

Bienvenid@s

WEBINAR





#WebinarsAEMAC

Validación de Componentes Ferroviarios de Alta Responsabilidad en Material Compuesto (Rodal Ligero)

Marta Cerdeira Peinado
Innovación de Producto **Patentes Talgo SLU**

Francisco José García Piñeiro
Innovación de Producto **Patentes Talgo SLU**

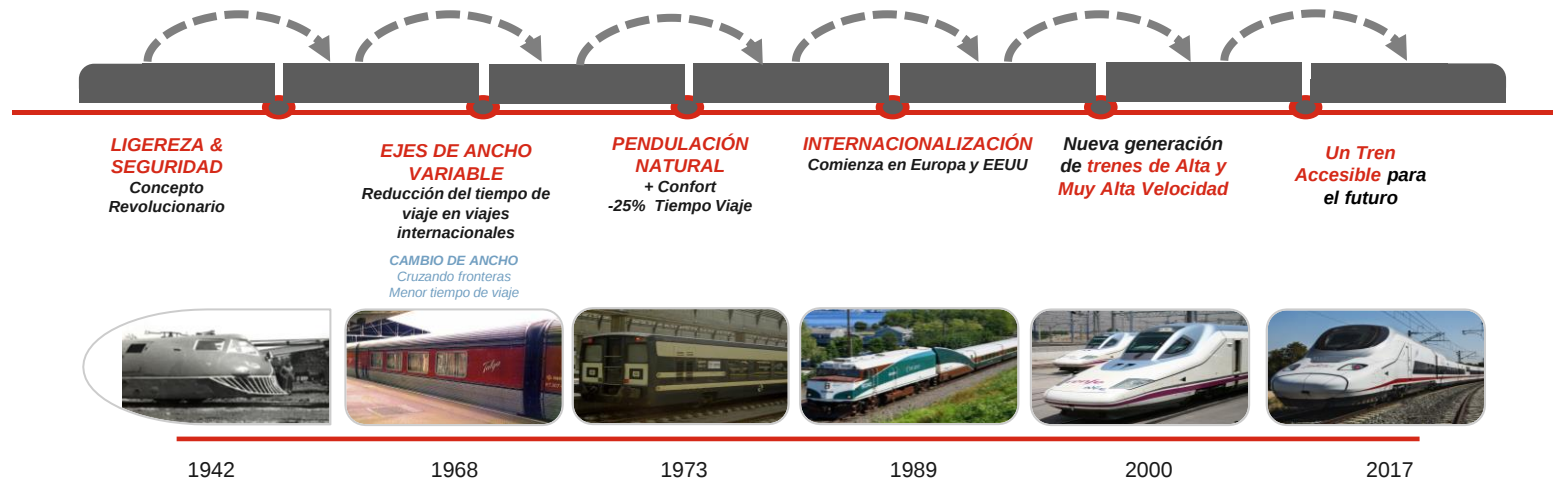


23 de febrero 2023, 16:00 (Madrid, GMT+2)



Validación de Componentes Ferroviarios de Alta Responsabilidad en Material Compuesto (Rodal Ligero)







North America

- Canada
- Mexico

South America

- Argentina
- Brazil

- United States

- Peru

Africa

- Algeria
- Ivory Coast
- Tunisia

- Cameroon
- Egypt

Europe

- Austria
- Denmark
- Ireland
- Norway
- Switzerland
- Belarus
- France
- Italy
- Poland
- Turkey

- Belgium
- Germany
- Luxembourg
- Portugal
- Ukraine
- Bosnia and Herzegovina
- Hungary
- Netherlands
- Spain
- United Kingdom

Asia

- China
- Kazakhstan
- South Korea
- India
- Qatar
- Thailand

- Indonesia
- Russia
- Uzbekistan
- Japan
- Saudi Arabia

Aligeramiento en Componentes Estructurales Ferroviarios:

1. Conceptos Clave:
 - Sistema Ferrocarril
 - Diseño Componentes
2. Rodadura Talgo: “Rodal”
3. Bastidor de Rodal ligero



Aligeramiento de Componentes Estructurales

1. Conceptos Clave

8



Sistema Ferrocarril:

- ✓ Reducción consumo energético.
- ✓ Ahorro tasas uso infraestructura .
- ✓ Incremento capacidad tren.



Diseño Componentes

- ✓ Componentes de alta responsabilidad (rodadura, estructura coche, etc..) → Requerimientos mecánicos exigentes.
- ✓ Ligereza → Beneficios de sistema.
- ✓ Materiales y procesos “Novedosos” en Sector Ferrocarril (ejemplo CFRP, AM, etc.)→ Poca experiencia en usos ferroviarios.
- ✓ Materiales resistentes a fuego (EN 45545) → Escasas opciones en polímeros.
- ✓ Hibridación materiales novedosos y convencionales e integración de interfases → Soluciones de diseño no convencionales.



