

Bienvenid@s

WEBINAR



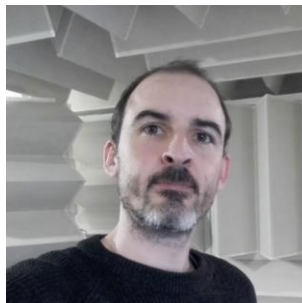


#WebinarsAEMAC

ikerlan

MEMBER OF BASQUE RESEARCH
& TECHNOLOGY ALLIANCE

AEMAC
ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS



D. MARCOS AGUIRRE SARMANTON
Tecnologías de control, monitorización y O & M
www.ikerlan.es

Idoneidad de la tecnología de emisiones acústicas para testar materiales compuestos



1. Introducción a EA
2. Identificación de daño
3. Localización de daño
4. Análisis de transitorios (TR)
5. EA para fatiga
6. Conclusiones

1.

Introducción a EA

ikerlan

MEMBER OF BASQUE RESEARCH
& TECHNOLOGY ALLIANCE

AEMAC
ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS

1. Introducción a EA

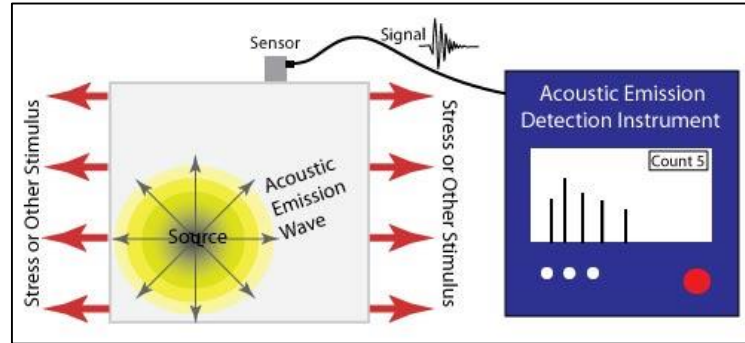
7

- Principios de EA
- Tipos de ondas
- Equipamiento
- Aplicabilidad

1. Introducción a EA

8

■ Principios de EA



- Emisiones Acústicas: generación de ondas elásticas debido a una redistribución repentina de tensiones dentro de un material.

- Las ondas son generadas cuando la estructura es solicitada por un estímulo externo (presión, fuerza, temperatura...) y se generan eventos que liberan energía y se propaga hasta la superficie.

- Esta técnica es pasiva, consiste en recoger las ondas emitidas por un defecto en el momento que se genera (al contrario de la técnica de ultrasonidos, donde se generan ondas artificiales).

1. Introducción a EA

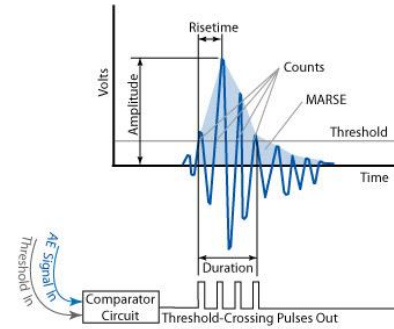
9

■ Principios de EA

Fuentes de EA:

- Terremotos o movimientos de tierra.
- Iniciación y propagación de grietas.
- Movimientos de deslizamiento y dislocación.
- Fusión (derretimiento).
- Maclaje (twinning).
- Transformaciones de fase en metales.
- Rotura de matriz, rotura de fibras, delaminación... en composites.
- Otros materiales: polímeros, maderas, hormigón...

Parámetros descriptivos de una señal de EA:

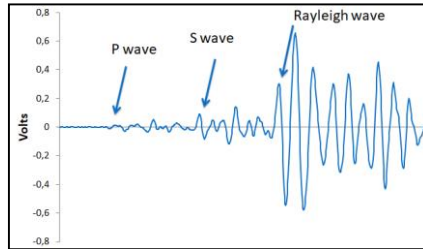


Estos parámetros se utilizarán para el post-procesado. La amplitud de las señales, su energía o su frecuencia están fuertemente relacionadas con el mecanismo de fallo.

1. Introducción a EA

10

■ Tipos de ondas



- Volumétricas
 - Longitudinales (P)
 - Transversales (S)
- Superficiales
 - Rayleigh
 - Love
 - Lamb
 - Stoneley
 - Creep
 - Scholte

Un mismo evento puede generar diferentes tipos de onda y debido a que sus velocidades son distintas, las ondas llegarán con diferentes retardos al sensor.

