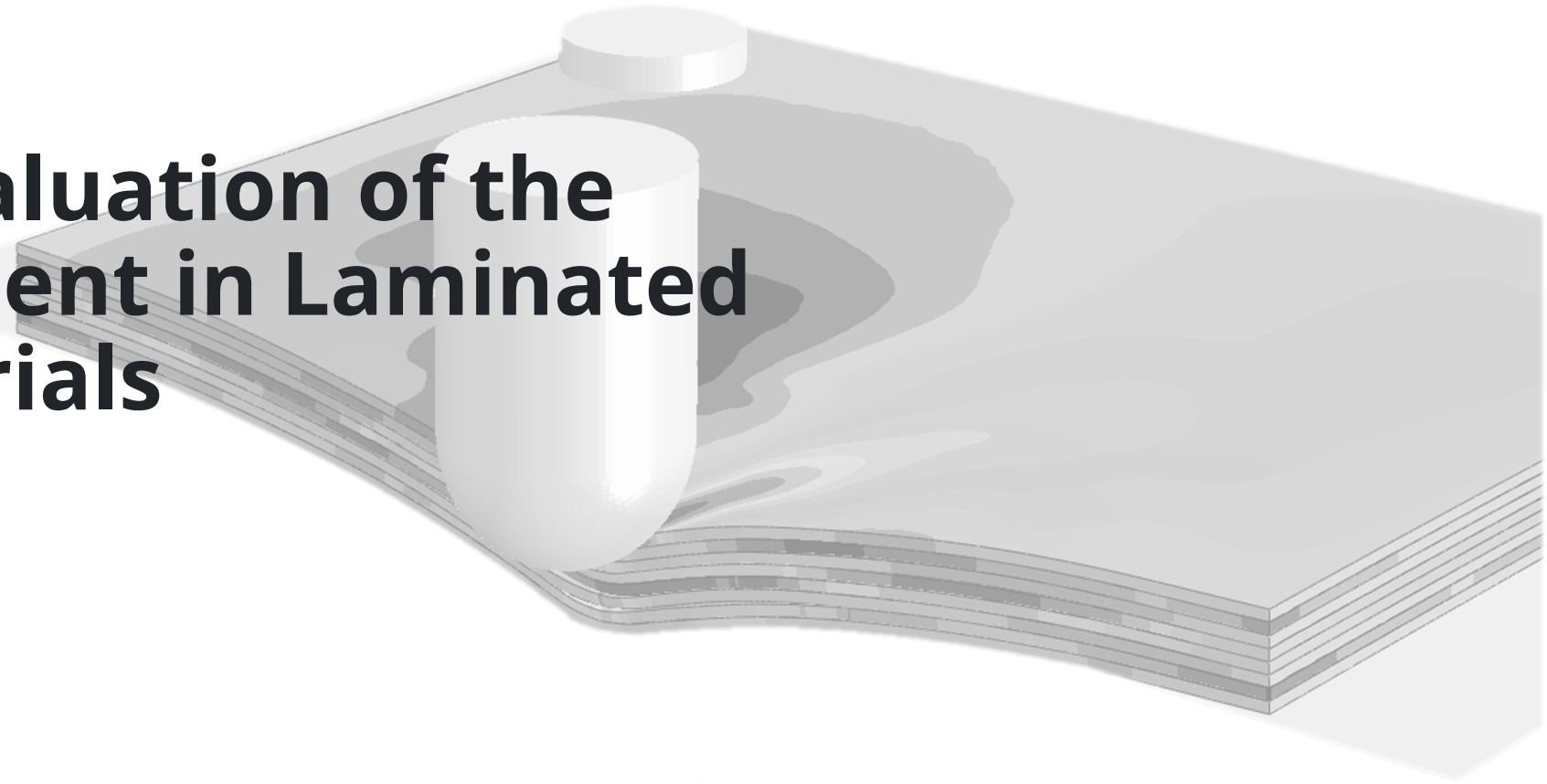


Experimental Evaluation of the Damping Coefficient in Laminated Composite Materials

Dani Trias



January 23rd, 2026
AMADE DAY – WINTER 2026

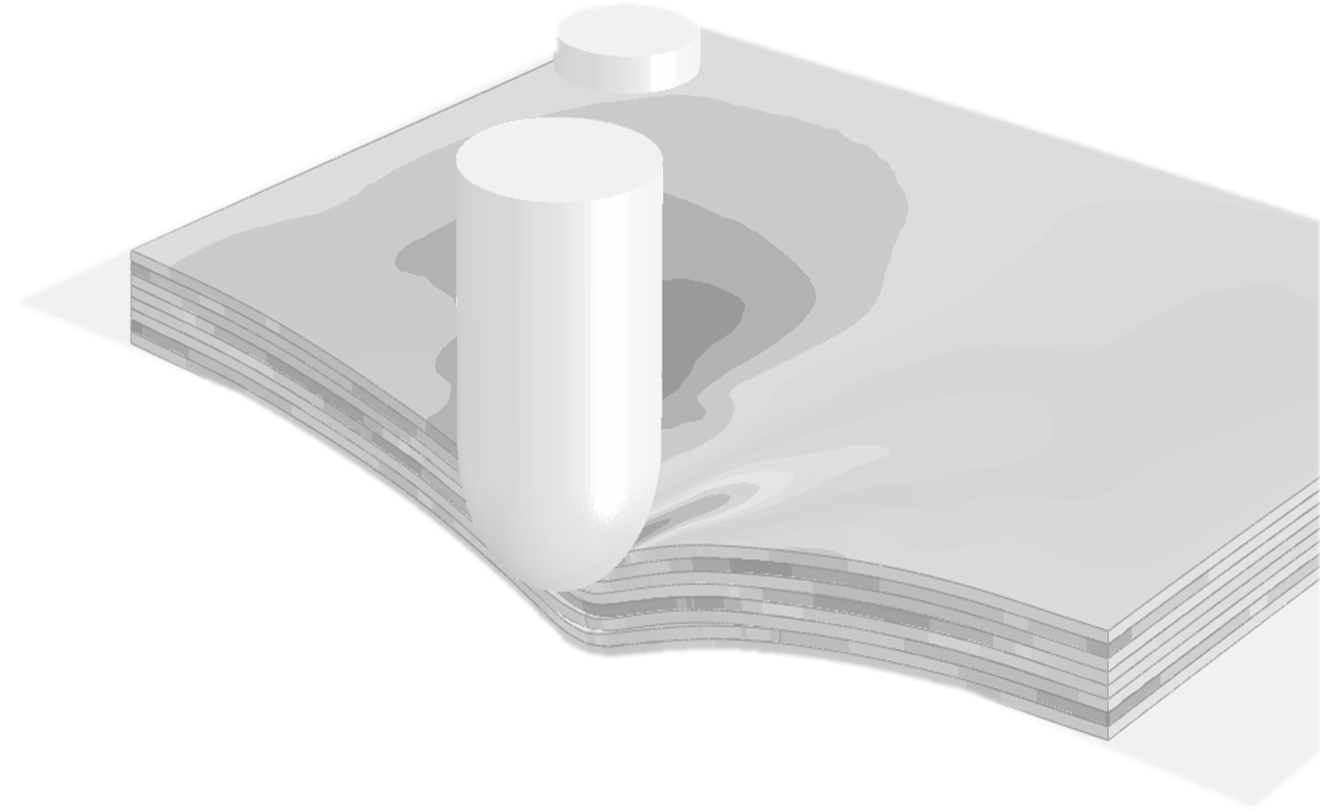


Universitat
de Girona



AMADE
ANALYSIS AND ADVANCED MATERIALS
FOR STRUCTURAL DESIGN

Introduction



Damping?

Logarithmic decay

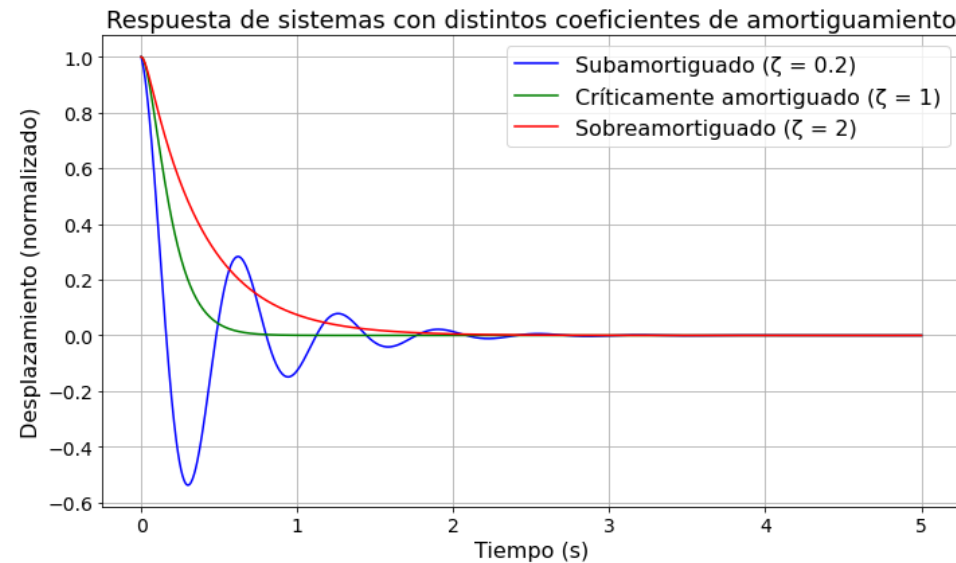
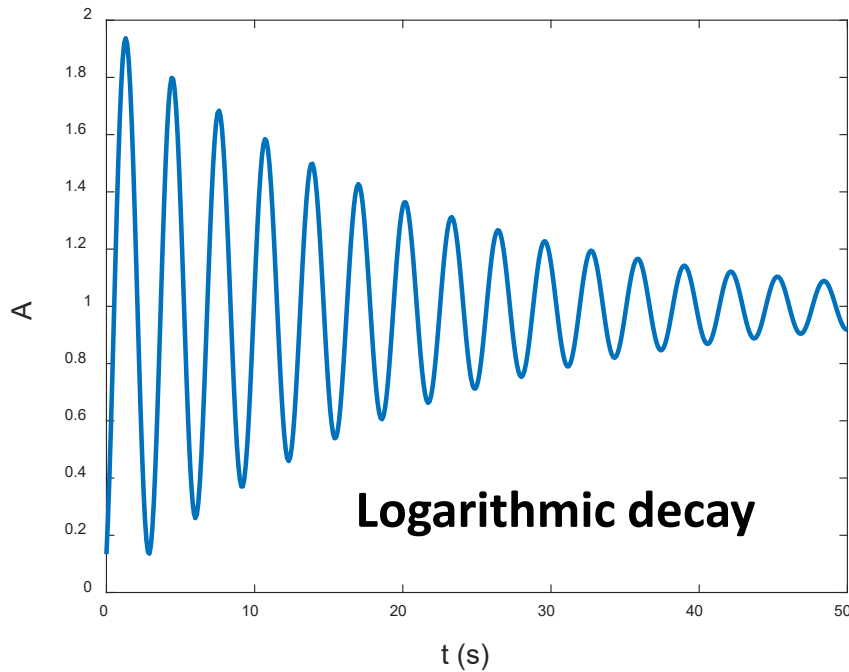
$$\delta = \ln \frac{A_i}{A_{i+1}} = \frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}$$