CFRP



AM

Aligeramiento de Componentes Estructurales

2. La Rodadura “Talgo”

9

Rodadura Convencional
“Bogie”



VS

Rodadura Talgo
“Rodal”



- ✓ Eje de Rueda independiente → Sistema guiado adicional.
- ✓ Sistema de cambio de ancho → Interoperabilidad.
- ✓ 1 Eje por coche → Ligereza, coches mas cortos, inscripción en curva.
- ✓ Pendulación → Incremento de velocidad en paso por curva (velocidad convencional).
- ✓ Eje entre coches → Accesibilidad sin escaleras.

Talgo



AEMAC
ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPOSITOS

Aligeramiento de Componentes Estructurales

3. Bastidor de Rodal Ligero

10



Talgo Avril - G3



- Solución convencional en acero soldado
- Solución geométrica similar y/o optimizada
→ Mantenimiento de Interfases
- Solución híbrida de materiales:
 - **Material Compuesto (CFRP)**
 - Alecciones de altas prestaciones:
 - ✓ Ti-6Al-4V
 - ✓ GX4CrNi13.4 + QT2
 - ✓ 42 CrMo4+QT

REDUCCIÓN PESO 380 kg (~45%)

ACTUAL 815 kg

NUEVO DISEÑO 435 kg



Rodal Ligero Talgo

3.1.

Validación del Componente



3.1. Validación del Componente

12

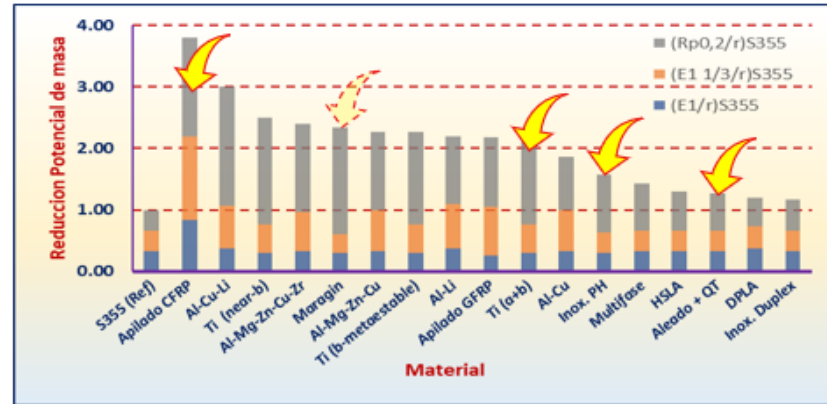
- Selección Materiales
- Plan de Validación
- Caracterización/Verificación/Validación
 - Nivel probeta
 - Nivel sub-componente
 - Nivel Componente



3.1. Validación del Componente Selección de materiales

13

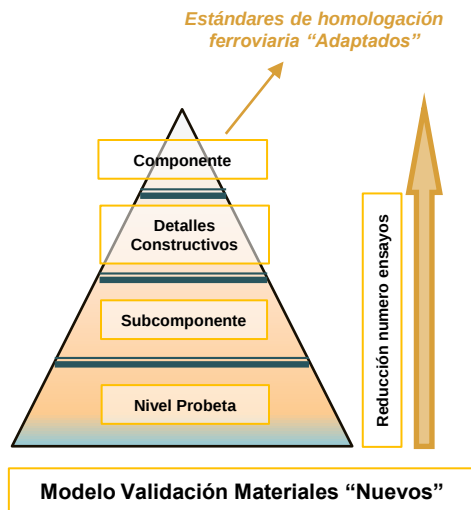
- Evaluación de propiedades específicas:
 - Rigidez a Tracción: E_1/ρ
 - Rigidez a Flexión: $\sqrt[3]{E_1}/\rho$
 - Resistencia a carga límite: $Rp_{0.2}/\rho$
 - Resistencia a carga última.
 - Tenacidad de Fractura.
- Otras propiedades
 - Durabilidad (fatiga, corrosión, etc.).
 - Procesabilidad.
 - Comportamiento a fuego.
 - Comportamiento a altas y bajas temperaturas.



$$\text{Indice de reducción potencial de peso } (I_{ref}^{S355}) = \omega_1 \frac{(E_1/\rho)_i}{(E_1/\rho)_{S355}} + \omega_2 \frac{(\sqrt[3]{E_1}/\rho)_i}{(\sqrt[3]{E_1}/\rho)_{S355}} + \omega_3 \frac{(Rp_{0.2}/\rho)_i}{(Rp_{0.2}/\rho)_{S355}}$$

3.1. Validación del Componente Plan de Validación

14



➤ Caracterización, verificación y validación

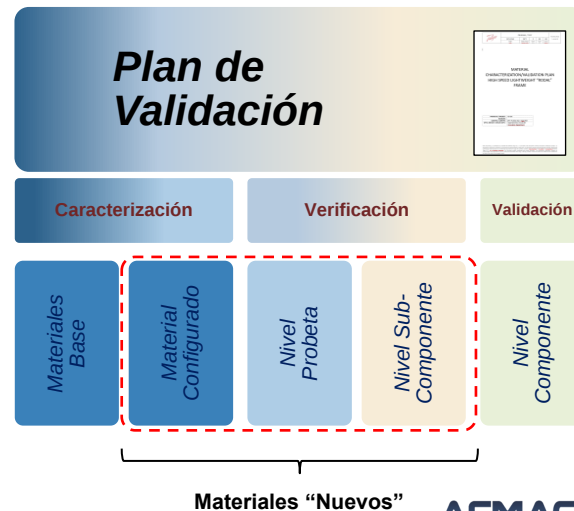
- ✓ Propiedades material.
- ✓ Resistencia Componente.
- ✓ Requerimientos Funcionales.

