

Propuesta de valor

Maximizar el ciclo de vida de los ejes, reducir coste de mantenimiento y proporcionar una ventaja competitiva.

Impulsar el empleo de flujos de material secundario de origen local y sostenible.



6. Business

Inventario IP

Material prima

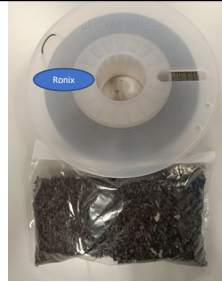
(Ronix)

Núcleo

(bio-inspirados)

Estructuras

(auxéticas)

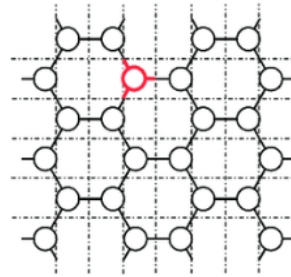


Aplicaciones posibles

Sectores: Transporte (auto, aero, naval y FFCC), equipos de protección individual, material técnico deportivo, etc.

Ventajas competitivas

- Propiedades (resistencia a impacto) programables en función de la densidad del núcleo de la estructura. Funcionalidad adicional para refrigeración de baterías.

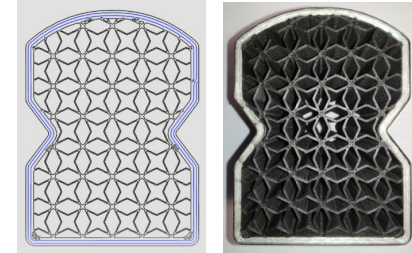


Aplicaciones posibles

Sectores: Transporte (auto, aero, naval y FFCC), equipos de protección individual, material técnico deportivo, etc.

Ventajas competitivas

- Propiedades (rigidez y resistencia a impacto) programables en función de la densidad del núcleo de la estructura. Estructuras gradiente funcional (núcleos no homogéneos)



Aplicaciones posibles

Sectores: Transporte (auto, aero, naval y FFCC), equipos de protección individual, material técnico deportivo, etc.

Ventajas competitivas

- Propiedades (resistencia a impacto) programables en función de la densidad del núcleo de la estructura. Funcionalidad adicional para refrigeración de baterías.

6. Business



37

Equipamiento

- Servicios de reciclado.
- Trazabilidad de los materiales.
- Nuevas formulaciones.

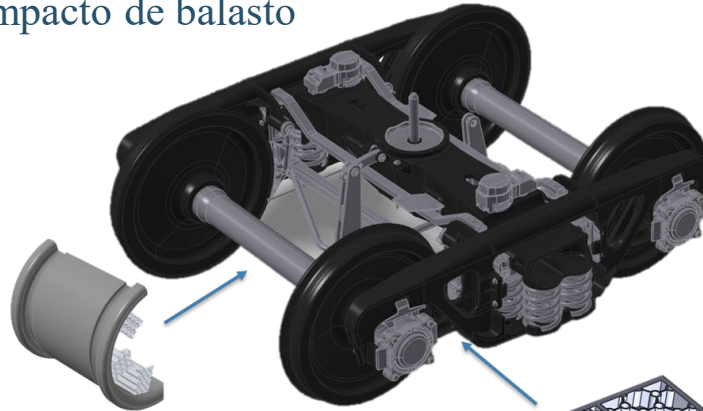
**Equipamiento semi-industrial:
3dEVO**



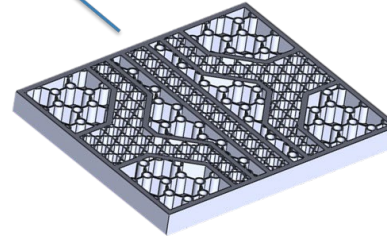
6. Business

Caso de aplicación: Impacto de balasto

Axle Protection



Underframe Protection



Estructuras aligeradas
absorción impacto ⁽¹⁾

6. Business



39

Retos y desarrollos en marcha

- Fuego EN45545-2.
- Durabilidad, fatiga, relajación tensional.
- LCA



Filamento/Pellet reciclado
– homologado (2)

Marca/ Material	Polímero	Certificación			Precio
		UL 94 V-0	FAR 25.853	EN45545	
Formfutura ABSpro Flame Retardant	ABS	✓			\$35 / 500g
Markforged Onyx FR	Carbon-filled Nylon	✓			\$260 / 800 cc
3DXTech Firewire FR PC-ABS	ABS	✓			\$78 / 1kg
3DXTech Firewire ABS-FR	ABS	✓			\$68 / 1kg
BASF Ultrafuse PC/ABS FR	PC/ABS	✓			\$52 / 750g
DSM Novamid AM1030 FR	Nylon	✓			\$212 / 1kg
Clairant PA6/66 GF20	Glass-filled Nylon	✓			\$200 / 1kg
3DXTech Firewire ABS-FR	ABS	✓			\$68 / 1kg
Kimya PC-FR	PC	✓	✓	✓	\$100 / 750g
3DXTech Firewire ABS-FR	ABS	✓			\$68 / 1kg
BASF Ultrafuse PC/ABS FR	PC/ABS	✓			\$52 / 750g
DSM Novamid AM1030 FR	Nylon	✓			\$212 / 1kg