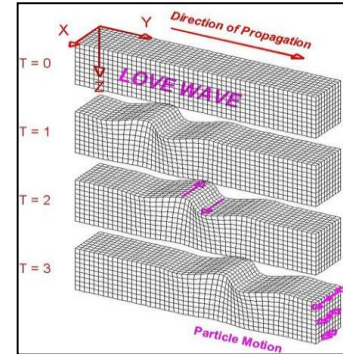
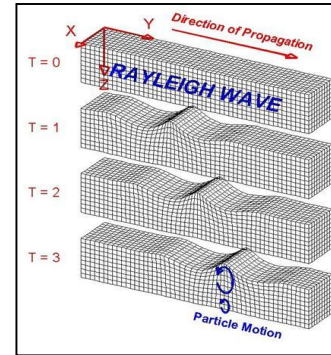
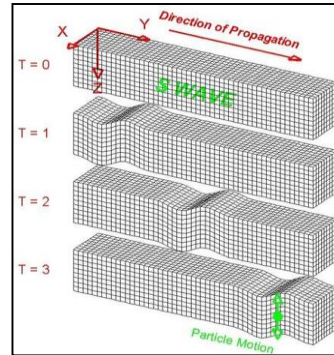
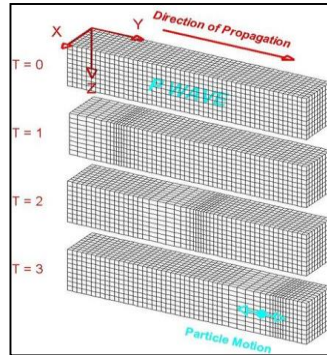
Las frecuencias más altas se atenúan antes que las frecuencias bajas, por lo que en sistemas de mayor tamaño el análisis debe centrarse en las frecuencias bajas.

1. Introducción a EA

11

■ Tipos de ondas

Ejemplos:



1. Introducción a EA

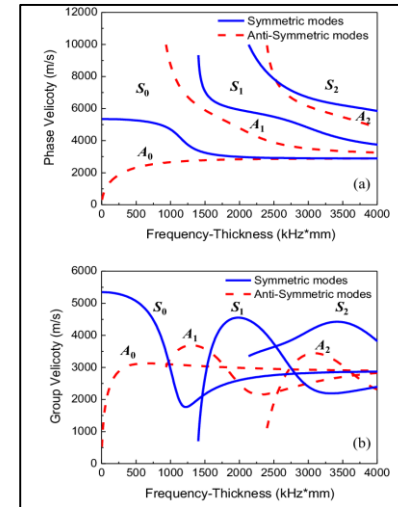
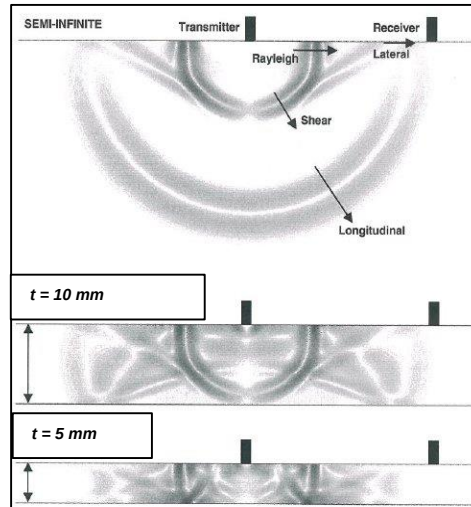
12

■ Tipos de ondas

En placas delgadas las ondas de **Lamb** predominan.

Estas ondas se componen de 2 grupos: simétricos y antisimétricos.

Cada grupo se propaga en infinitos modos de onda y además son dispersivas: la velocidad de propagación varía con la frecuencia.



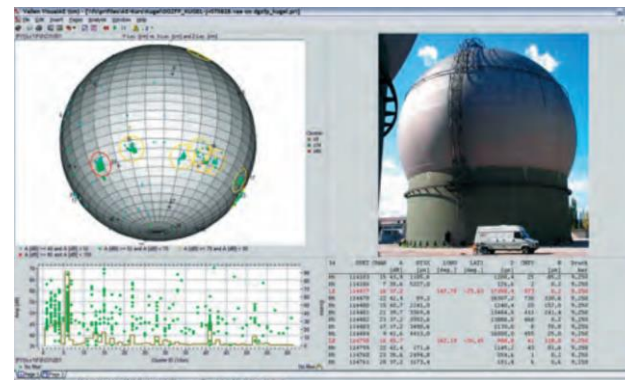
1. Introducción a EA

13

■ Equipamiento

Características principales:

- Alta frecuencia de muestreo ~ 10MHz.
- Protocolo de recogida de datos específico, basado en eventos.
- Importante el postprocesado, donde se puede tratar la información de diversas maneras.
- Configuración: se seleccionan los sensores y ajustan los canales para el rango frecuencial de interés (a frecuencias bajas se pueden recoger eventos más lejanos, con el riesgo de recibir ruido externo, a altas ocurre lo contrario).