➤ Proceso Piramidal

- ✓ Nivel Probeta.
- ✓ Nivel Subcomponente .
- ✓ Detalles Constructivos.
- ✓ Nivel Componente.

➤ Basado en

- ✓ Recopilación Datos.
- ✓ Ensayos de caracterización.
- ✓ Ensayos de verificación.
- ✓ Ensayos de Validación



3.1.



Caracterización



Verificación



Validación

15

Propiedades características

Lamina CFRP (Prepreg)

Ficha técnica proveedor

Ensayos
(*completar la ficha técnica)

Ensayos

Modulo Elástico
Resistencia Mecánica
Tensión interlaminar

Nivel de protección ante
impacto balasto
Resistencia residual
después de Impacto

Laminados

Híbrida Simulación-Test

"Open Hole"
SS Bearing
DS Bearing

Normativa y/o
Códigos técnicos

Metales

Ensayos

Ensayo tracción
Tenacidad
Fractura

Bibliografía Especializada

Adhesivos

Ficha Técnica Proveedor

Unitary Cured Ply Mechanical				
Property	Symbol	Units	Acceptable Characterization Method	Reference Standard
Tensile Longitudinal Elastic module in fiber direction	E ₁₁	MPa	WMP/TST	Tech. Datasheet ASTM D3039

Metallic Materials ²⁰				
Property	Symbol	Units	Acceptable Characterization Method	Reference Standard
Tensile Longitudinal Elastic module in perpendicular fiber direction	E ₂₂	MPa	WMP/TST	Tech. Datasheet ASTM D3039
Tensile Transverse Elastic module in ply plane	E ₃₃	MPa	WMP/TST	Tech. Datasheet ASTM D3039
Tensile Poisson's coefficient in ply plane	ν ₁₂	%	WMP/TST	Tech. Datasheet ASTM D3039
Thermal Expansion coefficient in all direction	α	1/°C	WMP/TST	Tech. Datasheet ASTM D3039

Laminate Cured Mechanical				
Property	Symbol	Units	Acceptable Characterization Method	Reference Standard
Quasi-isotropic laminate tensile strength in 0° fiber direction	T ₀	MPa	WMP/TST	Tech. Datasheet ASTM D3039
Orthotropic laminate tensile strength in 90° fiber direction	T ₉₀	MPa	WMP/TST	Tech. Datasheet ASTM D3039
Quasi-isotropic laminate tensile strength in 45° fiber direction	T ₄₅	MPa	WMP/TST	Tech. Datasheet ASTM D3039
Orthotropic laminate tensile strength in 135° fiber direction	T ₁₃₅	MPa	WMP/TST	Tech. Datasheet ASTM D3039
Quasi-isotropic laminate compressive strength in 0° fiber direction	C ₀	MPa	WMP/TST	Tech. Datasheet ASTM D3039
Orthotropic laminate compressive strength in 90° fiber direction	C ₉₀	MPa	WMP/TST	Tech. Datasheet ASTM D3039
Quasi-isotropic laminate compressive strength in 45° fiber direction	C ₄₅	MPa	WMP/TST	Tech. Datasheet ASTM D3039
Orthotropic laminate compressive strength in 135° fiber direction	C ₁₃₅	MPa	WMP/TST	Tech. Datasheet ASTM D3039
Ultimate Transverse Shear Strength	V _u	MPa	WMP/TST	Tech. Datasheet ASTM D3039
Open Hole Tensile Strength	T _{OH}	MPa	WMP/TST	Tech. Datasheet ASTM D3039
Double Shear Bearing Strength	B _u	MPa	WMP/TST	Tech. Datasheet ASTM D3039
Impact level protection Class	IC	MPa	WMP/TST	Tech. Datasheet ASTM D3039
Residual Compression Strength	R _c	MPa	WMP/TST	Tech. Datasheet ASTM D3039
Void content	V _v	%	WMP/TST	Tech. Datasheet ASTM D3039

