

Evaluación no-destruktiva de materiales compuestos

Lourdes Jalón Ramírez

Nicolas Bochud

Máster en Ingeniería de Estructuras

Prof. G. Rus Carlborg

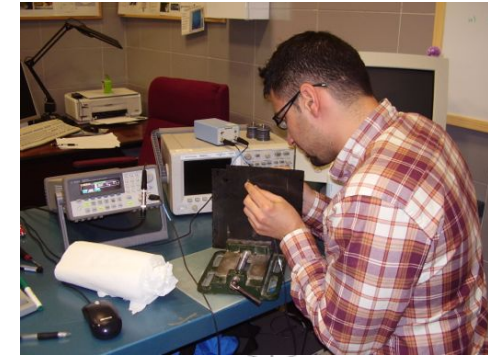
Evaluación no-destruktiva

Índice

- Introducción
 - Motivación
 - Objetivo
- Metodología
 - Procedimiento experimental
 - Ensayo (impacto, especímenes)
 - Medición (configuración, registración)
 - Modelo numérico
 - Problema inverso
- Resultados
- Conclusión y futuros desarrollos

Introducción

- Motivación
 - Materiales compuestos
 - Definición
 - Ventajas
 - Inconvenientes
 - END → Caracterización del material



- Objetivo

Encontrar los parámetros de daño por impacto en materiales compuestos usando un algoritmo que minimice la discrepancia entre las señales ultrasónicas experimentales y las numéricas.

Procedimiento experimental

a) Carga de impacto



| ESPÉCIMEN A | | | |
|-------------|--|--|--|
| NIVEL DAÑO | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

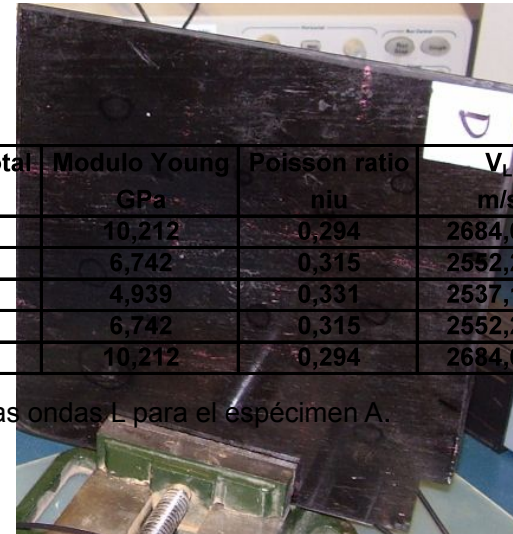
Procedimiento experimental

b) Espécimen ensayado

- 3 placas distintas de polímeros reforzados con fibra de carbono (especímenes A, C, D)
- Espécimen A: laminado simétrico formado por cinco capas o láminas

| Capa | Espesor mm | Angulo grados | Volumen total mm ³ | Peso total mg | Densidad total mg/mm ³ | Modulo Young GPa | Poisson ratio nu | V _L m/s |
|------|---------------|------------------|----------------------------------|------------------|--------------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|
| 1 | 0,255 | 90 | 29,563 | 55,424 | 1,875 | 10,212 | 0,294 | 2684,649 |
| 2 | 0,185 | 45 | 21,448 | 31,237 | 1,456 | 6,742 | 0,315 | 2552,272 |
| 3 | 0,77 | -45 | 89,270 | 101,778 | 1,140 | 4,939 | 0,331 | 2537,100 |
| 4 | 0,185 | 45 | 21,448 | 31,237 | 1,456 | 6,742 | 0,315 | 2552,272 |
| 5 | 0,255 | 90 | 29,563 | 55,424 | 1,875 | 10,212 | 0,294 | 2684,649 |

Propiedades mecánicas y velocidad de propagación de las ondas L para el espécimen A.



Procedimiento experimental

c) Medición

- Generador de pulsos eléctricos

- Transductores ultrasónicos

- Gel acoplante

- Tarjeta de adquisición u

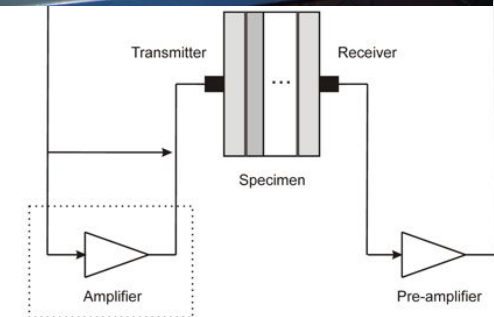
| | | |
|---|-------------------------------|--------------------|
| Generador de ondas | Frecuencia | 5 MHz |
| | Voltaje | 5 V (1V en vacío) |
| | Período de emisión de señales | 1 ms |
| Tarjeta de adquisición (u osciloscopio) | Número de muestras | 2000 |
| | Frecuencia de muestreo | 200 MHz |
| | Disparo del Trigger | 0.1 μ s |