<https://all3dp.com/1/3d-printing-with-flame-retardant-materials/>

6. Business



40

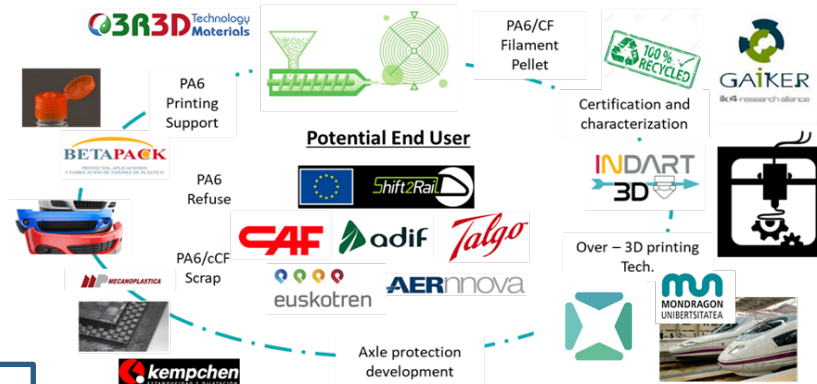
Industrialización

- Combinación de procesos
- Extrusión
- Corte
- Termo-Conformado



Proceso automatizado,
fiable rentable ⁽³⁾

Cadena de valor



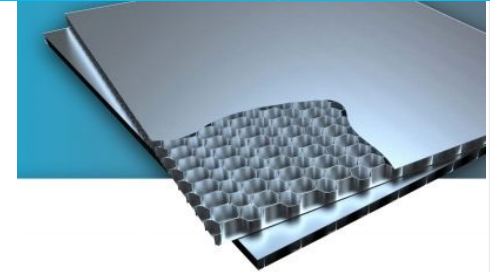
6. Business



41

Actividades de divulgación

1. Degradación de las propiedades a impacto de protectores ferroviarios 3DP debido al proceso de reciclado.
2. Capacidad de absorción de energía de poliamidas pre-homologas frente fuego.



13 - 15 de junio de 2023
Gijón · Asturias

ORGANIZAN



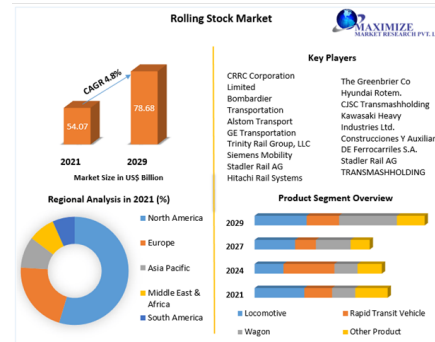
6. Business



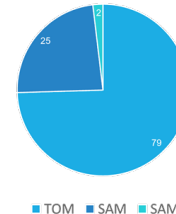
42

Desarrollo de modelo de negocio

El mercado mundial de material rodante se valoró en 54,07 mil millones de dólares en 2021 y se espera que los ingresos totales crezcan alrededor del 4,8% de 2022 a 2029, alcanzando 78,68 mil millones de dólares durante un período de pronóstico [MMR].



Axle protection
Market Niche (2 Mio€)



MMR: Industry Analysis and Forecast (2022-2029)

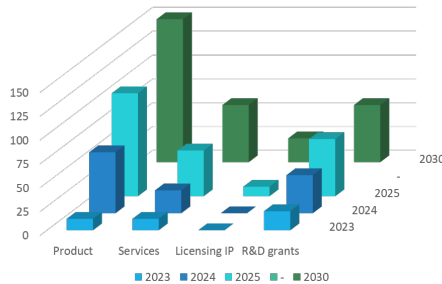
6. Business



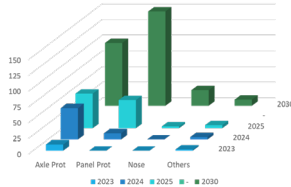
43

Desarrollo de modelo de negocio

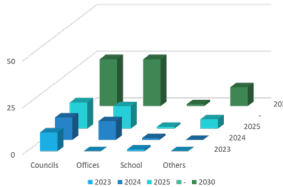
Recharge – Income (k€)



Recharge – Product sales (k€)



Recharge – Service 3R (k€)