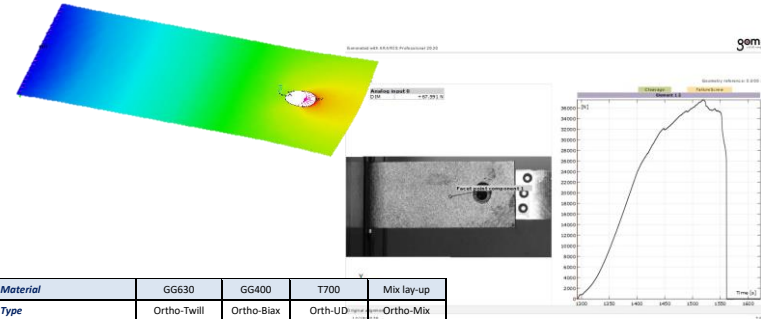


➤ Caracterización Híbrida Simulación-Test (Resistencias de panel con agujero : tensión circulante, aplastamiento a simple y doble cortadura)

- ✓ Propiedades Paramétricas (w, t, $\varnothing$,...)
- ✓ Nivel de Lámina (Unidireccional, Biaxial, Tejido)
- ✓ Evaluación paramétrica a partir de Simulación FEM

➤ Verificación

- ✓ Campaña reducida ensayos ($\varnothing=8$ y $\varnothing=12$)
- ✓ Nivel lámina
- ✓ Nivel de laminado: selección de laminados mixtos similares a los seleccionados en diseño: $t \approx 8\text{mm}$



Material	GG630		GG400		T700		Mix lay-up	
Type	Ortho-Twill		Ortho-Biax		Orth-UD		Ortho-Mix	
Coupon size w x t [mm]	6- $\varnothing$ x 300		6- $\varnothing$ x 300		6- $\varnothing$ x 300		6- $\varnothing$ x 300	
Thickness [mm]	4.97		4.62		4.29		8.21	
Hole Diameter $\varnothing$ [mm]	7.94	12.70	7.94	12.70	7.94	12.70	7.94	12.70
batches	1	1	1	1	1	1	1	1
specimens/batch	10	10	10	10	10	10	10	10
Total specimens	10	10	10	10	10	10	10	10
Measures [μm]	OH _{xy}		OH _{xy}		OH _{xy}		OH _{xy}	

Notes: T: Woven Deltapreg GG630T(T700)-FR161-46; X: Biaxial Deltapreg GG400X(T700)-FR161-42; U: Unidirectional Deltapreg T700 (24K-60E)-400-FR161-38

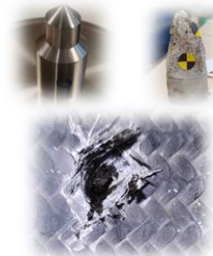
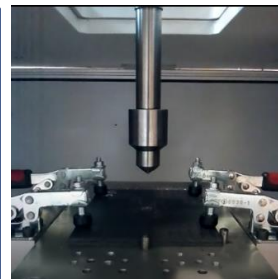


➤ **Nivel de protección contra impacto de balasto
(Caracterización Ferroviario).**

Permite evaluar la necesidad de incorporar o no elementos de protección.

✓ **Ensayo impacto ASTM-D7136/D7136M - torre caída**

- Impactador adaptado a NF-F 07-101.
- Se realiza sobre los laminados mixtos en zonas del diseño con riesgo de impacto.
- Hasta 115J (≈ 220 km/h).



✓ **Resistencia residual → Ensayo CAI**

✓ **Ensayo Balístico en componente (Prototipo 1)**

- Impactador adaptado a NF-F 07-101.
- Impactador de balasto.
- Evalúa el nivel de energía hasta el cual el material ofrece una protección eficaz ante el impacto.
- Hasta 270J (≈ 350 km/h).





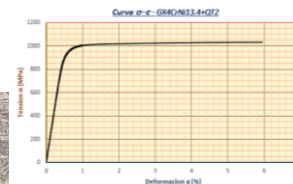
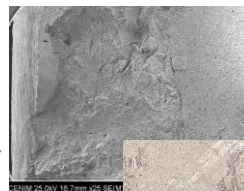
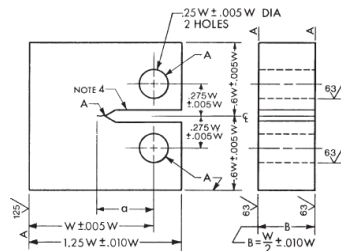
➤ Caracterización propiedades aleaciones no convencionales: GX4CrNi13.4 + QT2 (inox Martensítico)