Damping ratio

$$\zeta = \frac{c}{c_c}$$

c : constante de amortiguamiento del sistema [N/(m·s)]

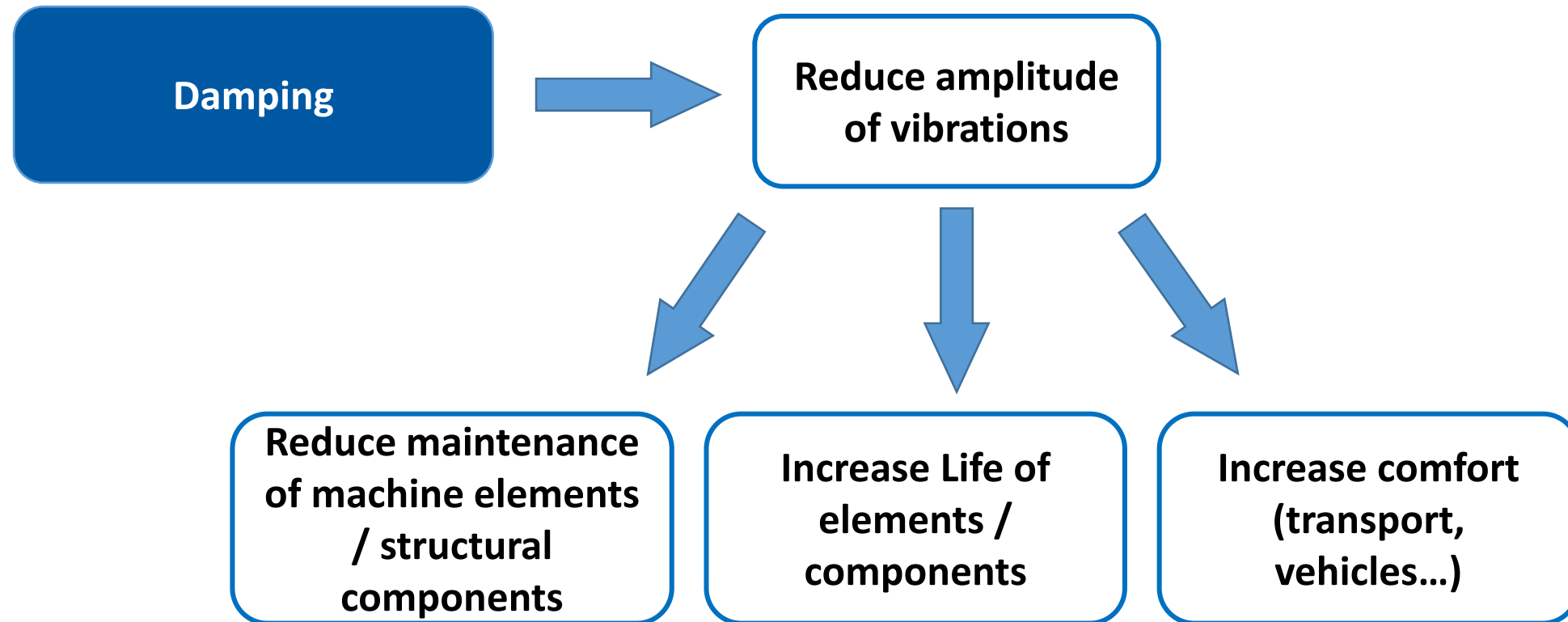
c_c : amortiguamiento crítico



Dimensionless parameter which classifies the dynamic response of the system:

- $\zeta = 0 \rightarrow$ undamped
- $\zeta < 1 \rightarrow$ underdamped
- $\zeta = 1 \rightarrow$ critically damped
- $\zeta > 1 \rightarrow$ overdamped





Coeficiente de amortiguamiento en materiales compuestos laminados

- Mayor amortiguamiento que metales → viscoelasticidad de la matriz polimérica
- Depende de:
 - Propiedades de los constituyentes
 - Secuencia de laminado
 - Forma de la fibra
 - Características de la interfície fibra-matriz
 - **Frecuencia de excitación**
 - Amortiguamiento aumenta parabólicamente si la fracción de matriz aumenta (hasta el 60%) (Lin et al 1984, Hadi y Ashton 1996, Haddad y Feng 2003)
- **Termoplásticos** presentan **mayor** capacidad de **amortiguamiento** que termoestables
- Idealmente se podría diseñar un laminado con unas propiedades de amortiguamiento deseadas
- Generalmente el amortiguamiento es **inversamente proporcional** a propiedades “más valiosas” como **rigidez o resistencia**
- Terreno por recorrer: laminados híbridos con capas que aporten rigidez y resistencia y capas que aporten amortiguamiento → fibras naturales (flax)

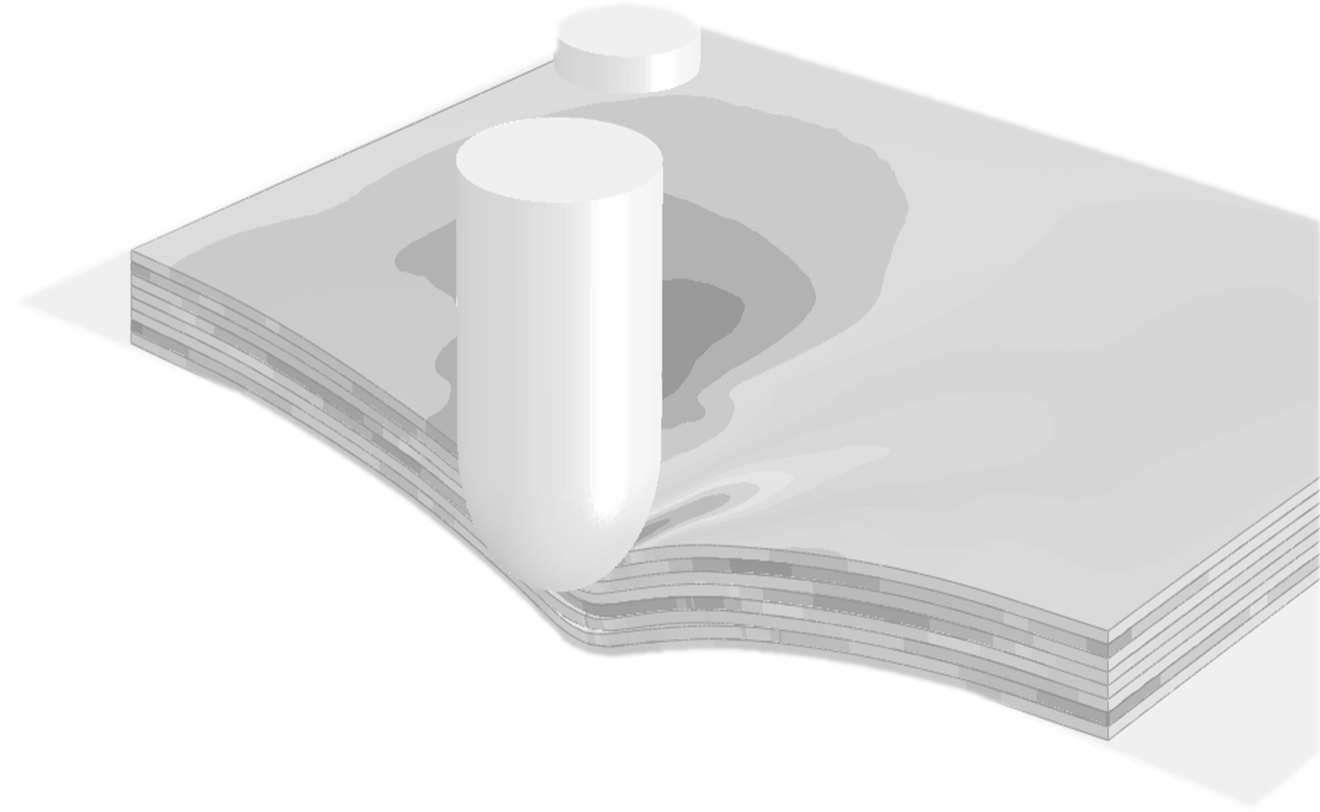


Objetivos

- La poca literatura existente ni estándares (ISO 6721-1:2019, ISO 6721-3:2021) no da todos los detalles → **Determinar los parámetros** para el buen funcionamiento de la medida:
 - **Type of excitation**
 - **Position** of accelerometer
 - Accelerometer **Mass**
- **Obtener el factor de amortiguamiento** de materiales representativos para el proyecto SUCCESSBLADE
 - OBJ: Evaluar el uso de una resina termoplástica reciclable (Akelite) en la fabricación de palas de un aerogenerador pequeño