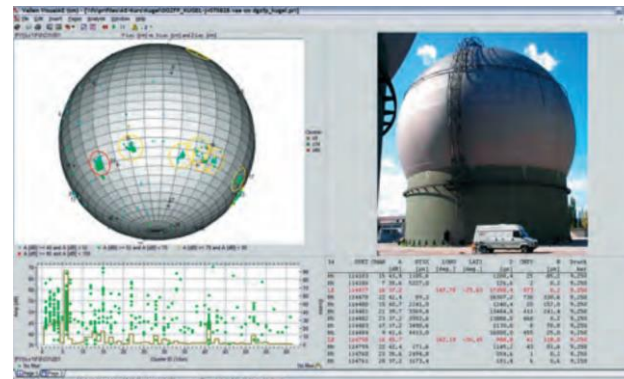
1. Introducción a EA

14

■ Equipamiento

Características principales:

- Alta frecuencia de muestreo ~ 10MHz.
- Protocolo de recogida de datos específico, basado en eventos.
- Importante el postprocesado, donde se puede tratar la información de diversas maneras.
- Configuración: se seleccionan los sensores y ajustan los canales para el rango frecuencial de interés (a frecuencias bajas se pueden recoger eventos más lejanos, con el riesgo de recibir ruido externo, a altas ocurre lo contrario).



■ Equipamiento

Test Hsu-Nielsen: rotura de minas en la superficie del material para generar eventos artificiales.

- Comprobar el correcto funcionamiento del sistema de adquisición.
- Asegurar el correcto contacto entre los sensores y la estructura.
- Identificar el tipo de ondas (velocidad) que predominan en la estructura.
- Estimar la precisión en la localización de fuentes.



2.

Identificación de daño

2. Identificación de daño

17

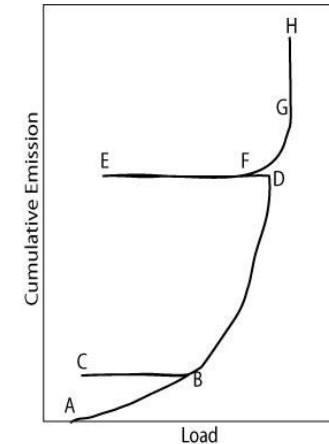
- **Criterio Kaiser/Felicity**
- **Criterio Palier**
- **Casos prácticos**

2. Identificación de daño

18

■ Criterio Kaiser/Felicity

- Se denomina efecto Kaiser a la ausencia de eventos acústicos durante la descarga y posterior carga hasta el nivel previamente alcanzado (B-C-B).
- El efecto Felicity es el comportamiento contrario. La estructura muestra actividad acústica antes de llegar a una carga previamente alcanzada (D-E-F).
- El ratio de Felicity es un indicador que muestra el daño del componente. En metales un ratio inferior a 1 indicaría daño, mientras que en composites el umbral se establece en 0,95.



2. Identificación de daño

19

■ Criterio Kaiser/Felicity



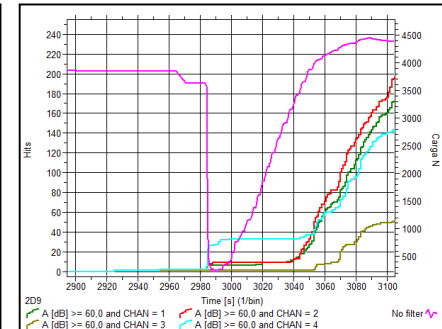
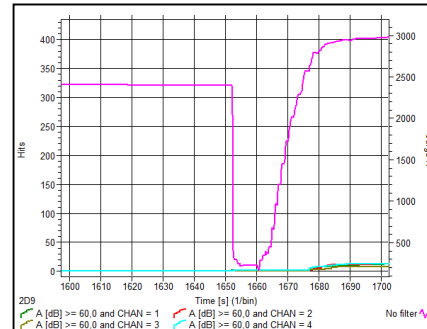
AERnova



ikerlan

MEMBER OF BASQUE RESEARCH
& TECHNOLOGY ALLIANCE

TEST-INNOVATIVE LOAD
APPLICATION & MONITORING
SYSTEMS



Tras la carga de 2500N se descarga y se carga de nuevo sin actividad significativa.

Tras 4000N sin embargo la actividad aparece antes del 95% de 4000N, lo que indica daño.