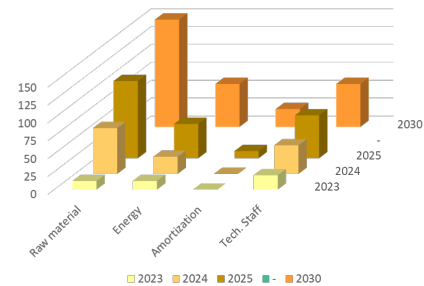


Búsqueda de inversores y
suministradores

Recharge – Financial Projections

Profit&Loss	2023	2024	2025	2030
Income (k€)	44	128	226	430
Opera. Cost (k€)	100	164	242	340
Profit (k€)	-56	-36	-16	90

Recharge – Cost (k€)



Invest. plan	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Invest. (k€)	75	100	125	25	0	25	0	0
Amort. (k€)	10	25	40	45	50	60	60	60

6. Business



44

Participant	Skills	Knowledge/Experience in the sector and/or product/services	Role
 Dr. Unai Morales (He)	Technology watching. Innovation and technology management. Sales manager, customer relation, communication with public agencies. Calculation and design of structural components.	Research and development in new thermoplastic RTM processes (ES2644970T3) and design of new products and special machinery for the transport sector (ES2579840T3). Development of new products for the FFCC sector through public (Shift2Rail) and private funding. Development of R&T projects and search for new opportunities in 3D printing technologies for the transport sector. Collaboration with the Basque Digital Innovation Hub (BDIH).	CEO
 Asier Amigot (He)	3D modelling and design thinking. Design for additive manufacturing. Maintenance and improvement of production processes. Preparation of manuals.	Exploring new applications and business opportunities for additive manufacturing of composites, economic and environmental sustainability. Special interest in business model development for the transport sector and especially in sustainable mobility. Collaboration with the Basque Digital Innovation Hub (BDIH).	CTO
 Maite Couto (She)	Innovation and technology management. Marketing and strategic positioning. Team management. Production organisation. Specification writing. Customer and supplier relations. Sales and purchasing department. General manager.	Participates in and leads competitive projects at regional and European level related to her areas of expertise. He is currently leading a DFG project that aims to contribute to the sustainable and fair ecological transition of Gipuzkoan SMEs through the transfer and exchange of knowledge/technology (EZAGUTZA-7/2022). At ULMA Medical Technologies, she analysed the commercial, clinical and economic viability of a medical device under the BIND 4.0 programme and contributed to the design and implementation of innovation management	External collaborator. Mondragon University. Tech. Partner.
 Udane Olaziregi (She)	3D Modelling and mechanical design. Generation of construction drawings. Characterization and testing. Expert on recycling Tech, LCA and circular economy (ODS).	3D printing laboratory technician. Participation in HORIZON 2020 (SPIRE) programmes, circular economy and new opportunities for 3D printing technologies. Collaboration in DFG projects (environment) in plastics and textile recycling.	External collaborator. Mondragon University. Tech. Partner.
 Dr. Jon Aurrekoetxea (He)	Technological watching, knowledge leader, business developing and seeking funding. He is also certified by the PMI (2316080) as a Project Management Professional (PMP)®.	His research on the study of the material-process-property relationship for lightweight fibre reinforced composites, with special emphasis on impact resistant and damage tolerant materials manufactured by resin transfer moulding, stamp-forming and additive manufacturing. He is co-author of 52 papers in peer-review journals (62% in Q1) and cited more than 750 times.	External collaborator. Mondragon University. Tech. Partner.



Ven a visitarnos al #PabellónESPAÑAIV



Pabellón ESPAÑA IV
Hall 6 - G86 + Mobility Planet



AIMPLAS



Colaboran:

AEROSM, AITIIP, CT INGENIEROS, FIDAMC, R*CONCEPT, ZÜND IBÉRICA

Agradecimientos

Ministerio de Ciencia e Innovación - Proyecto ADDICOMP (RTI2018-094435-B-C33)

Diputación Foral de Gipuzkoa – Proyecto VEFADI (RF0340/2019(ES))

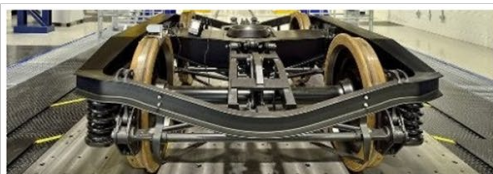
EIT – Raw Materials – Proyecto BREAKIT (HORIZON 2020)

ENPRESA SORTUZ – Mondragon Goi Eskola Politeknikoa (2022-2023)

**MUCHAS
GRACIAS**



CAFIBO: Aligeramiento,
Ahorro energía,
Reducción carga sobre rail,
Integración de “heath-monitoring”



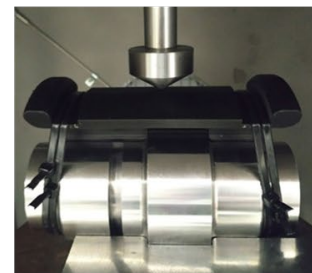
ALSTOM

magma
structures

elg ELG Carbon Fibre Ltd.
RECYCLED CARBON FIBRE

FFCC

Protección impacto balasto



breakit

eit RawMaterials