Methodology



Set up

BK Connect software

- Excitation generation
- Result processing / analysis

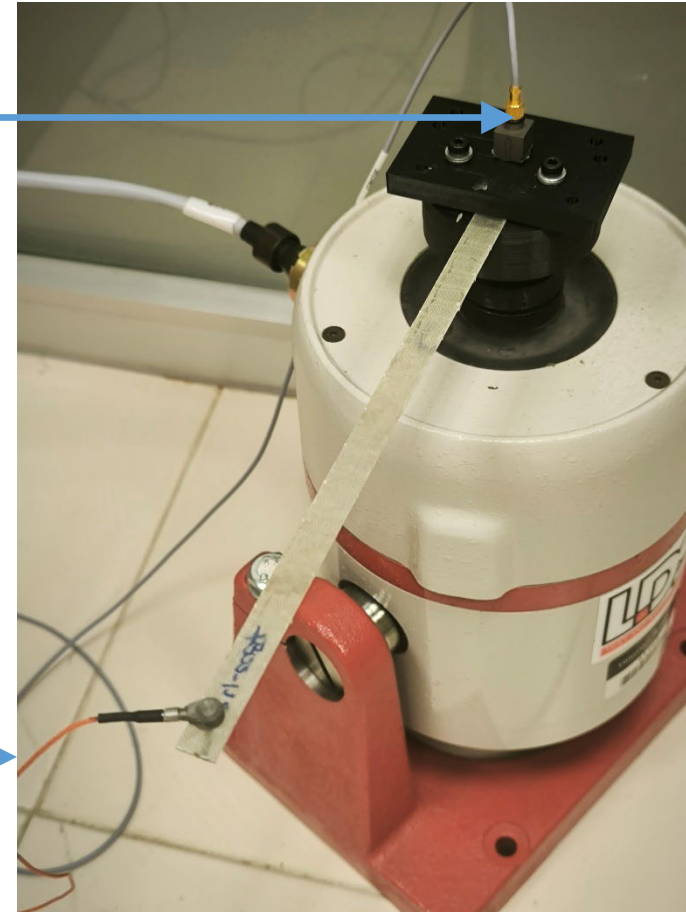
amplifier Bruel & Kjaer V406-LPA100

B&K 4508-1
 $10.2 \text{ mV/m}\cdot\text{s}^2$
 $m=4.8 \text{ g}$

accelerometer
(bee wax)

Acquisition module
Bruel Kajer LAN-XI

B&K 4517
 $1.02 \text{ mV/m}\cdot\text{s}^2$
 $m=0.6 \text{ g}$



(Mini) Shaker



Accelerometers

- 4517 CCLD miniatura, 10 mV/g, 0,6 g , 1000 € → 1666 €/g → 1.666.666 €/kg



Lightest accelerometer in Brüel-Kjaer catalogue

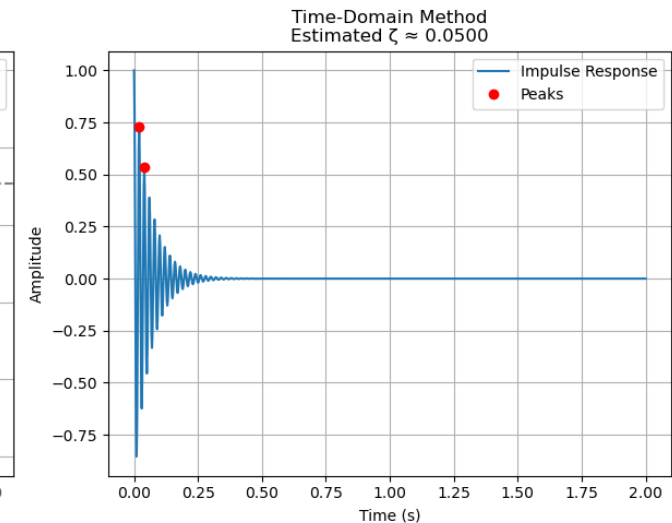
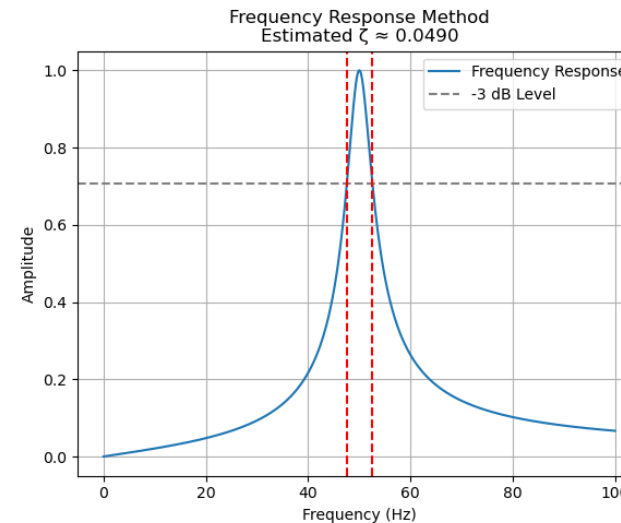
- 4508 10 mV/g, 4.8 g, 500 € → 104 €/g → 104.166 €/kg



Obtención experimental

- Excitación mediante **shaker**:
 - Excitación controlada
 - **Distintos tipos de excitación**
 - Buena precisión
 - Permite excitar fácilmente gran rango de frecuencias
 - Permite otros usos
- Medida mediante **acelerómetros**
 - **La masa no debe alterar el comportamiento del sistema (?)**
 - Se recomienda masa del acelerómetro inferior a 1/10 de la masa en movimiento
 - **Posicionamiento acelerómetro**

- Reducción de datos: **Análisis frecuencial**
 - FFT: requieren señales periódicas
 - Mayor complejidad numérica
 - **“Artefactos” numéricos**
 - Se pierde la intuición
 - Mayor precisión(respecto análisis temporal)
 - Software comercial (Bruel & Kjaer)



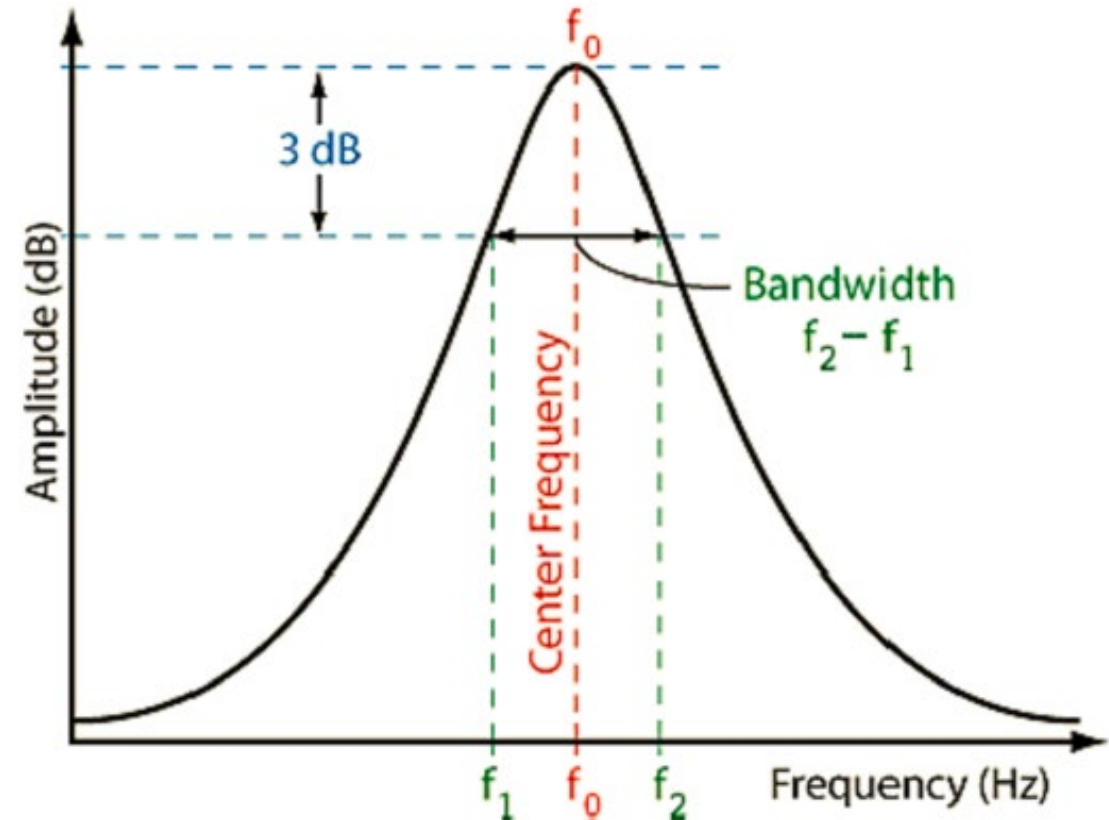
Método experimental

- Half-band width method
 - *Damping increases the width of the resonance peak at natural frequencies*
- This allows to estimate the damping ratio at each peak of the frequency response (frecuencia natural frequency).