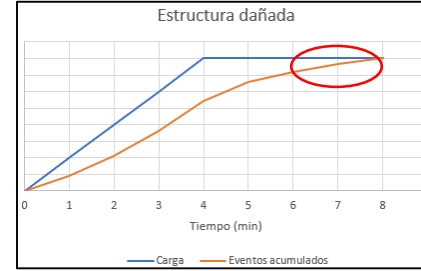
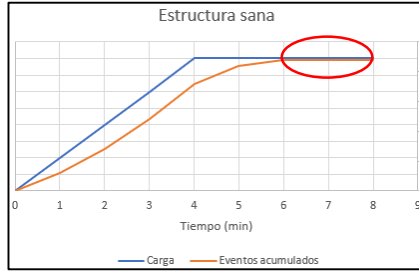
<https://cordis.europa.eu/project/id/785393/es>



2. Identificación de daño

20

■ Criterio Palier

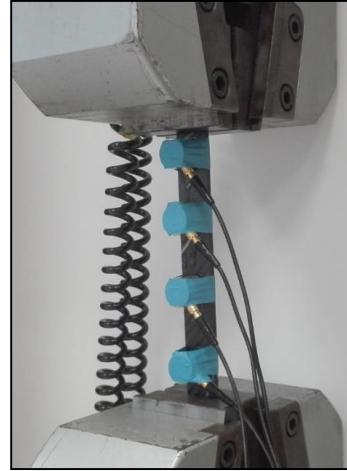
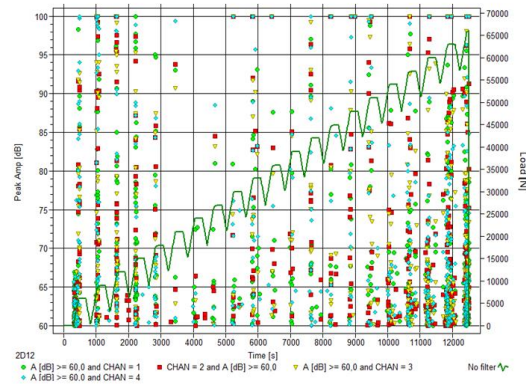


- Según el criterio de Palier una carga sostenida puede provocar nuevos eventos acústicos en un material, pero esta actividad debe desaparecer transcurridos 2 minutos.

2. Identificación de daño

21

■ Criterio Palier



Contaje de eventos (Palier)

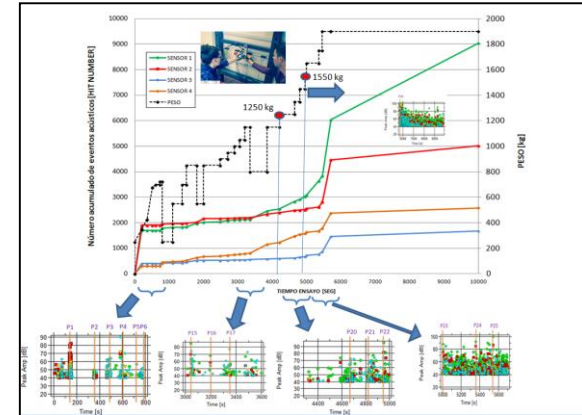
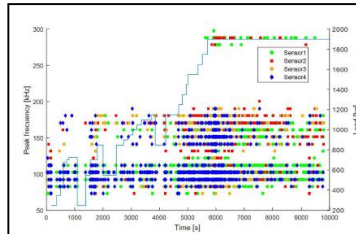
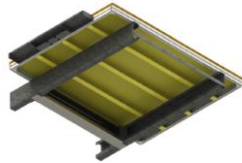
Carga	C1	C2	C3	C4
45kN	1	2	1	1
48kN	1	1	1	1
51kN	1	1	1	2
54kN	3	2	1	4
57kN	5	3	4	4
60kN	5	4	5	6
63kN	6	13	10	6

El perfil de carga se puede definir de tal forma que el contaje de eventos en cada zona indique el estado de salud de la estructura: en las mesetas (Palier) y en las recargas (Kaiser/Felicity).