- Osciloscopio

- Amplificador y pre-amplificador

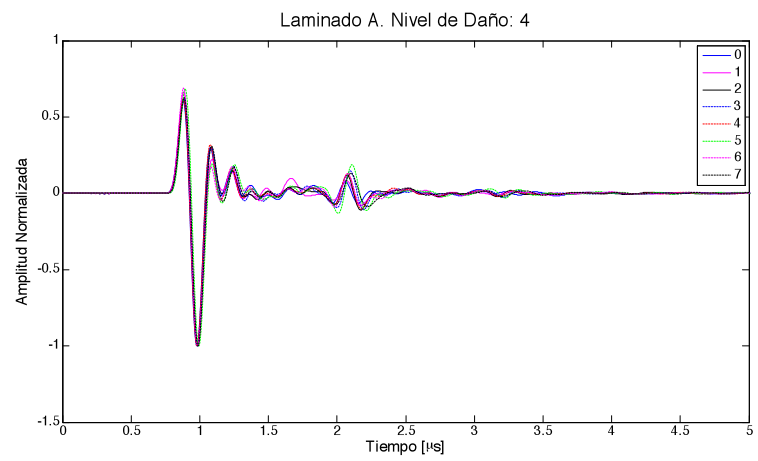
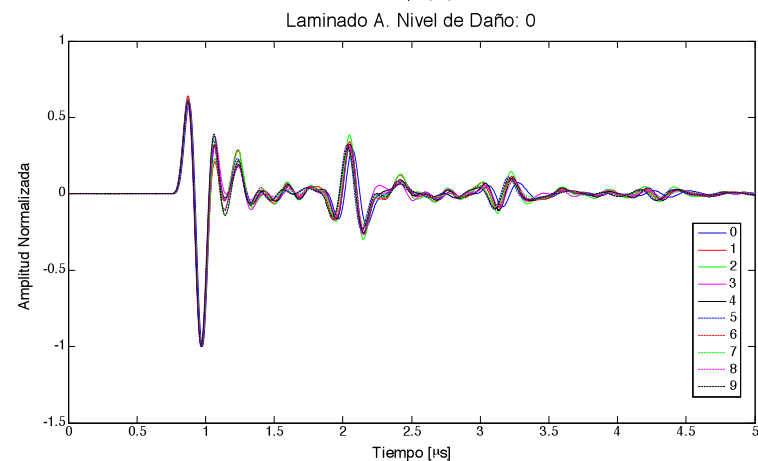
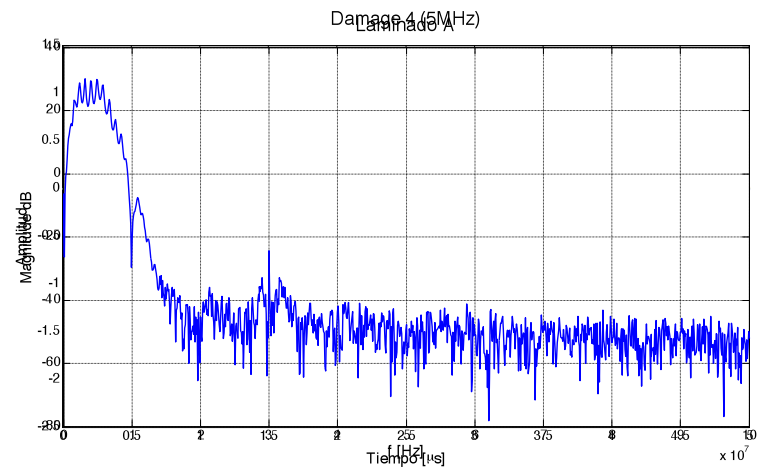
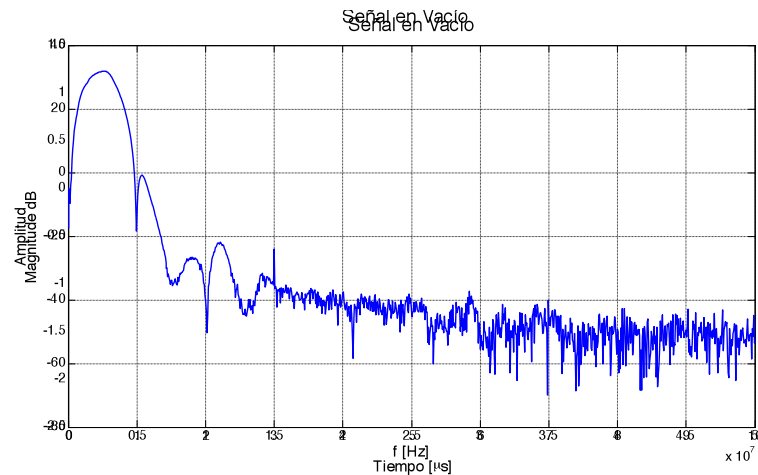
Configuración de los dispositivos