$$Q_i = \frac{f_0}{f_2 - f_1}$$

$$\zeta_i = \frac{1}{2 \cdot Q_i}$$

For each natural frequency i

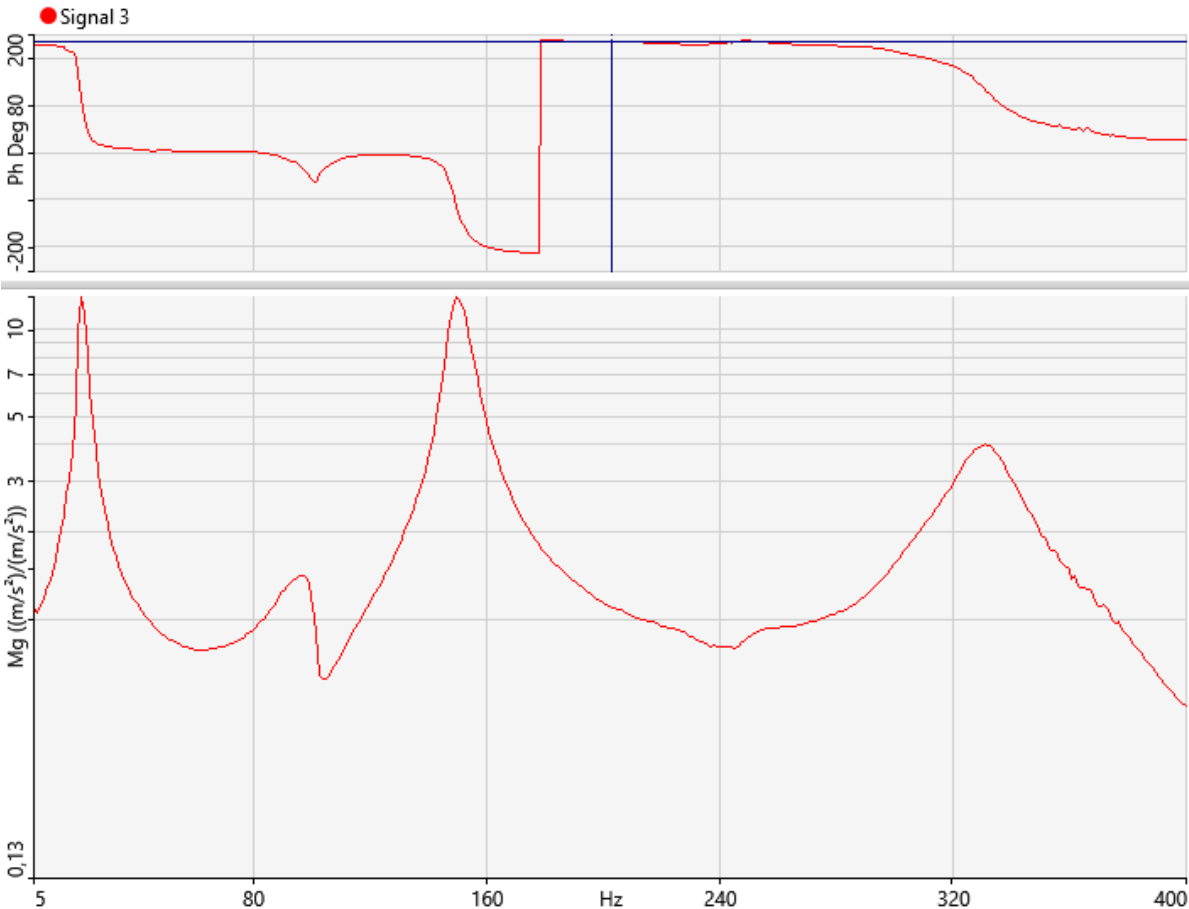


Método experimental

- Half-band width method
 - *Damping increases the width of the ressonance peak at natural frequencies*
- This allows to estimate the damping ratio at each peak of the frequency response (frecuencia natural frequency).

$$Q_i = \frac{f_0}{f_2 - f_1}$$

$$\zeta_i = \frac{1}{2 \cdot Q_i}$$



For each natural frequency *i*

Resonance	Resonance	Resonance	Resonance
Frequency : 21 Hz	Frequency : 97 Hz	Frequency : 150 Hz	Frequency : 331 Hz
Width 3dB : 2,79 Hz	Width 3dB : 17,44 Hz	Width 3dB : 7,84 Hz	Width 3dB : 22,86 Hz
Damping Ratio: 6,64 %	Damping Ratio: 8,99 %	Damping Ratio: 2,61 %	Damping Ratio: 3,45 %
Residue : ?	Residue : ?	Residue : ?	Residue : ?



Materials

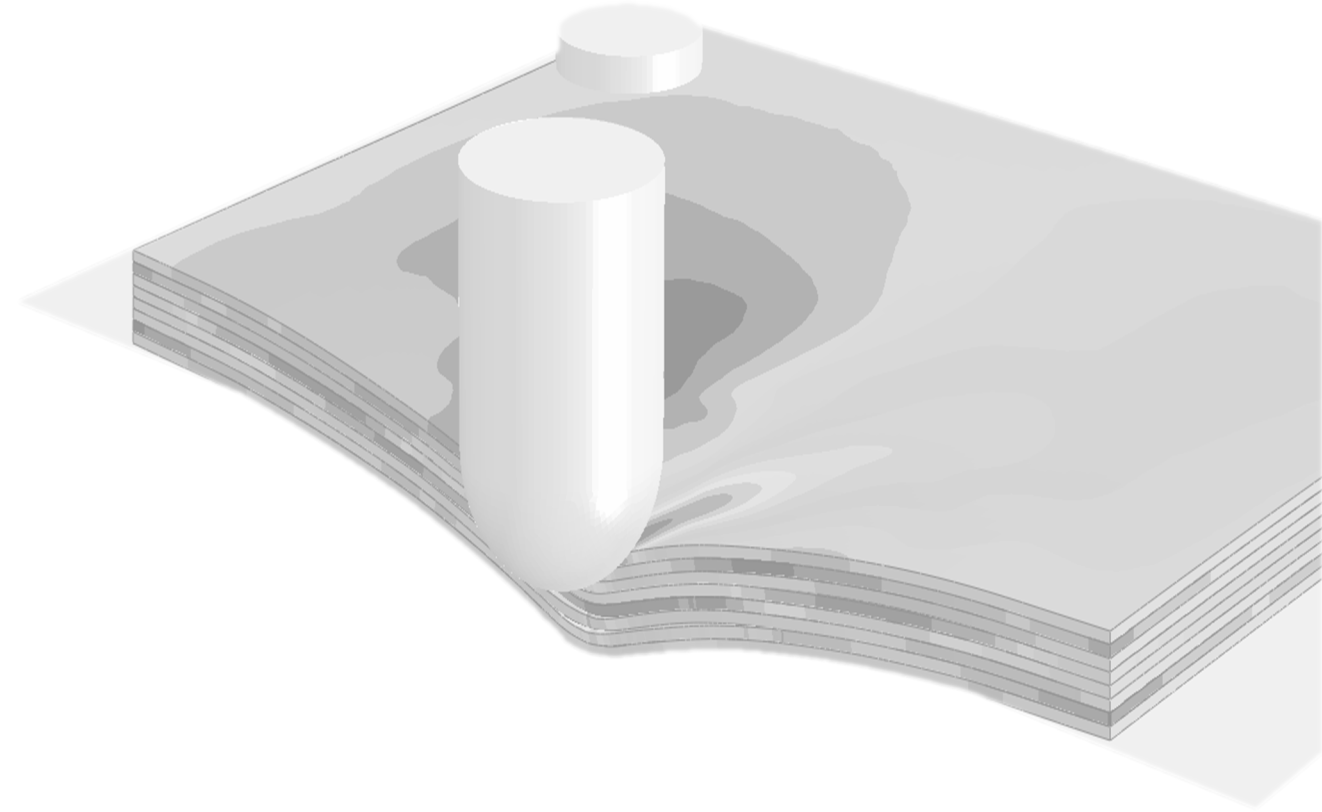
Material	Espesor [mm]	Ancho [mm]	Largo [mm]	Masa [g]
GF 8092 UD 0° + Sicomin	1.1	10	280	6.4
GF 8092 UD 0° +akelite	1.1	10	280	6.4
BXE600 1270 STD BIAx ±45 ° +Sicomin	3.7	10	280	21.5
BXE600 1270 STD BIAx ±45 ° +akelite	3.7	10	280	21.5
UD FLAX + Sicomin	1.2	10	205	3.2

- Sicomin: epoxi (termoestable) de referencia
- Akelite: termoplástico reciclable
- Flax: fibra natural, reciclable
- Se utilizan los mismos paneles definidos para los ensayos de tracción

Recommendation accelerometer mass should be smaller than 1/10 of the specimen mass is not satisfied for FLAX

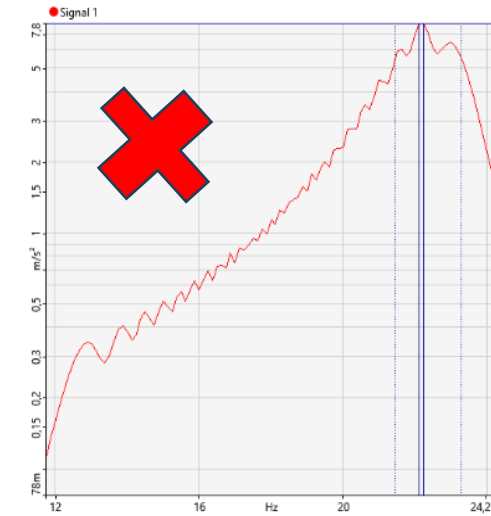


Parametric study

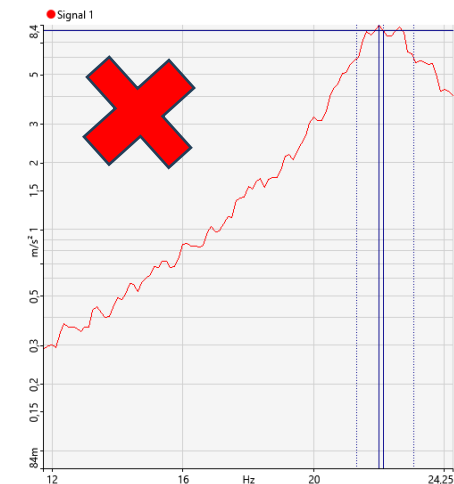


Tipo de excitación

- Software allows to use different types of excitation (shaker)
- We need smooth response (without noise) and without leakage → artifact due to non-periodicity and use of windows
- Avoid lack of resolution → we need to capture the peak with enough precision
- Sine Sweep excitation is not recommended (according to expert Dr. Peter Avitabile).