2. Identificación de daño

22

■ Base de ascensor

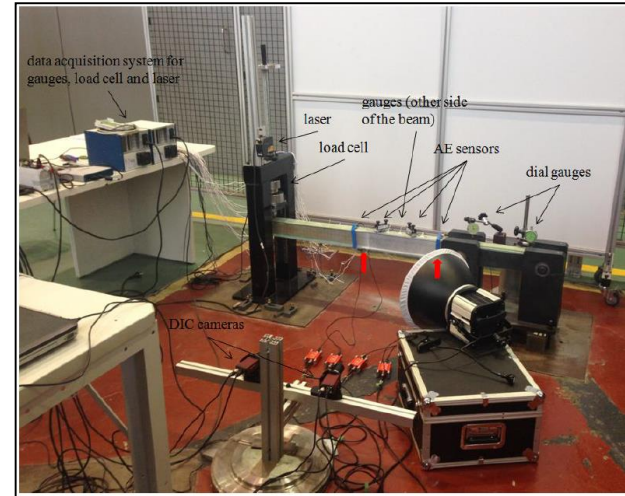
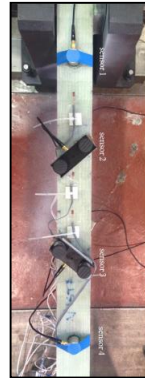
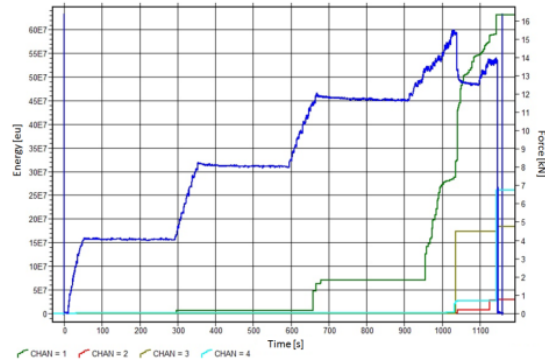


Mientras que el conteaje de eventos indica el estado de salud de la estructura, un análisis frecuencial permite identificar los mecanismos de fallo.

2. Identificación de daño

23

■ Viga de pala de aerogenerador



3.

Localización de daño

3. Localización de daño

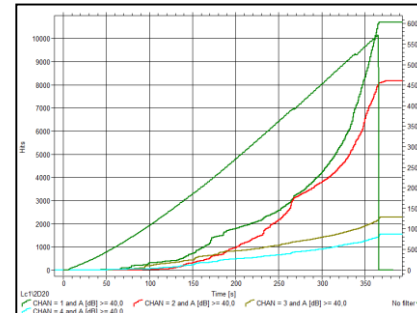
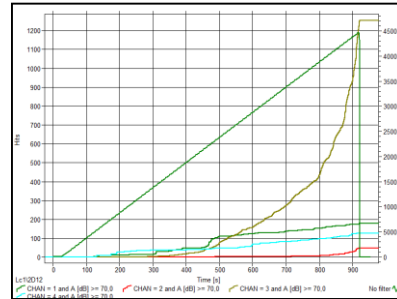
25

- **Localización por zonas**
- **Localización lineal**
- **Localización en el plano**
- **Posibles errores de localización**

3. Localización de daño

26

Localización por zonas



3 Taladros

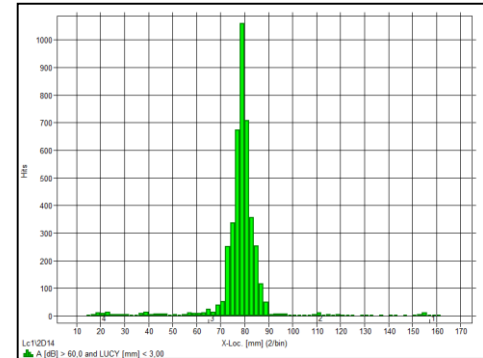
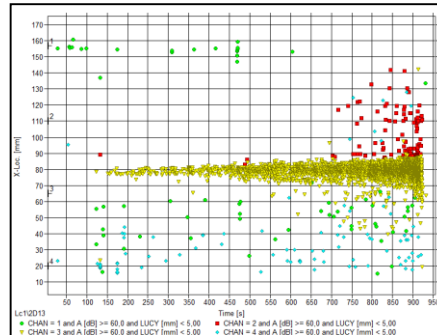


La técnica más básica de localización consiste en hacer una discriminación por sensor. El procesador de localización solo realiza el conteo en el sensor que lo haya detectado primero.

3. Localización de daño

27

■ Localización lineal (probeta 1D)



Para la localización geométrica (1D, 2D o 3D) se utilizan las diferencias del tiempo de llegada entre sensores. Para 1D se necesitan al menos 2 sensores. Una estimación correcta de la velocidad de propagación de la onda es esencial para conseguir precisión.

3. Localización de daño

28

■ Localización lineal (propagación de grieta modo I)

Se propone la técnica de EA para medir con precisión la propagación de grieta en uniones adhesivas. Es una alternativa a las clásicas técnicas de medición visual de la grieta en ensayos de modo I.