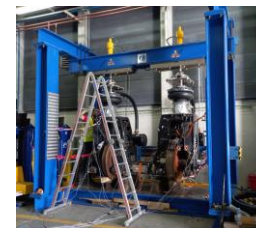
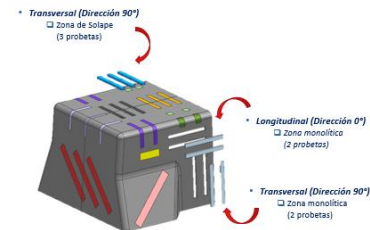
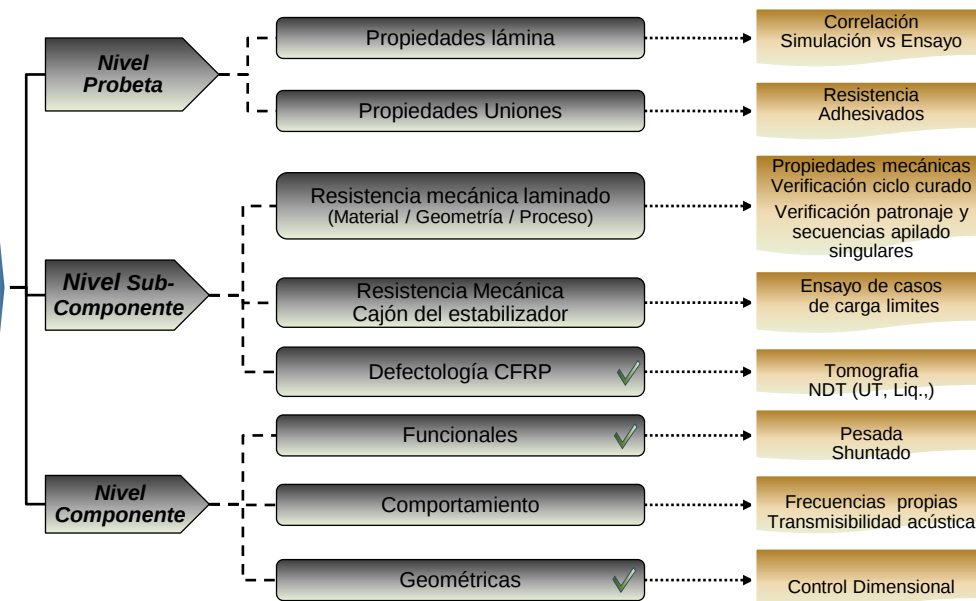
✓ Propiedades Mecánicas Básicas (Ensayo Tracción: UNE-EN ISO 6892)

- Curva tensión-deformación
- Módulo elástico
- Limite elástico $R_{p0.2}$
- Resistencia mecánica R_m
- Coeficiente de Poisson

✓ Metalúrgica

✓ Tenacidad Fractura (Ensayo ASTM 1820)



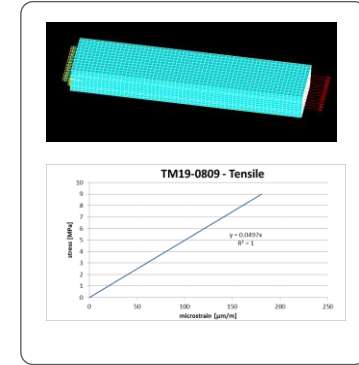
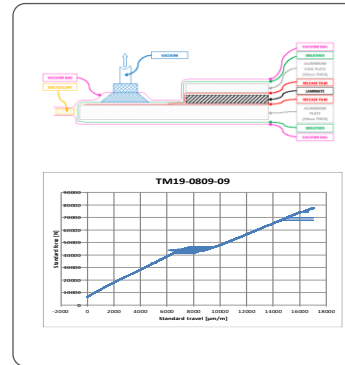
Propiedades y requerimientos
funcionales



Nivel
Probeta

➤ **Correlación Propiedades Mecánicas:**
simulación FEM vs valores ensayo

- ✓ **Laminados mixtos tipo:**
 - Apilado cuasi-isotrópico (T,BX)
 - Apilado direccional (T, BX, UD)
- ✓ **Evaluación propiedades mecánicas Básicas**
(resistencia, modulo elástico, Poisson,
alargamiento rotura, tensión interlaminar)
obtenidas mediante ensayo. (5-10 probetas)
 - Tracción ASTM D3039
 - Compresión ASTM D6641
 - ILSS ASTM D2344
- ✓ **Simulación FEM → Teoría lineal laminados**
- ✓ **Factor de seguridad asociado a metodología**
Cálculo



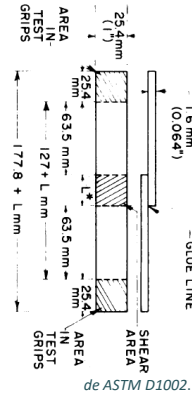
$Sf_{met,cal}$



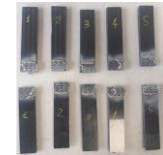
Nivel
Probeta

➤ **Verificación resistencia mecánica de uniones adhesivas**

- ✓ **Ensayo lap-shear ASTM D1002.**
- ✓ **Uniones con responsabilidad estructural**
 - Resistencia mecánica
 - Modos de fallo
- ✓ **Uniones sin responsabilidad estructural**
 - Modos de fallo
- ✓ **Distintas combinaciones de materiales involucradas en el proyecto**
 - CFRP-CFRP
 - CFRP-Titanio
 - CFRP-Acero Inoxidable
- ✓ **Al menos 5 probetas**



CFRP-Titanio



CFRP-CFRP

CFRP-Acero
Inoxidable

$$\tau_{sh} = \frac{p_{max}}{l \cdot b}$$



Nivel Sub-
Componente

➤ Resistencia mecánica laminado (material / Proceso / Geometría)