- Ordenador



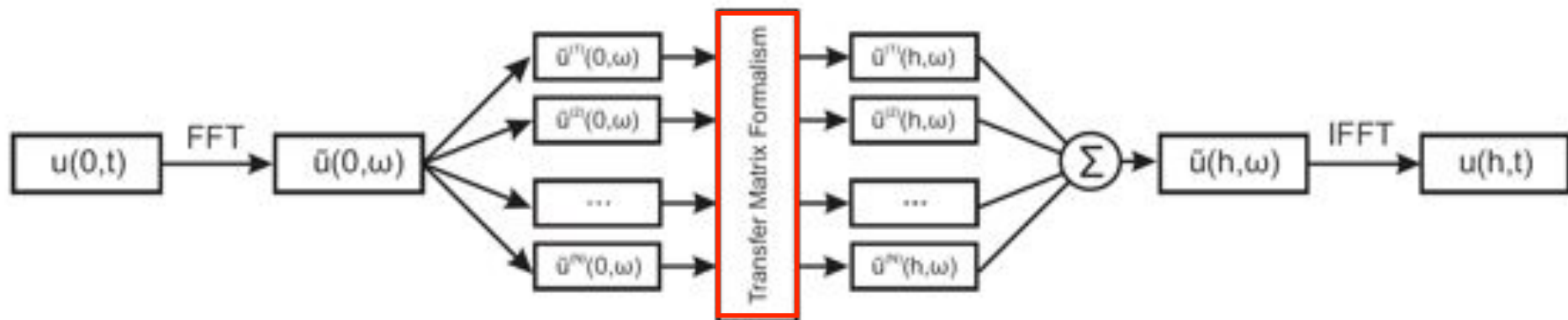
Señales registradas

- Dominio del tiempo y frecuencia



Modelo numérico (I)

- Basado en la propagación unidimensional de ondas P en materiales lineal-elásticos
- Esquema de la implementación



Modelo numérico (II)

- Formalismo de la matriz de transferencia
 - En cada capa:

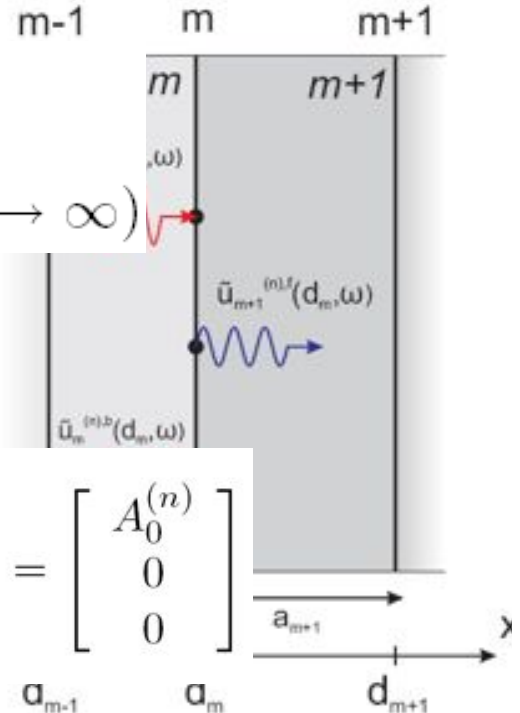
$$\tilde{u}_m^{(n)}(x, \omega) = \tilde{u}_m^{(n),f}(x, \omega) + \tilde{u}_m^{(n),b}(x, \omega) = A_m^{(n)} \cdot e^{-ink_m x} + B_m^{(n)} \cdot e^{ink_m x}$$