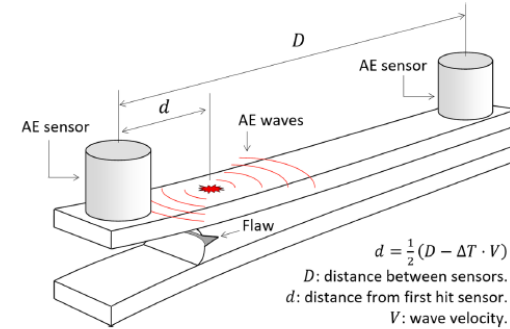
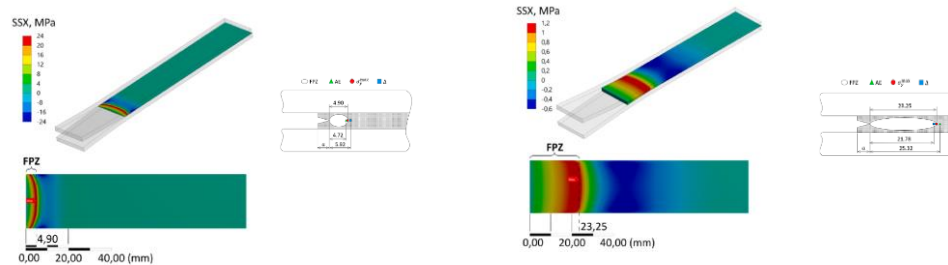


Fig. 1. Scheme of acoustic emissions (AE) principle.

ikerlan

MEMBER OF BASQUE RESEARCH
& TECHNOLOGY ALLIANCE

AEMAC
ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS

3. Localización de daño

29

■ Localización lineal (propagación de grieta modo I)

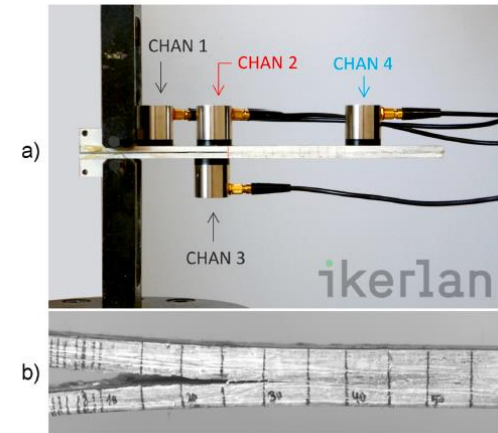
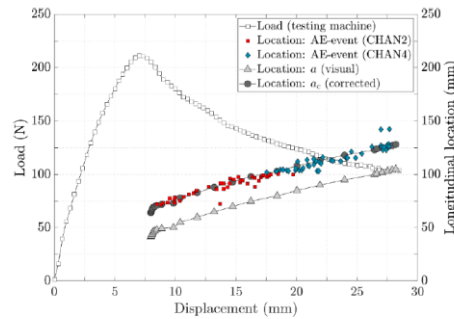
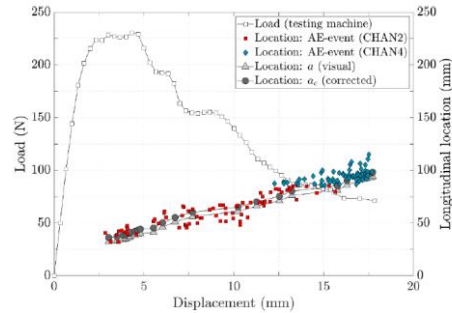


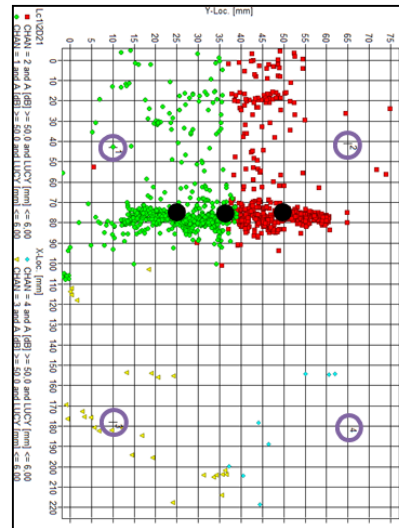
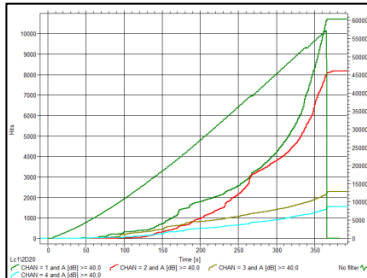
Fig. 2. (a) Test set-up with fastened AE sensors. (b) Crack growth tracking.

3. Localización de daño

30

■ Localización en el plano (probeta 2D)

Para localización 2D se necesitarán al menos 3 sensores, aunque tener sensores extra permite calcular la incertidumbre en la localización.