✓ **Componente parcial**

✓ **Zona Representativa:**

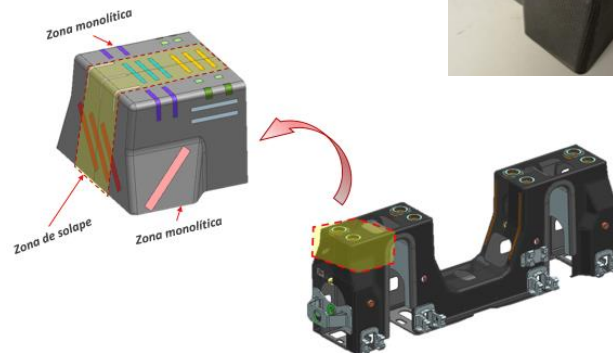
- Geometrías críticas (Radios, Encuentros 3 planos).
- Apilados singulares (solapes de telas).
- Apilados nominales (planos, no solapes, etc.).

✓ **Verificaciones**

- Calidad: Defectos, Dimensional.
- Propiedades mecánicas (para cada zona tipo):
 - Tracción ASTM D3039
 - Compresión ASTM D641
 - Cortadura en Plano ASTM D3518
 - Tensión Interlaminar ASTM D2344

✓ **Si no OK → Ajustes:**

- Ciclo de Curado
- Secuencia de apilado
- Patronaje.
-





Caracterización



Verificación



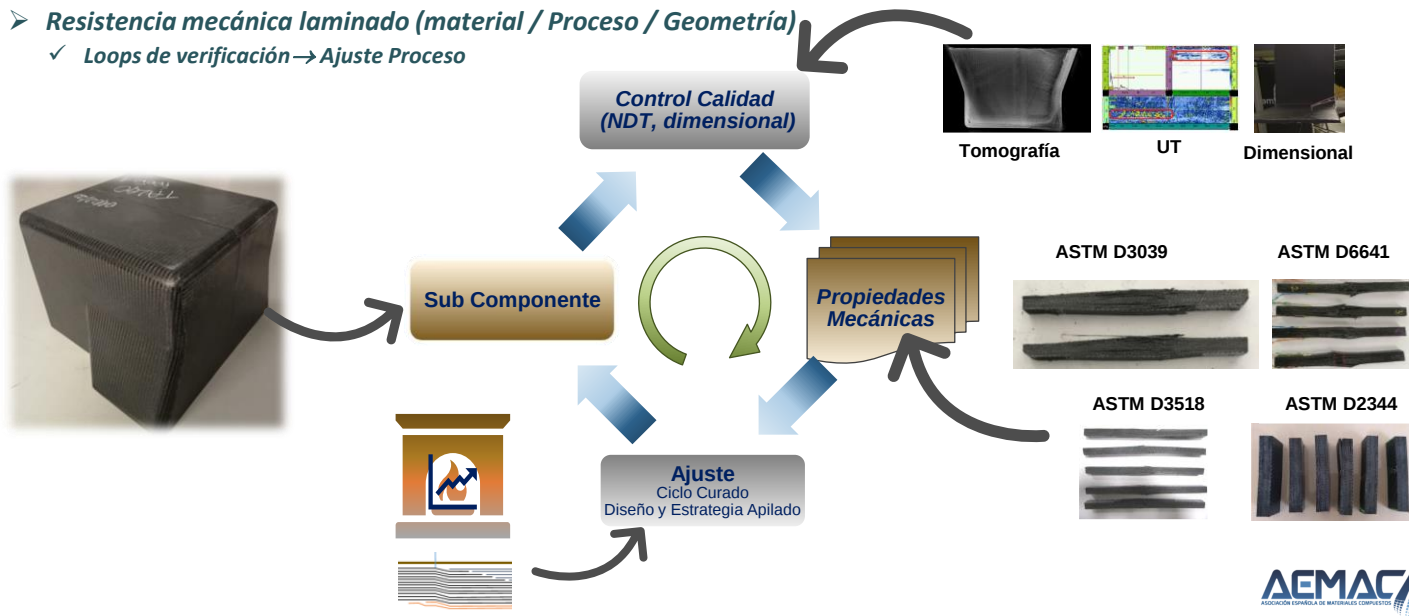
Validación

23

Nivel Sub-Componente

➤ **Resistencia mecánica laminado (material / Proceso / Geometría)**

✓ Loops de verificación → Ajuste Proceso

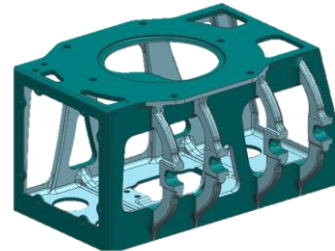
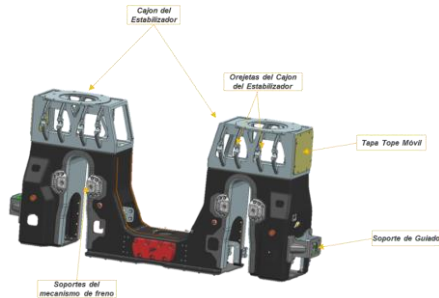




Nivel Sub-Componente

➤ **Resistencia estática cajón estabilizador**

- ✓ **Subcomponente metálico.**
- ✓ **Aleación altas prestaciones no convencional.**
- ✓ **Geometría + proceso novedoso para este componente.**
- ✓ **Evaluación de resistencia estática:**
 - Envolvente de acciones excepcionales.
 - Evaluación tensiones.
 - Defectos (NDT).