Condiciones de transferencia

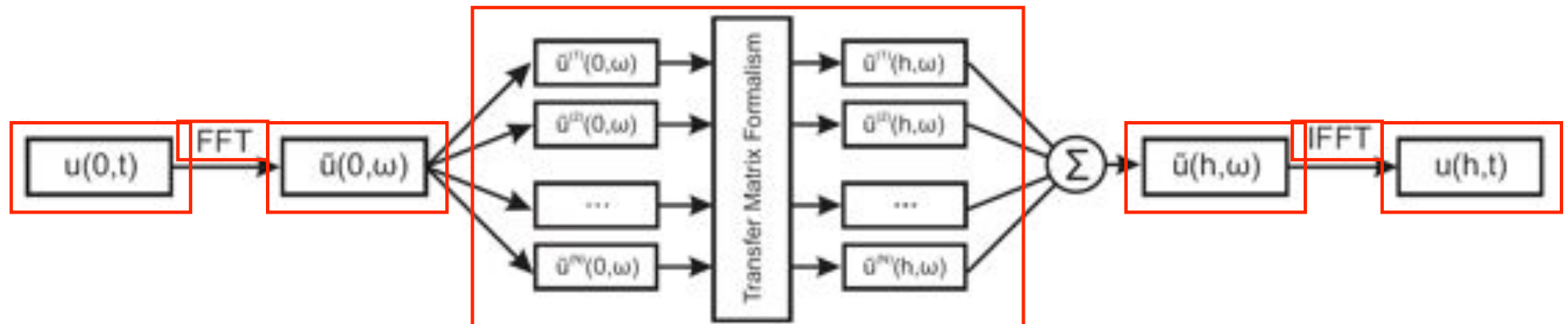
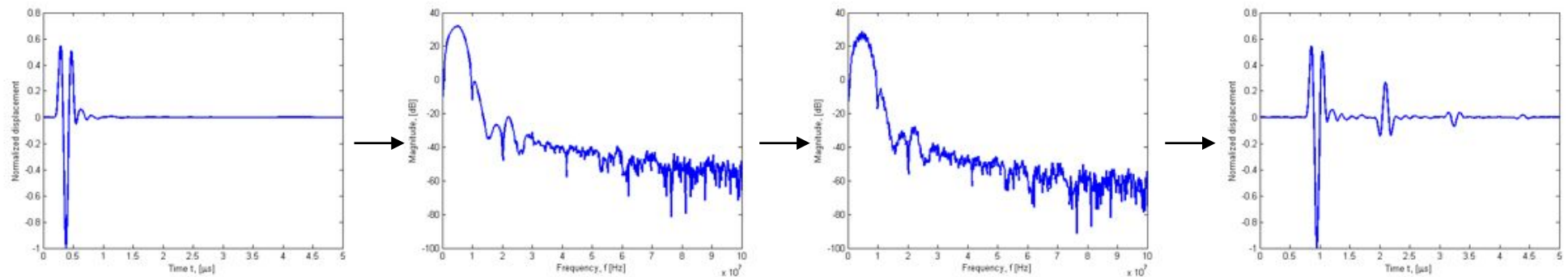
$$\tilde{u}_1^{(n)}(0, \omega) = \tilde{u}_1^{(n),f}(0, \omega) + \tilde{u}_1^{(n),b}(0, \omega) = A_0^{(n)}$$

$$\tilde{u}_D^{(n),b}(h, \omega) = 0 \text{ (no reflection occurs at } h < z \rightarrow \infty)$$

$$\text{for } x = d_m: \begin{cases} \tilde{u}_m^{(n),f}(d_m, \omega) = \tilde{u}_{m+1}^{(n),f}(d_m, \omega) \\ \tilde{\sigma}_m^{(n)}(d_m, \omega) = \tilde{\sigma}_{m+1}^{(n)}(d_m, \omega) \end{cases}$$

$$\begin{pmatrix} \tilde{u} \\ \tilde{\sigma} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ T_{1,1}^{(n)}(k_D, a_D, Z_D) & T_{1,2}^{(n)}(k_D, a_D, Z_D) & -e^{-ink_D h} \\ T_{2,1}^{(n)}(k_D, a_D, Z_D) & T_{1,1}^{(n)}(k_D, a_D, Z_N) & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A_1^{(n)} \\ B_1^{(n)} \\ A_D^{(n)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_0^{(n)} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$


Modelo numérico (III)

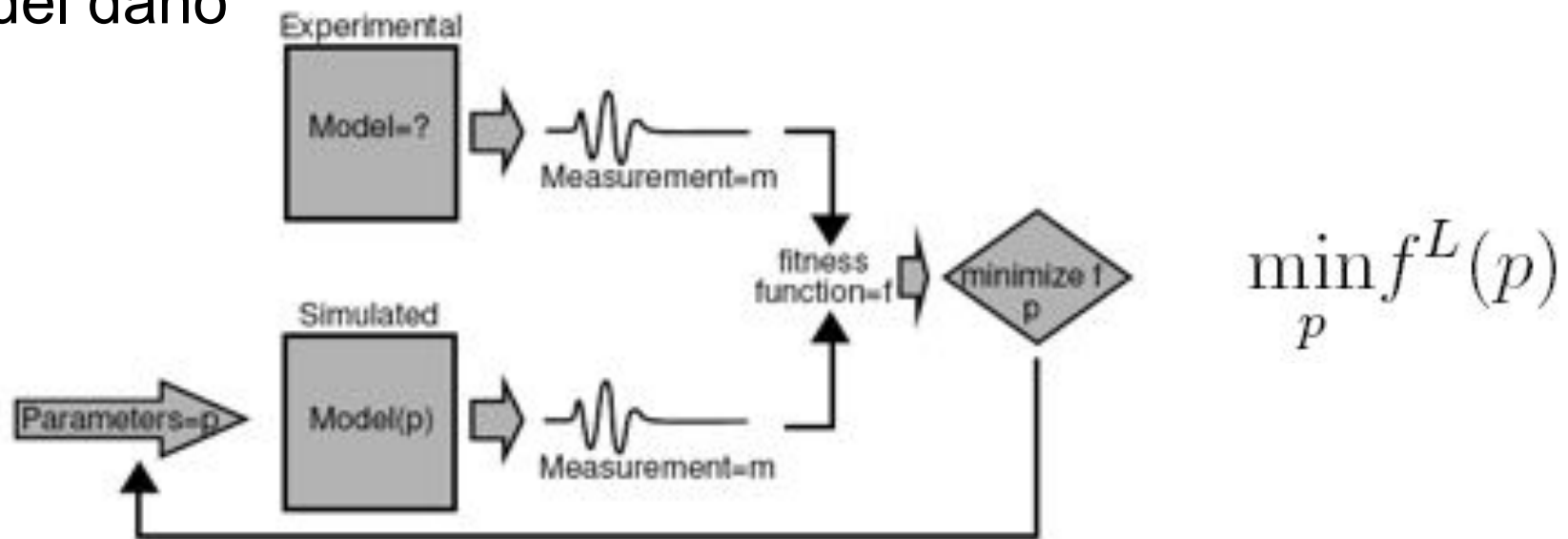


Problema Inverso (I)