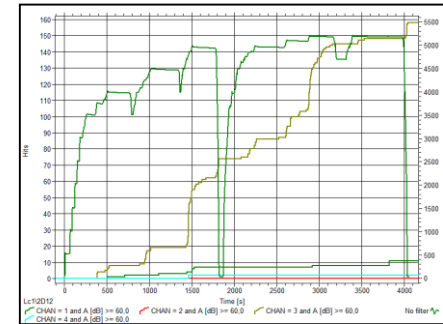
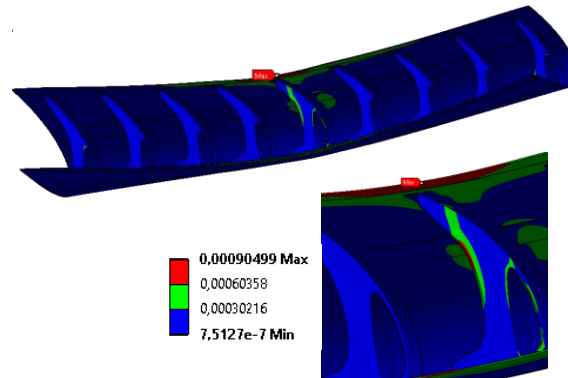
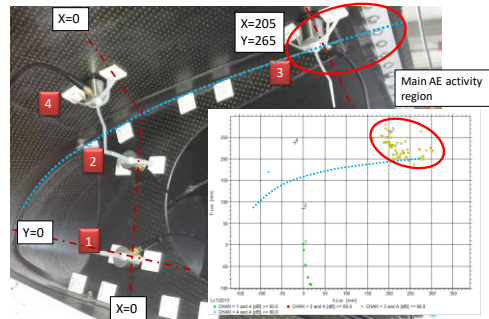
3 Taladros



3. Localización de daño

31

- Localización en el plano (subcomponente de ala de avión)



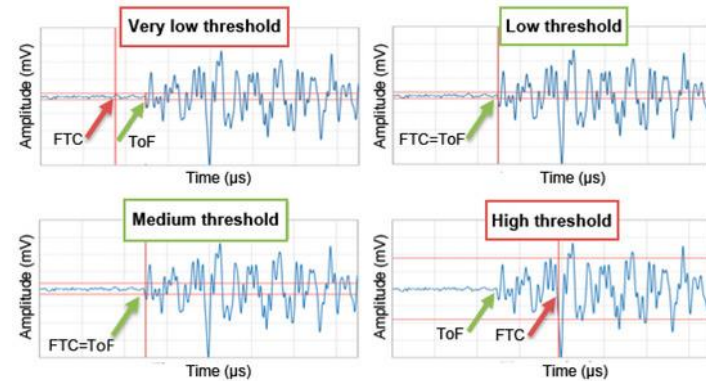
A pesar de ser una estructura 3D, se debe aplicar localización 2D, ya que está compuesta por placas y las ondas no tienen un volumen para moverse.

3. Localización de daño

32

■ Posibles errores de localización

- Onda o modo de propagación diferente al previsto (velocidad errónea).
- Vía de propagación diferente a la prevista.
- Varias ondas propagándose al mismo tiempo (detección de diferentes ondas en cada canal).
- Número elevado de ondas que impiden que el canal identifique diferentes Hits.



Diferencias entre el Time of Flight y First threshold Crossing que generarían errores de localización.

4.

Análisis de transitorios

4. Análisis de transitorios

34

- **Análisis clásico vs. transitorios**
- **Análisis frecuencial**
- **Mecanismos de fallo en composites**

■ Análisis clásico vs. transitorio

A pesar de requerir una cantidad elevada de memoria, en ocasiones puede ser interesante guardar las formas de onda.

A diferencia del análisis clásico basado en parámetros, disponer de la señal bruta permite realizar un análisis más avanzado basado en la señal (post-procesado).

EA basado en parámetros

- ✓ Coste computacional bajo
- ✓ Uso de memoria bajo
- Pérdida de información

EA basado en la señal

- ✓ Mayor riqueza de información
- ✓ Posibilidad de verificar la calidad de la adquisición
- ✓ Análisis frecuencial para caracterización de mecanismos de fallo
- ✓ Tratamiento de la señal para mejorar su calidad
- Necesidad de tarjeta de adquisición específica
- Análisis más complejo
- No real-time

4. Análisis de transitorios

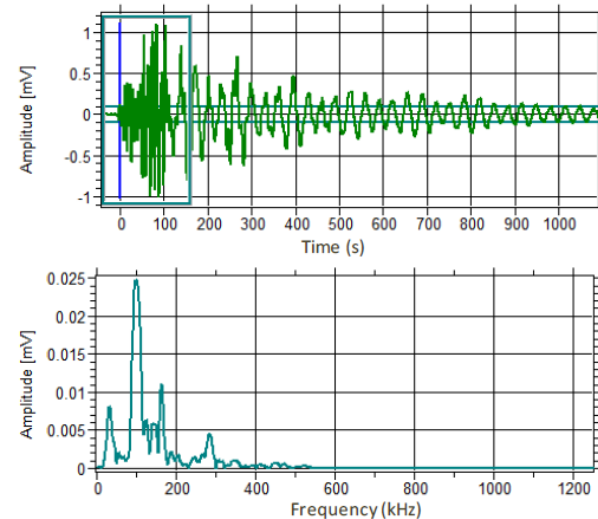
36

■ Análisis frecuencial

De entre las diversas opciones que permite el análisis de las señales en bruto, se encuentra la extracción de su contenido frecuencial.