Leakage



Random excitation types

- Random

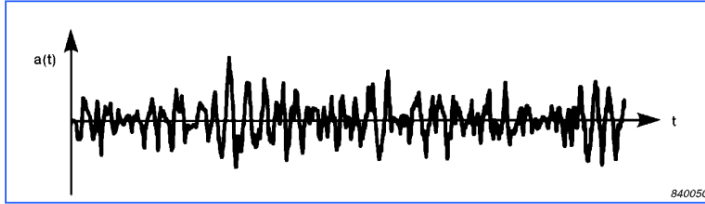


Fig. 2 Random signal

DFT needs periodic signals
Although numerical Windows
(weighting technique) can be
used, not effective enough



LEAKAGE

- Burst Random

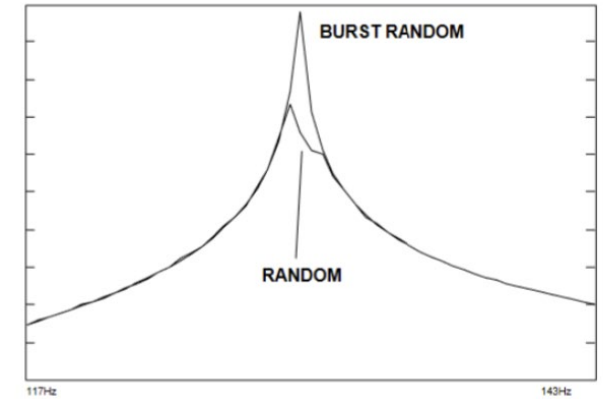
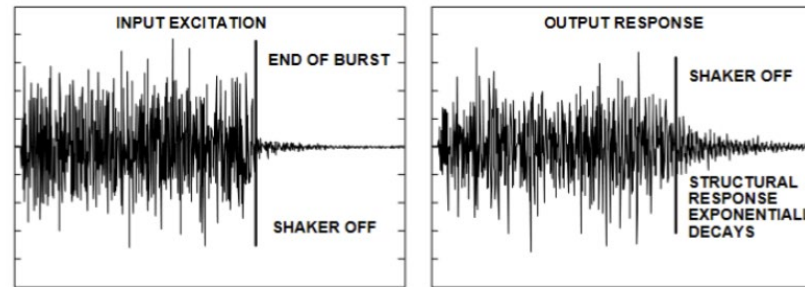


Figure 6 - FRF for Burst Random and Random

- Periodic Random

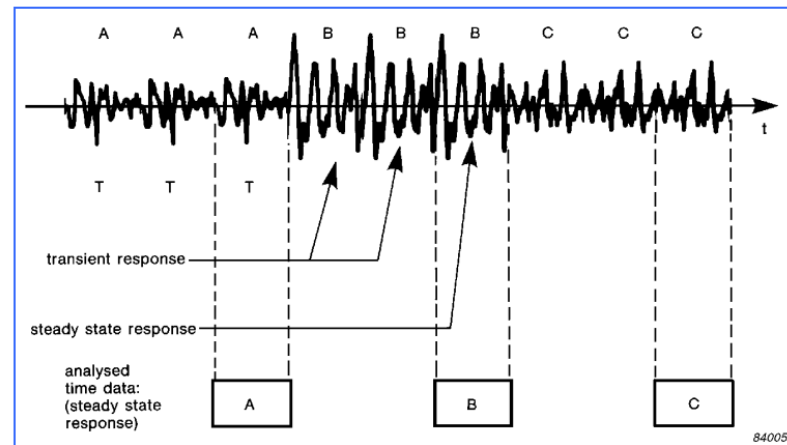
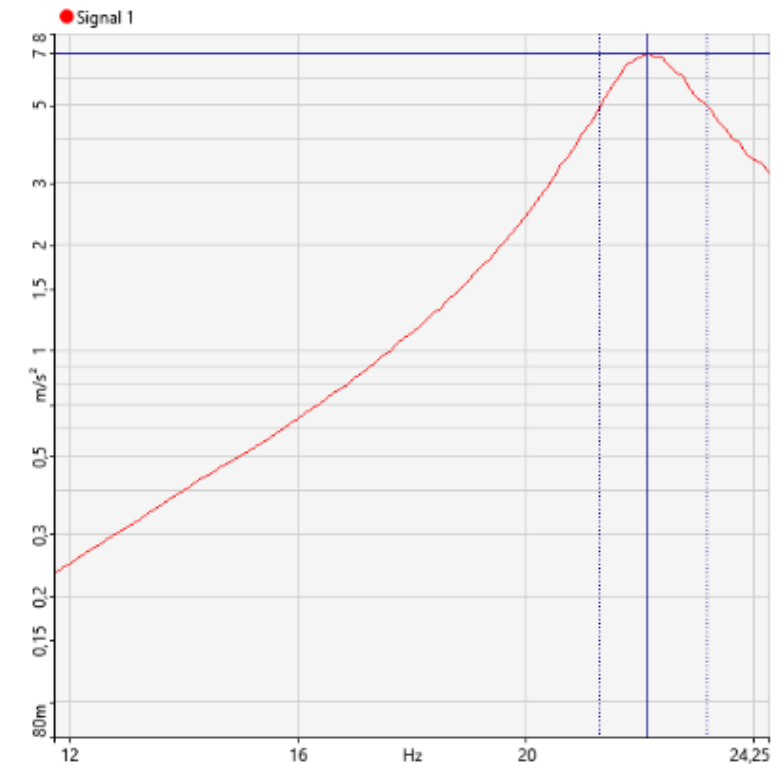


Fig. 10 Periodic random excitation signal

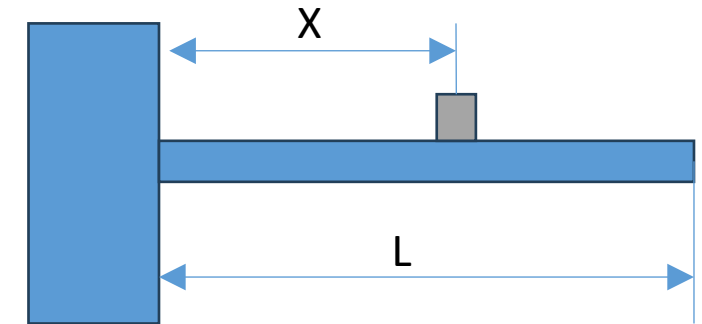
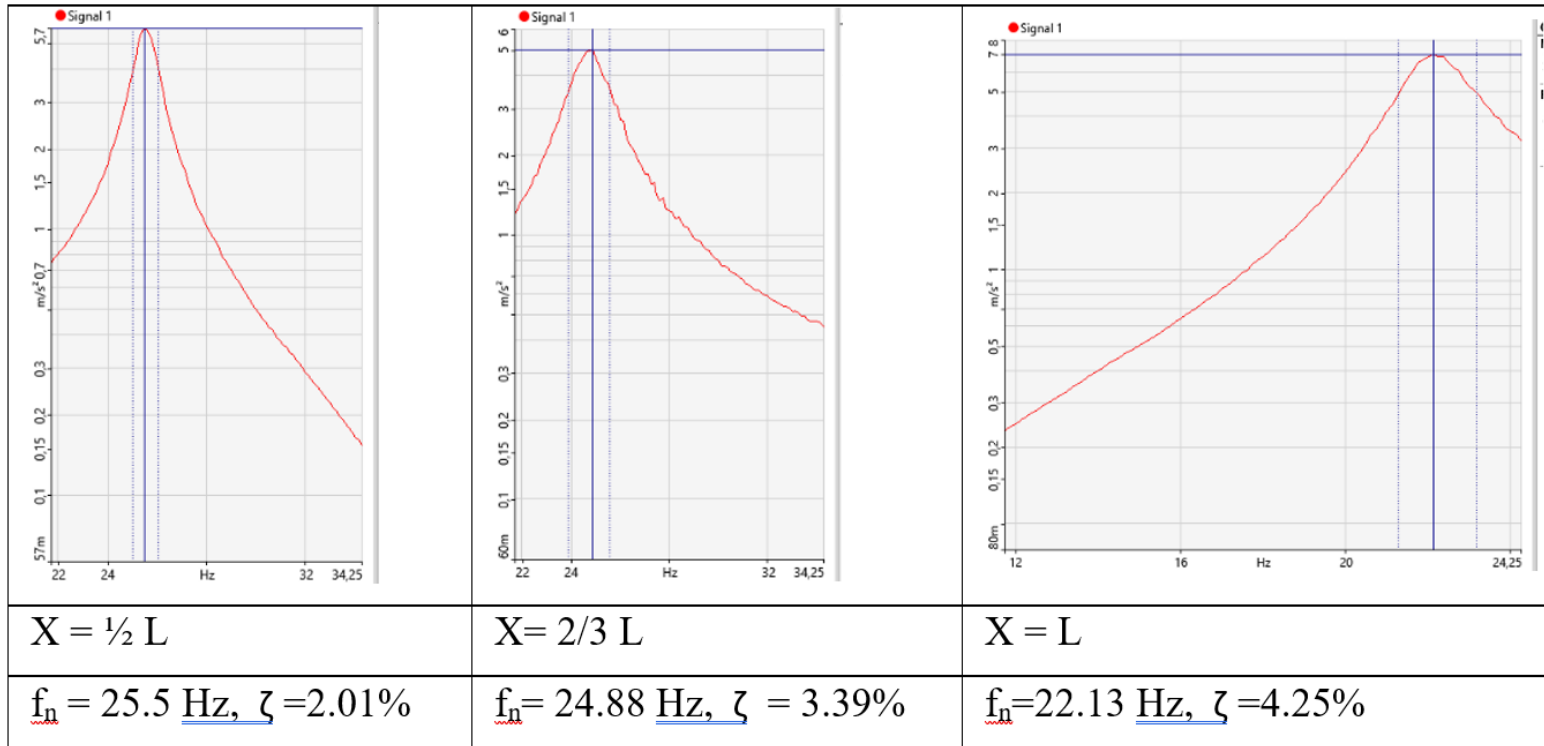