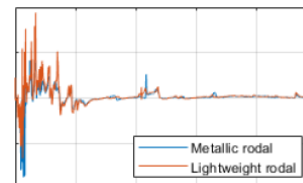
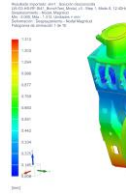
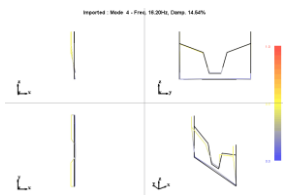




Nivel
Componente

➤ Modos propios y Transmisibilidad acústica

- ✓ Ensayo sobre componente.
- ✓ Replicado de interfaces en banco.
- ✓ Análisis modos propios:
→ Comparativa frente Rodal convencional metálico
- ✓ Evaluación de transmisibilidad acústica en Interfaces:
→ Comparativa frente Rodal convencional metálico
- ✓ Correlación simulación FEM





Caracterización

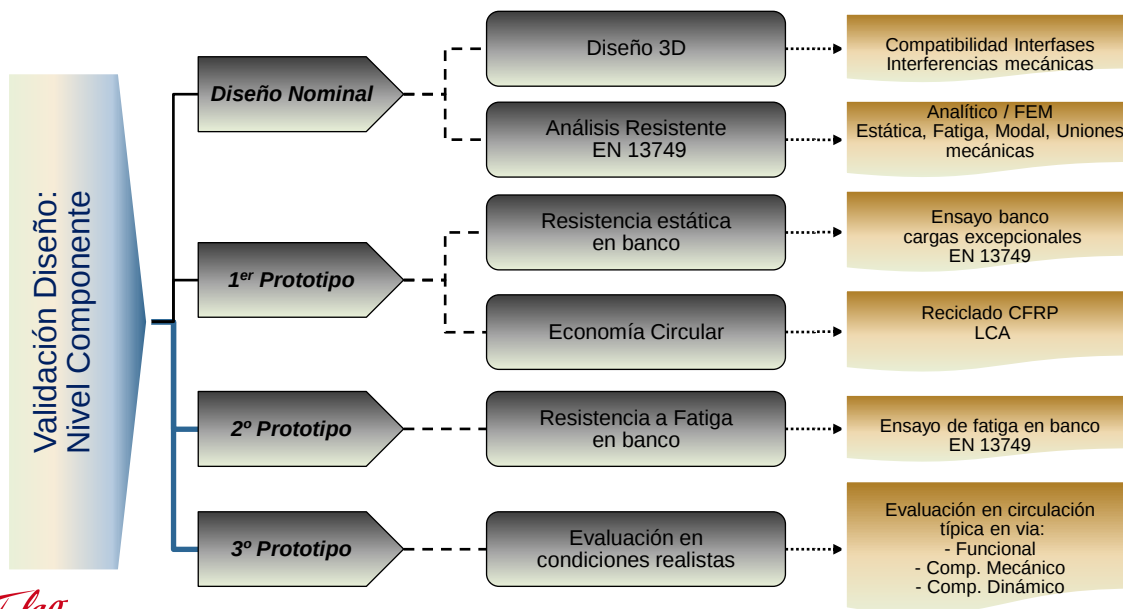


Verificación



Validación

26



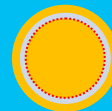
norma
española

UNE-EN 13749



AEMAC
ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPLEJOS

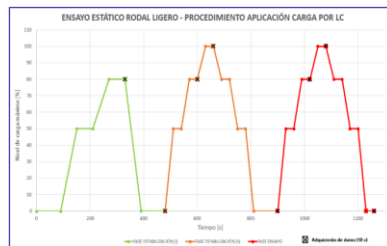
Talgo

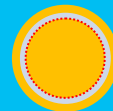


1er
Prototipo

➤ Ensayo Estático Banco EN13749

- ✓ Instalaciones Talgo (Banco de Rodales)
- ✓ Cargas Excepcionales
- ✓ Cargas Servicio
- ✓ Cargas Frenado
- ✓ Sobrecarga 30%
 - No requeridas por norma
 - Una vez superado ensayo según EN13749