- Definición del residuo y de la función de coste:

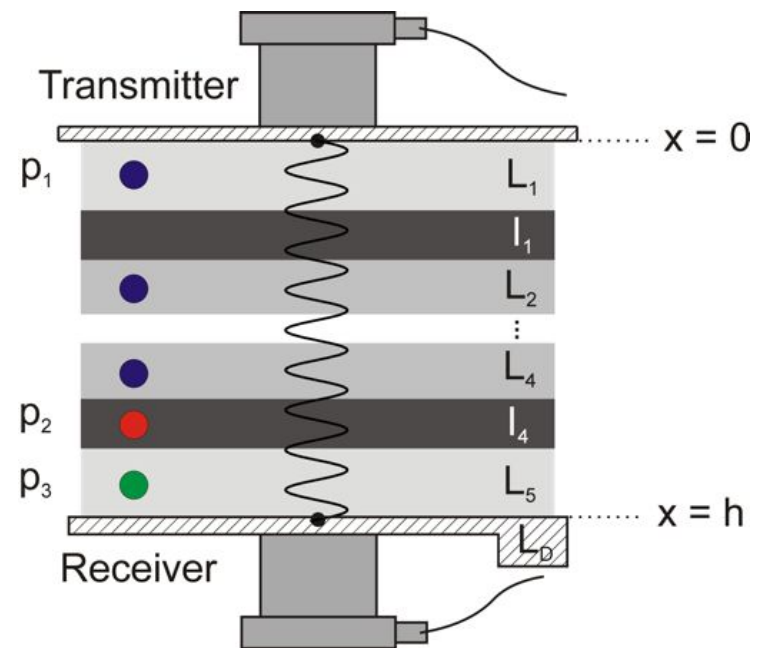
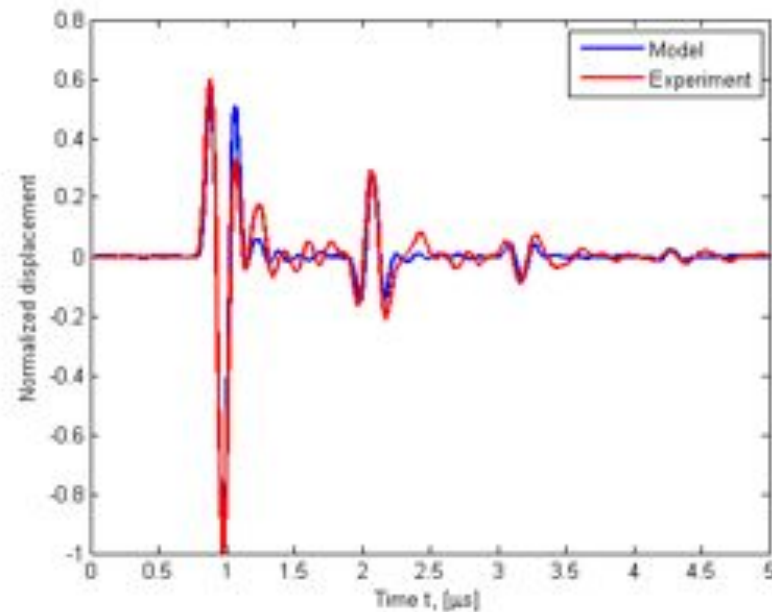
$$r = (\Phi^x - \Phi) \qquad f = \frac{1}{2} \int_0^T |r(t)|^2 dt$$

- Minimizar la discrepancia entre las señales experimentales y numéricas, de forma a caracterizar la evolución del daño