Tipo de excitación: Conclusión

- **Periodic Random** excitation is selected, using a mean of **10 repetitions**



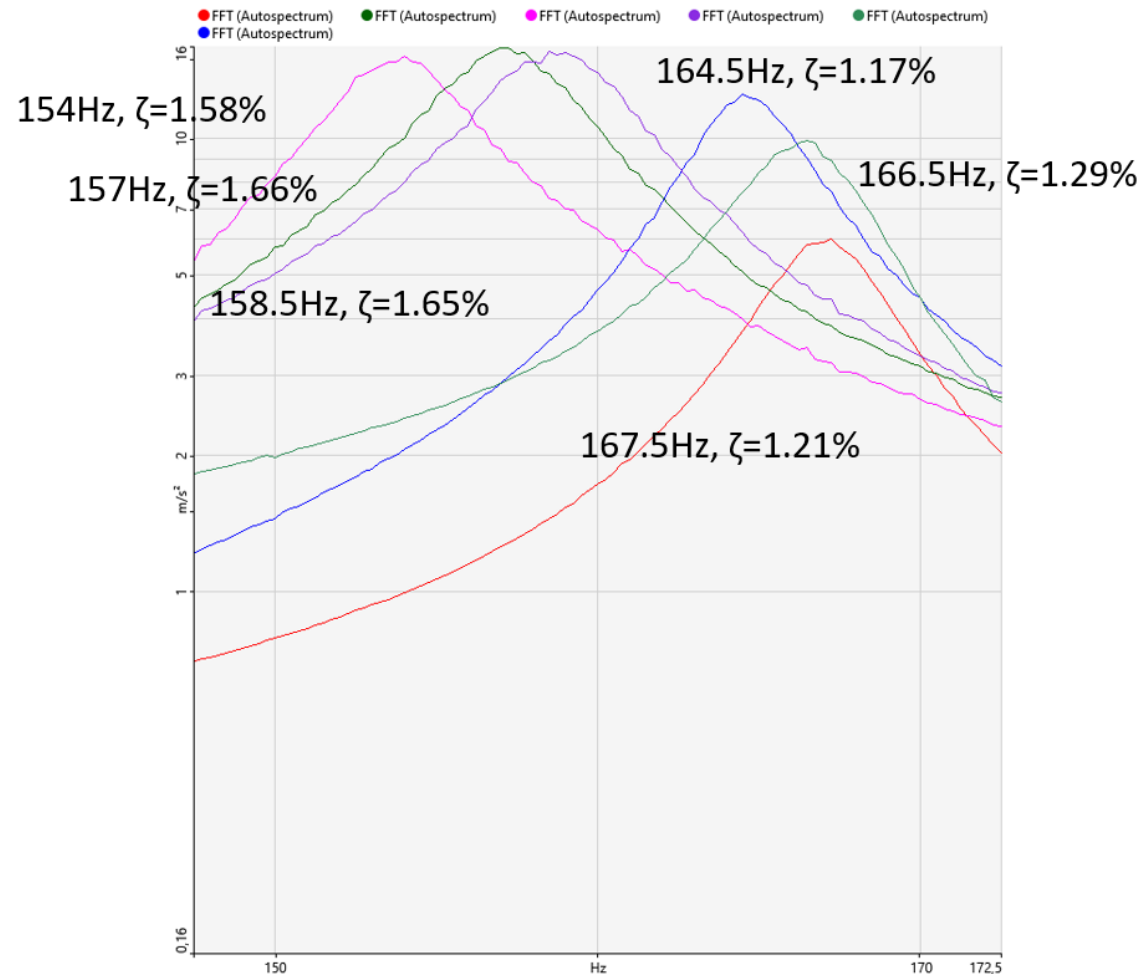
Position of accelerometer: first mode



- Conclusión obvia: frecuencia fundamental disminuye ligeramente (efecto de la masa)
- Conclusión (no tan obvia): **factor de amortiguamiento aumenta**
- **Posible efecto del soporte**



Posición del acelerómetro: segundo modo (y posteriores)

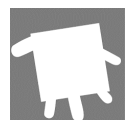


- In higher modes the effect on the damping factor is not as relevant
- **We keep accelerometer close to the tip**



Masa del acelerómetro

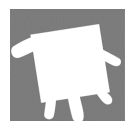
- Se toma la probeta más pesada y se realiza la medida con el acelerómetro de mayor masa (4508-1, 4.8 g)
- Conclusión obvia: frecuencia fundamental disminuye $f = \alpha \sqrt{\frac{k}{m}}$
- Conclusión no tan obvia: factor de amortiguamiento también disminuye



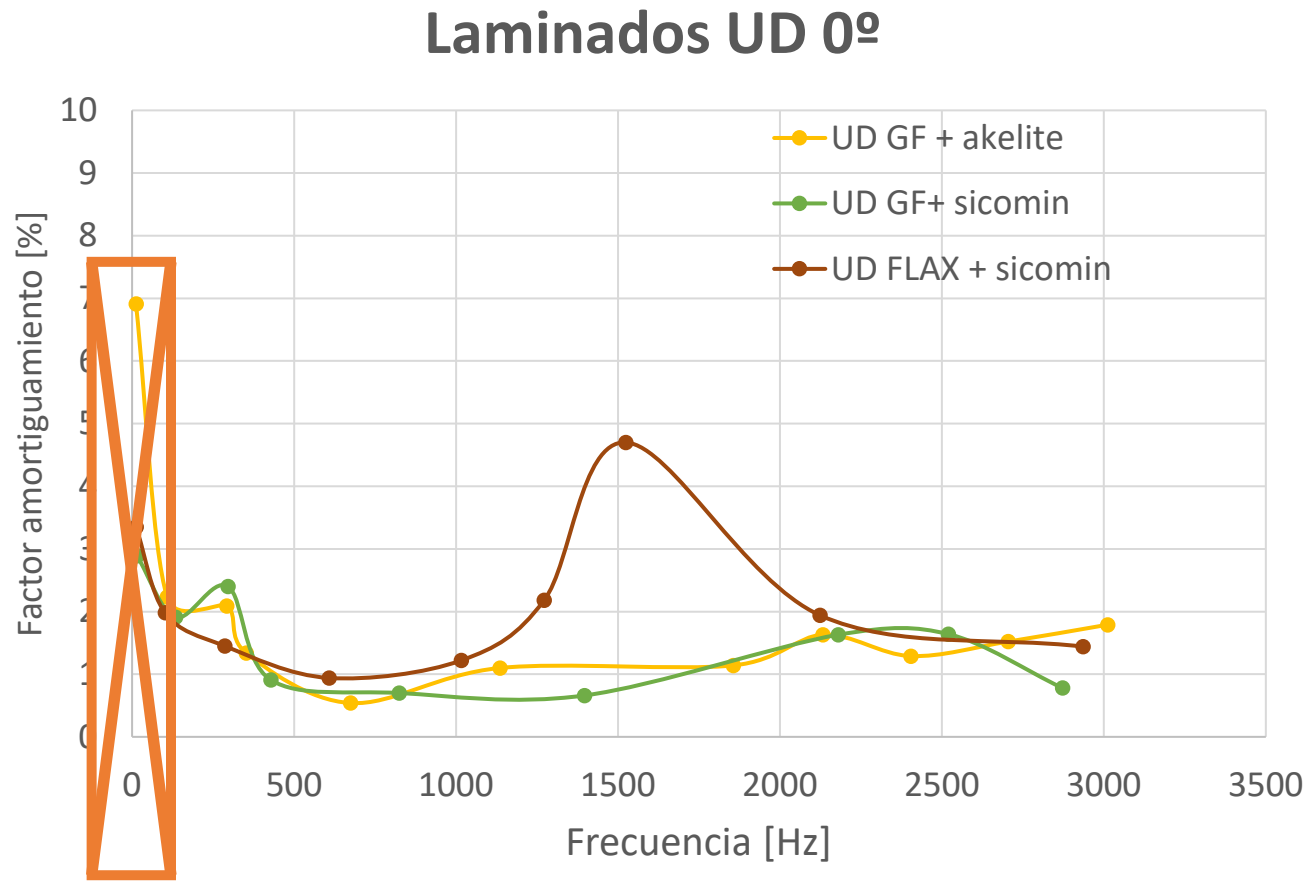


Resultados experimentales

(provisionales)