1er
Prototipo

➤ *Economía Circular*

✓ *Proceso de reciclado CFRP.*

- Obtención de fibra larga
- Minimizar reducción de propiedades mecánicas

✓ *LCA para estructura primaria.*

- “Crédito Positivo” vs Metal Convencional

✓ *Monitorización desarrollos resinas reciclables.*

- Epoxi
- PUR
-

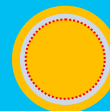




Caracterización



Verificación



Validación

30

2º
Prototipo

➤ **Ensayo Fatiga Banco EN13749**

✓ **Instalaciones Talgo (Banco de Rodales)**

✓ **Cargas dinámicas de circulación**

- 6 Millones ciclos 100%
- 2 Millones ciclos 120%
- 2 Millones ciclos 140%

✓ **Metodología evaluación adaptada a elementos en material compuesto**

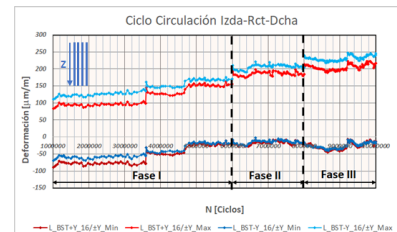
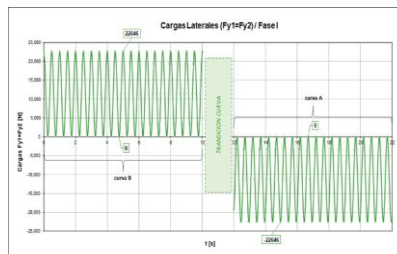
✓ **Inspecciones NDT**

(Inicio, durante y final de ensayo)

✓ **Carga Estática Excepcional**

- No requeridas por norma
- Una vez superado ensayo fatiga según EN13749

✓ **Proceso evaluado por observador externo** **Applus[®]**
laboratories



Talgo

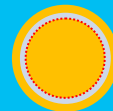
AEMAC
ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS



Caracterización



Verificación



Validación

31

3º
Prototipo

➤ **Pruebas dinámicas en vía**

(En proceso)

✓ **Instalación en Tren Talgo Avril-G3** (Tren Prototipo)

✓ **Respuesta ante cargas “realistas” de circulación**

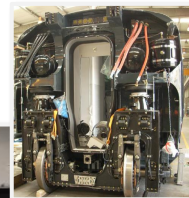
- Escalados de velocidad
- Recta / Curva
- Ruta completa

✓ **Evaluación dinámica y resistente**

- Control deformaciones puntos singulares
- Evaluación de aceleraciones componente

✓ **Comparativas frente a rodal convencional**

✓ **Correlación con test y análisis**



Prototipos 1 y 2
(Validación en Banco)

Análisis

Prototipo 3

Instalación en
Tren Avril-G3

Pruebas
en vía

Talgo

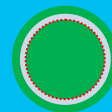
AEMAC
ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPOSITOS



Caracterización

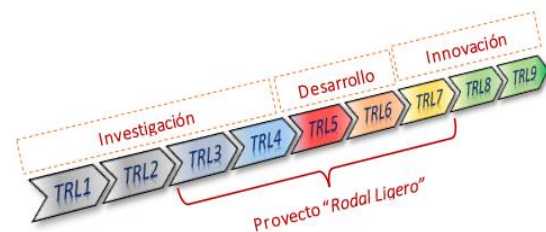
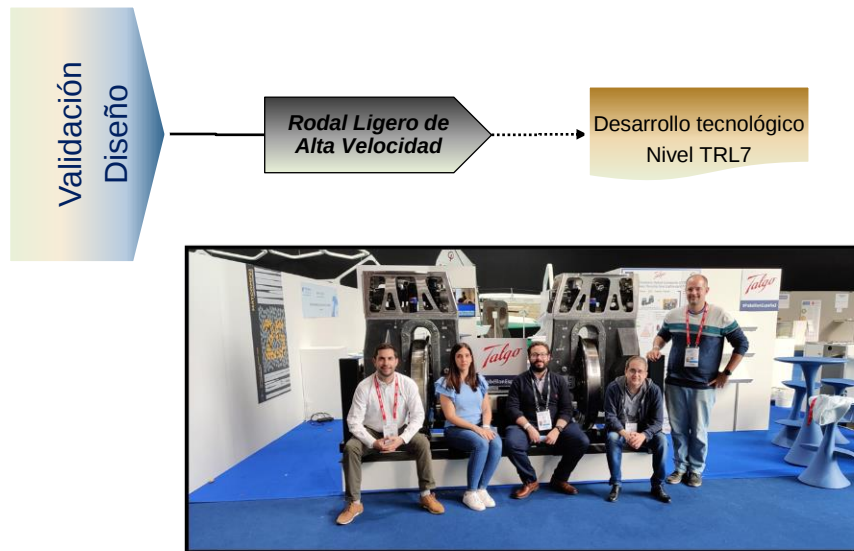


Verificación



Validación

32



Talgo

AEMAC
ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPOSITOS

MUCHAS
GRACIAS

Talgo



Francisco Jose García Piñeiro
Product Innovation Specialist
fjgarcia@talgo.com

Marta Cerdeira Peinado
Product Innovation Engineer
marta.cerdeirapeinado@talgo.com