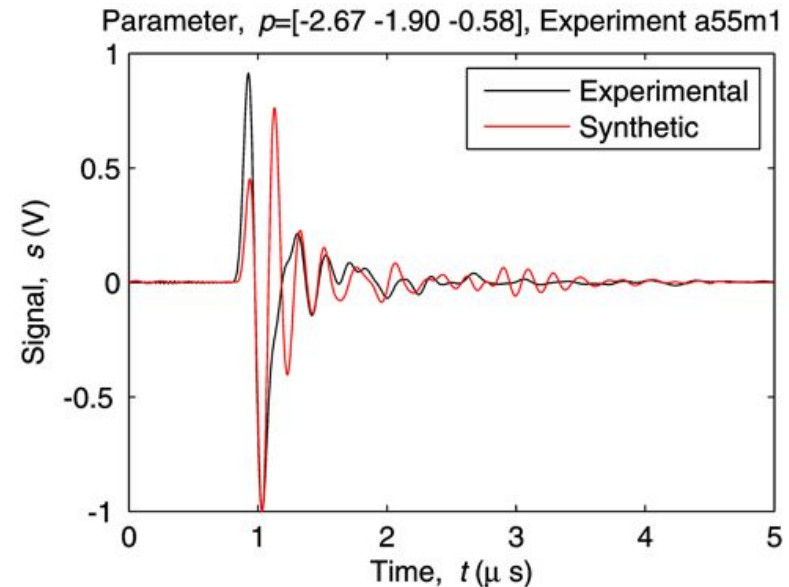
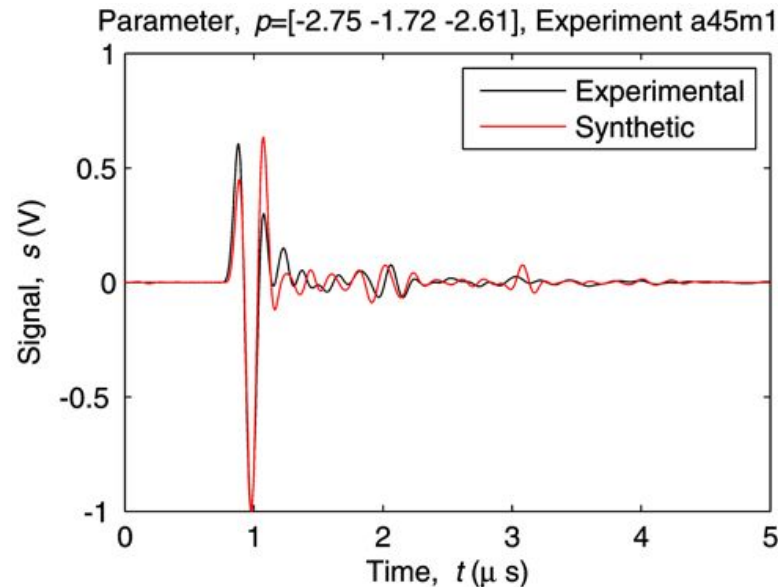
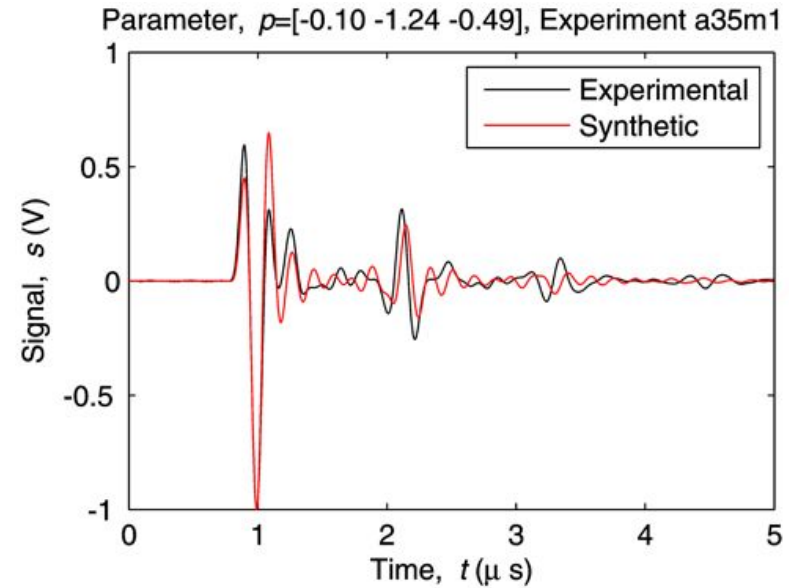
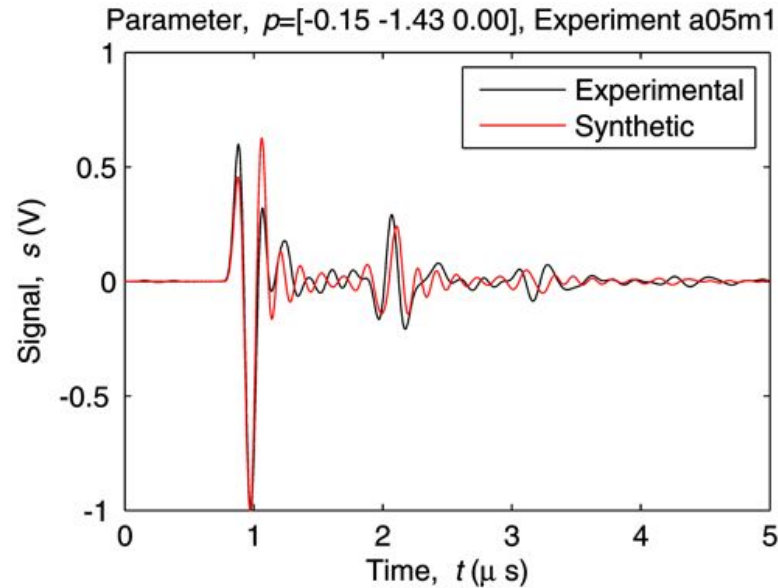