Resultados factor amortiguamiento

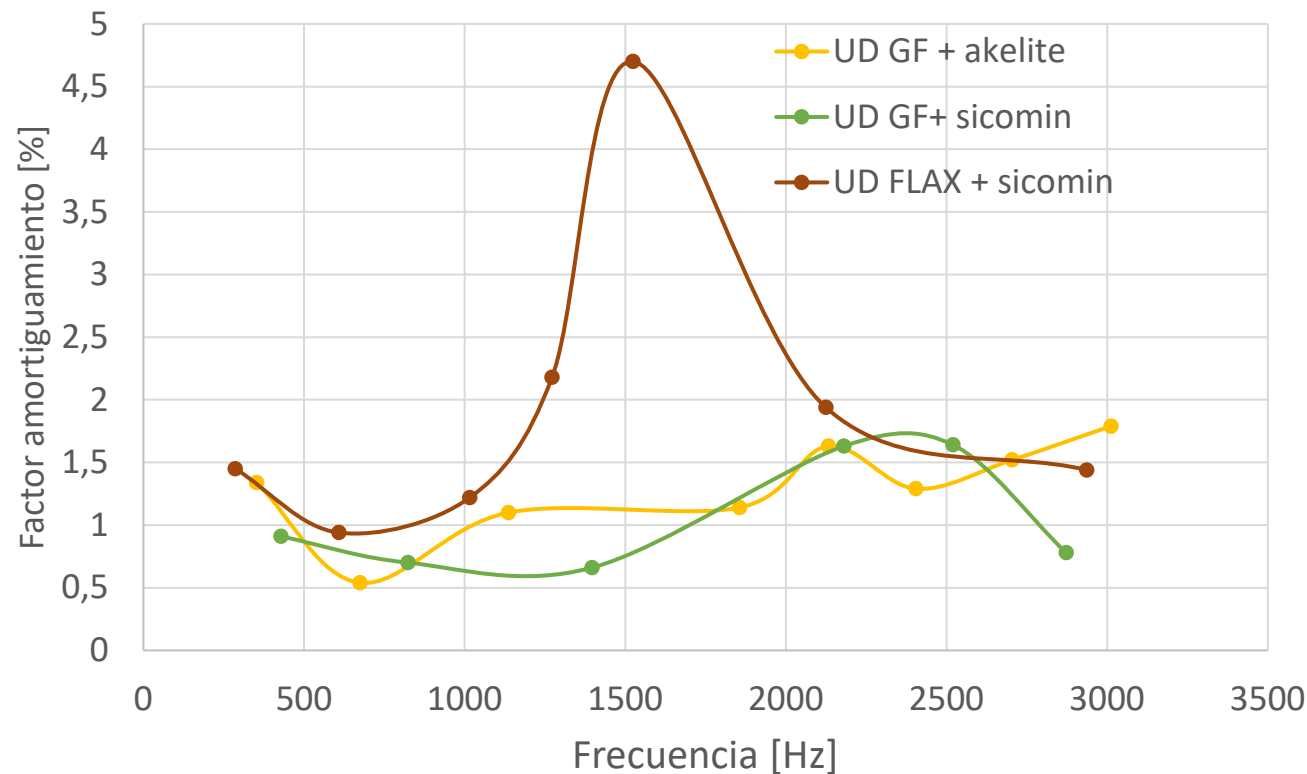


- Para frecuencias bajas se obtienen valores sospechosamente altos
- Se descartan provisionalmente



Resultados factor amortiguamiento

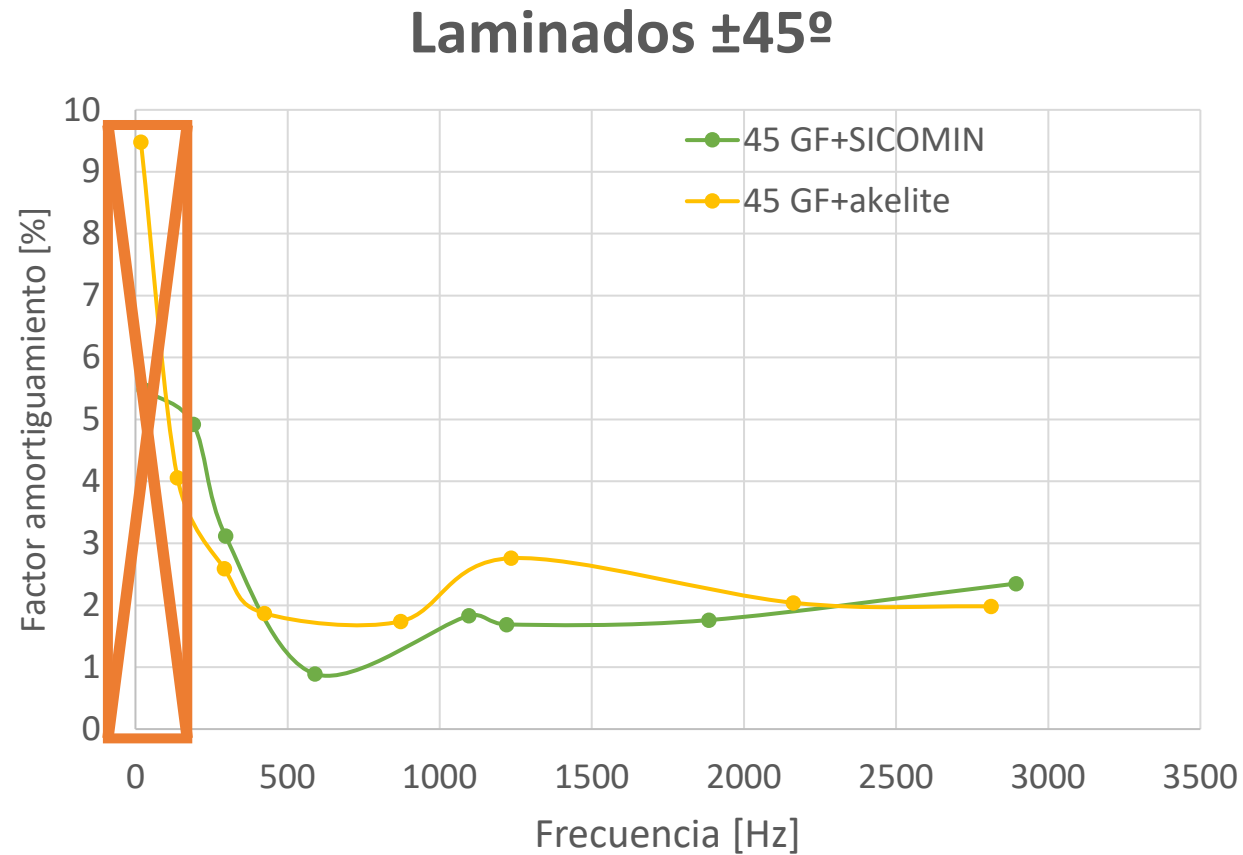
Laminados UD 0°



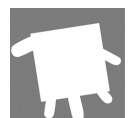
- El laminado UD Flax presenta pico en el rango 1000-2200 Hz
- Posiblemente debido a masa del especimen muy pequeña (1/10)
- Los laminados de fibra de vidrio presentan tendencias similares que no permiten analizar el efecto de la resina de forma clara



Resultados factor amortiguamiento

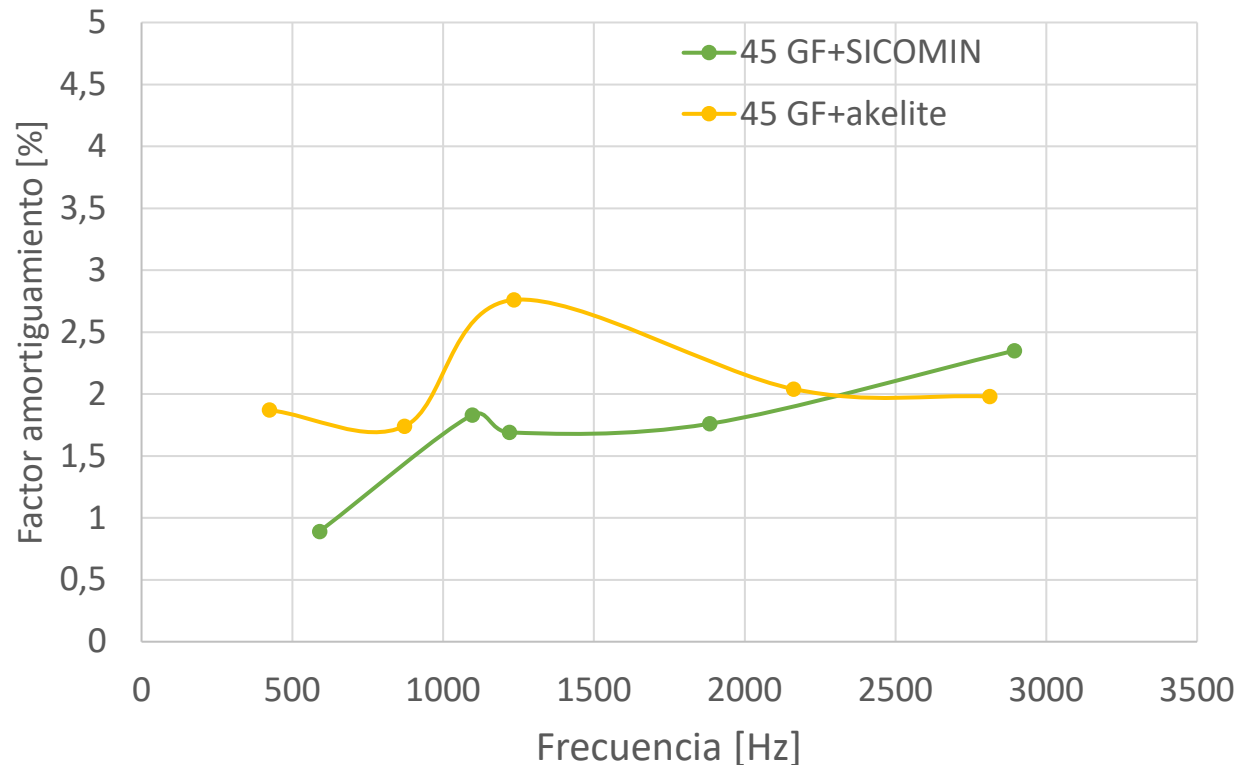


- Para frecuencias bajas se obtienen valores sospechosamente altos
- Se descartan provisionalmente