Problema Inverso (II)

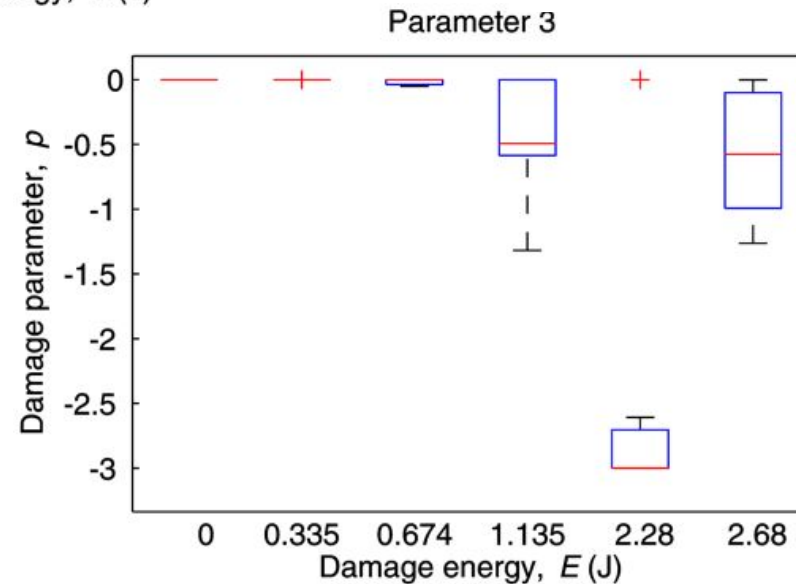
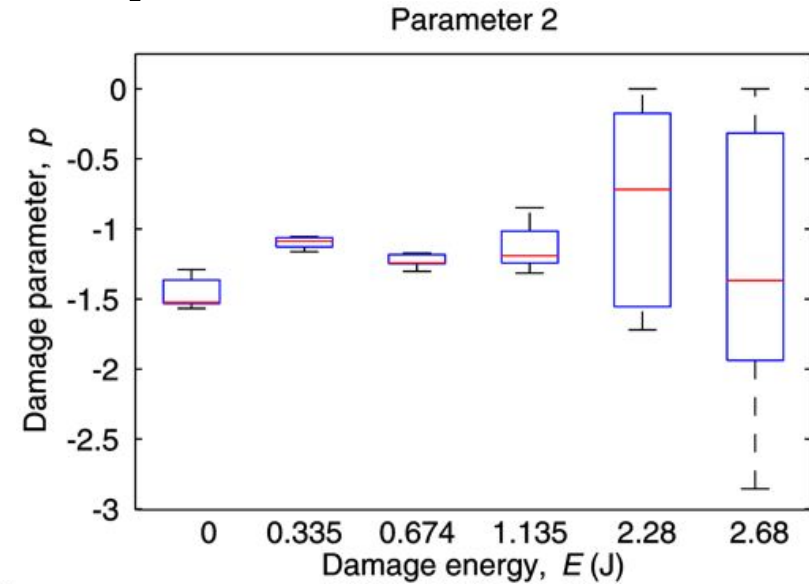
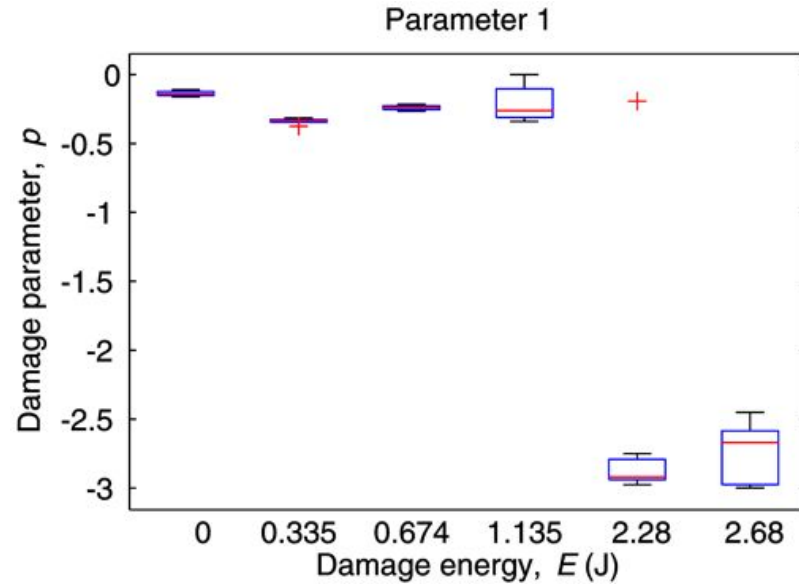
- Calibración y sincronización previa
- Selección de los parámetros, cuyos valores permita caracterizar el daño



Resultados del PI

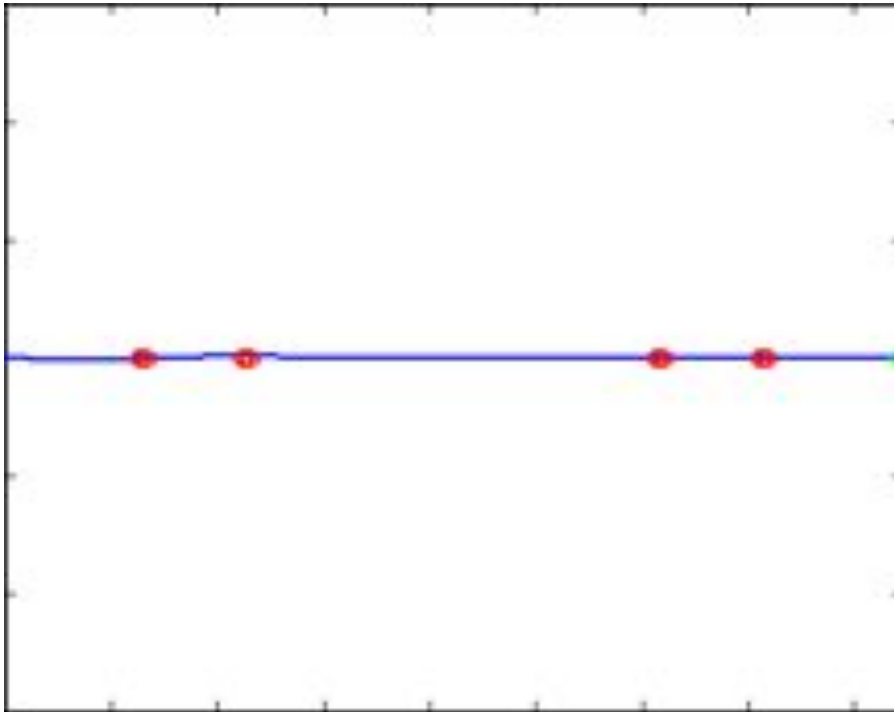


Evolución de los parámetros

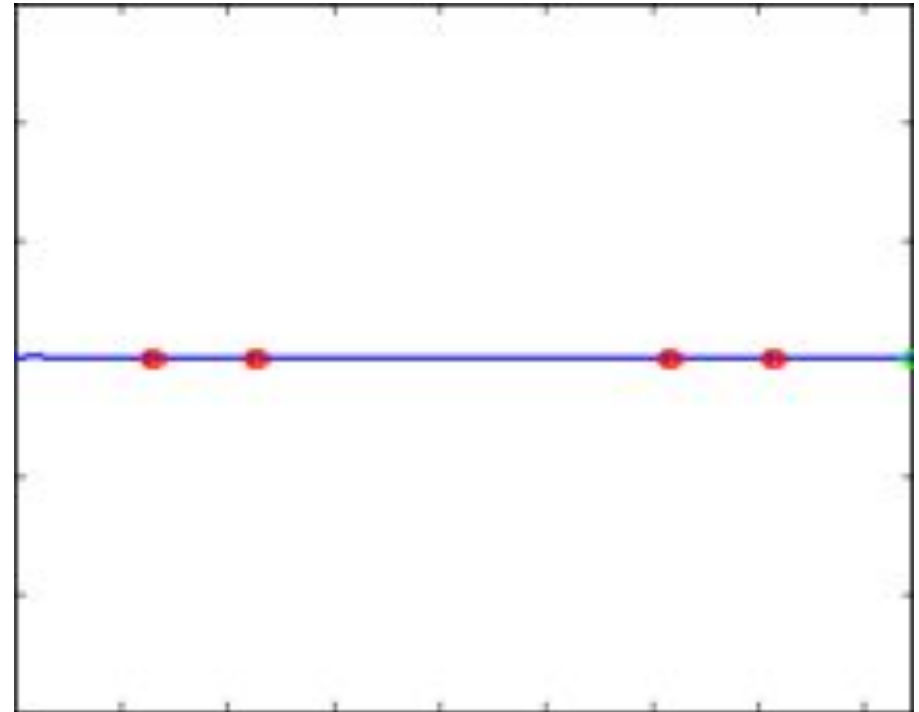


Animaciones

- Evolución de una onda P al propagarse a través del material



- Sin daño



- Con daño

Conclusión y futuros desarrollos

- El dispositivo experimental permite:
 - Obtener mediciones consistentes cuanto a la evolución del daño
 - Buena repetibilidad de las mediciones
- El problema inverso permite:
 - Determinar cuales parámetros físicos varían frente al daño y cuantificarlos
- Futuros desarrollos
 - Definición alternativa de la función de coste
 - Aplicar el PI en dominios distintos (espectro, cepstrum, deconvolución, ...)
 - Ensayo por fatiga