Resultados factor amortiguamiento

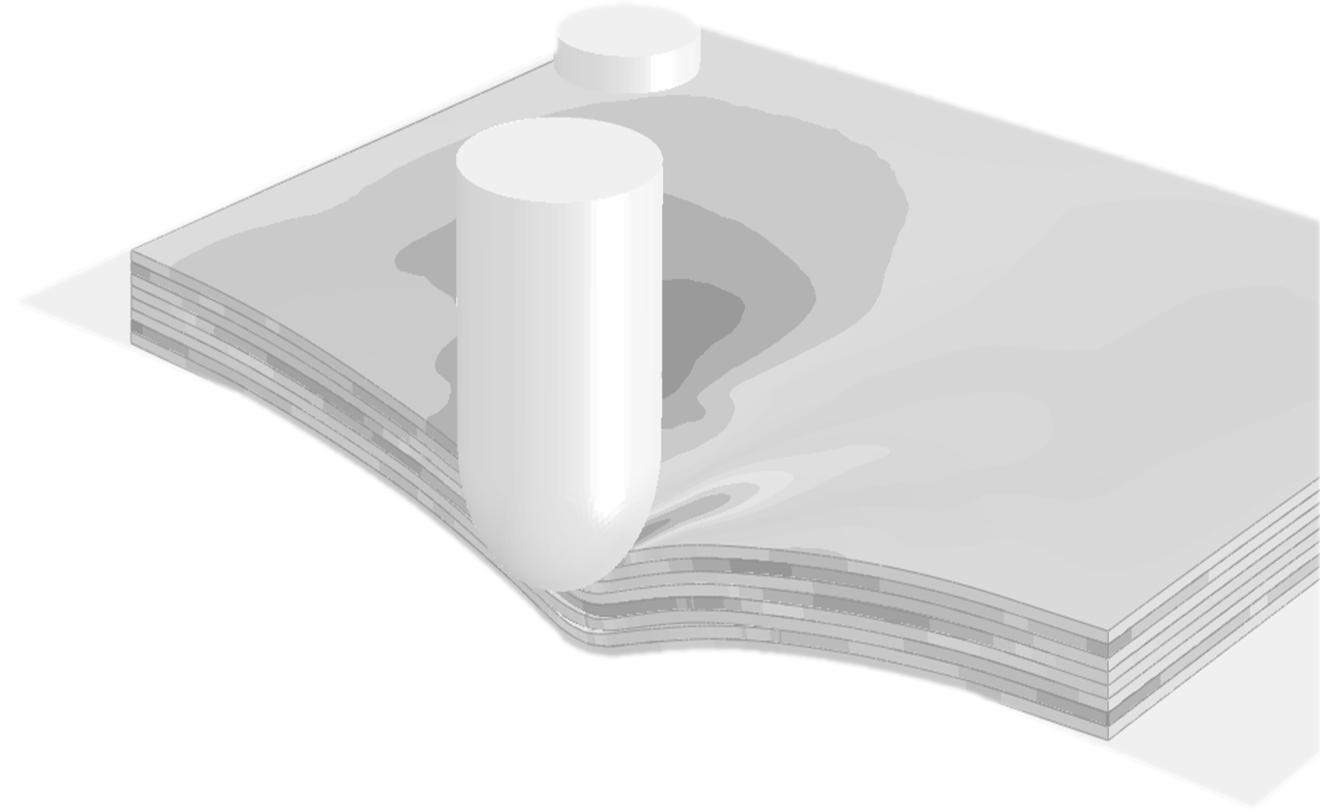
Laminados $\pm 45^\circ$



- Los laminados a 45° un mayor factor de Sicomin y Akelite amortiguamiento que los respectivos UD a 0° .
- En este caso el laminado con la resina termoplástica presenta un mayor factor de amortiguamiento en la mayor parte del rango de frecuencias explorado



Conclusiones



Conclusiones

- Puesta a punto de la técnica experimental.
 - Excitación: Random Periodic
 - Media Exponencial de 10 repeticiones
 - Posición del acelerómetro cercana al extremo
- Primeras medidas del factor de amortiguamiento.
 - Laminados UD 0°
 - Laminados $\pm 45^\circ$
- Valores *sospechosos* en frecuencias bajas → efecto del soporte (?)

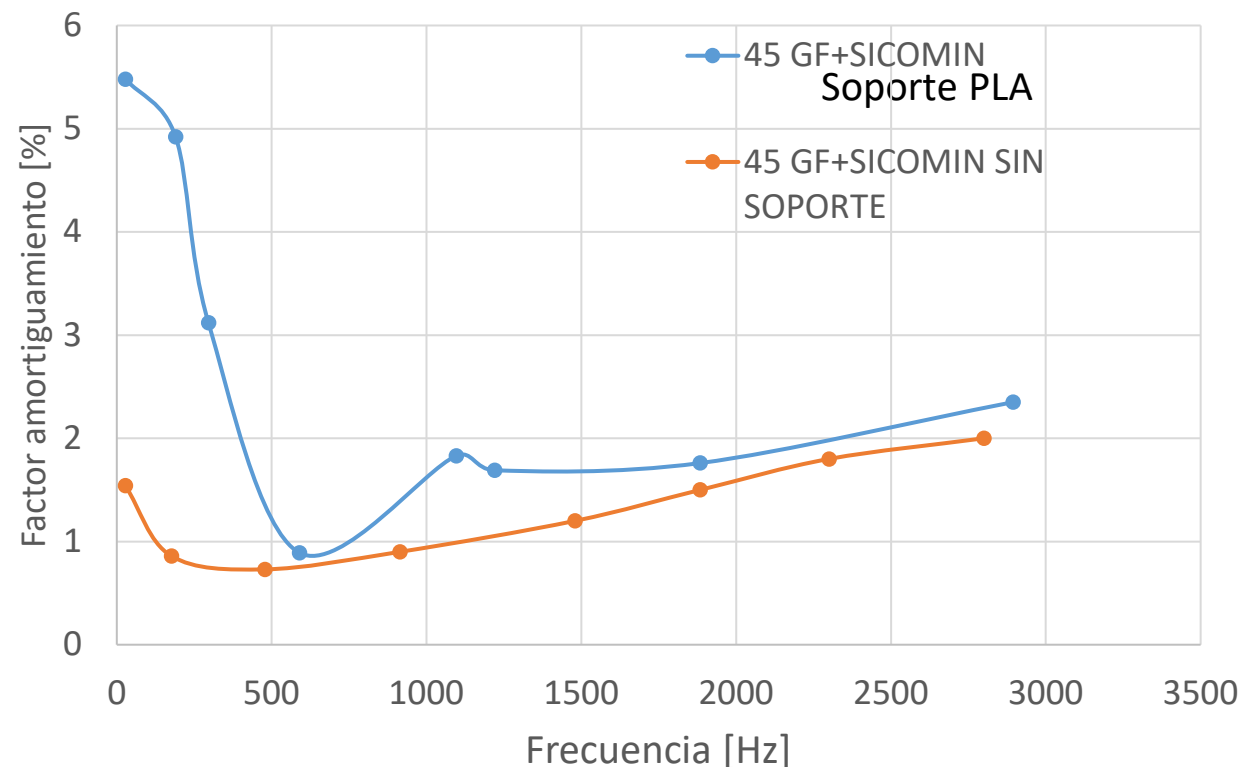
Epílogo

- Se ha estado usando soporte de PLA (impresión 3D)
- Se verificó que el soporte no modificaba la frecuencia fundamental, comparando con valores analíticos y FEM.
- En los ensayos se obtienen valores anómalos del factor de amortiguamiento, en especial para frecuencias bajas
- Prueba con soporte metálico (improvisado)

Epílogo

- Resultados con nuevo soporte (improvisado)

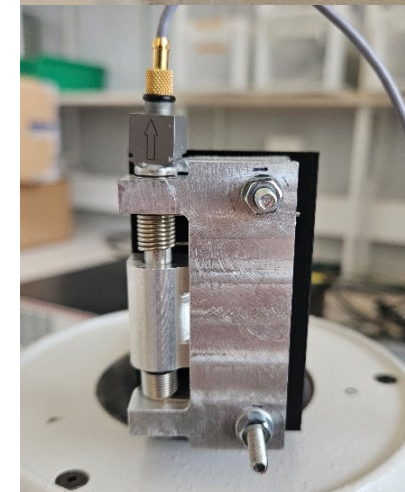
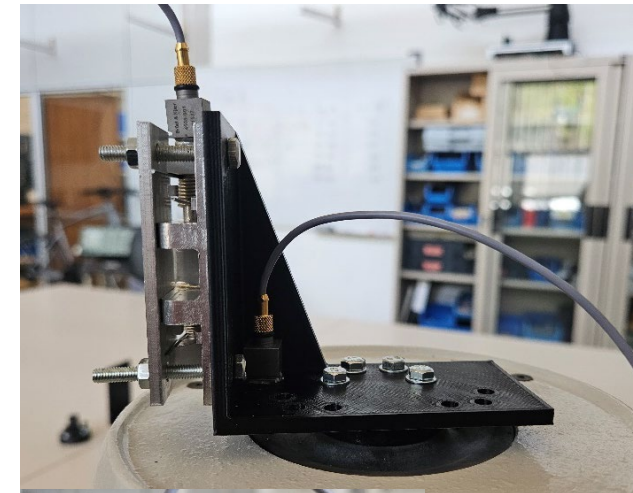
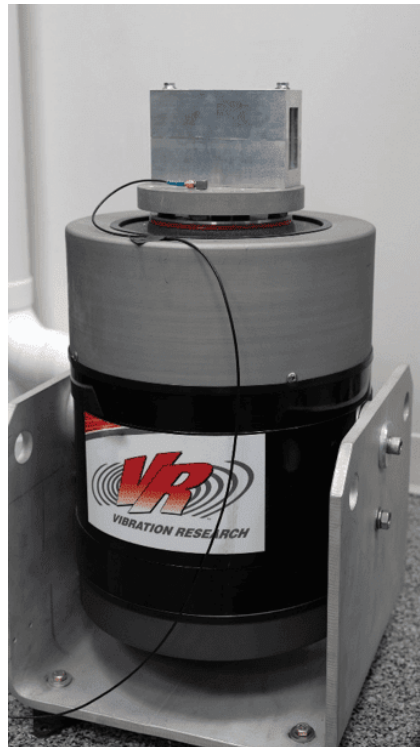
Laminados $\pm 45^\circ$



- Valores más próximos a los reportados en la literatura
- Menor dependencia de la frecuencia
- Próximo rediseño del soporte y repetición de ensayos

Appendix: Other uses of the shaker system

- Test components for satellite launch



TFG Pau Villareal
(GEM) @ COMPOXI

Appendix: Other uses of the shaker system

- Random fatigue testing → Possible Collaboration with BTechC

Thanks !

dani.trias@udg.edu

<http://amade.udg.edu>