Este análisis puede realizarse con diferentes ajustes, lo que puede ayudar a identificar diferentes tipos o modos de onda en función del retardo.

En composites se asocia el contenido frecuencial con el mecanismo de fallo.



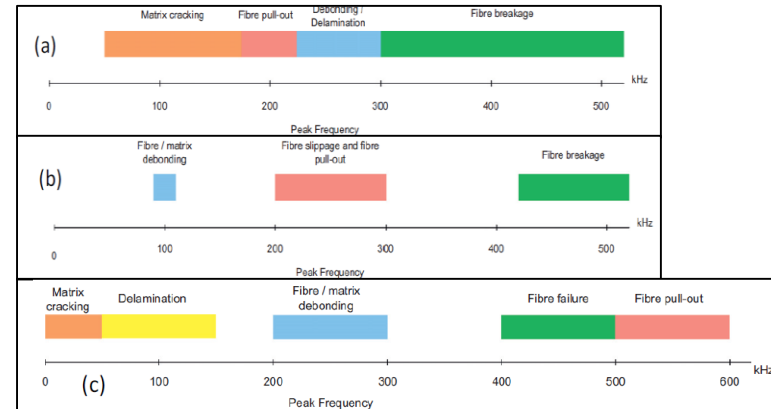
4. Análisis de transitorios

37

■ Mecanismos de fallo en composites

Diferentes autores asocian los diferentes rangos frecuenciales a diferentes mecanismos de fallo.

En líneas generales, las frecuencias más altas se asocian con la rotura de fibras, mientras que delaminaciones o roturas de la matriz, etc. se engloban por debajo de 300kHz.

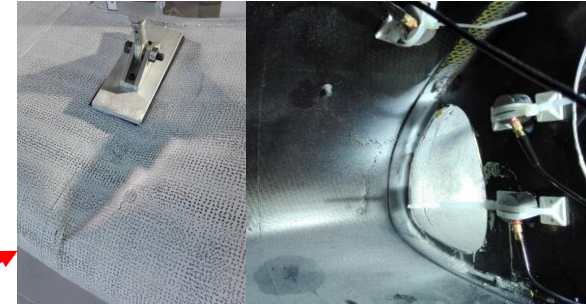
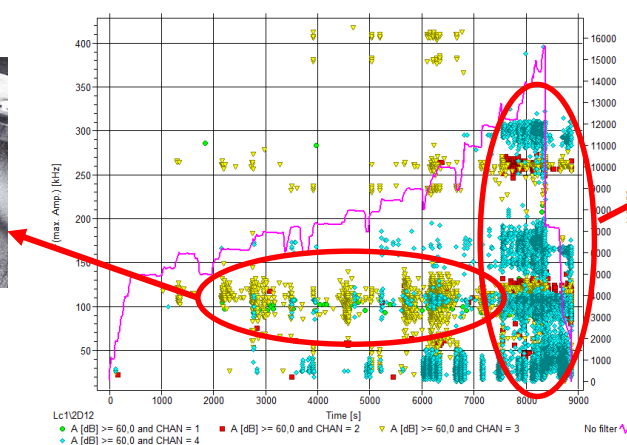


(a): De Groot et al. 1995; (b): Ramirez-Jimenez et al. 2004; (c): R. Gutkin et al. 2011.

4. Análisis de transitorios

38

■ Mecanismos de fallo en composites



Las frecuencias en torno a 300kHz se asocian a rotura de fibras. Esto puede ayudar a comprender lo que está ocurriendo en la estructura.

5.

EA para fatiga

ikerlan

MEMBER OF BASQUE RESEARCH
& TECHNOLOGY ALLIANCE

AEMAC
ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS

5. EA para fatiga

40

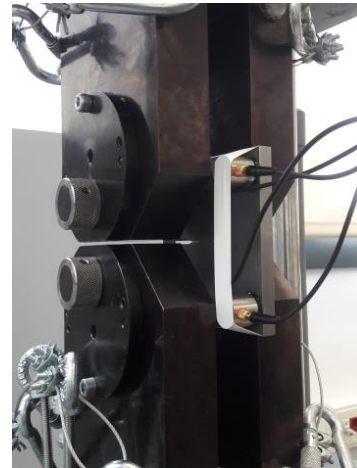
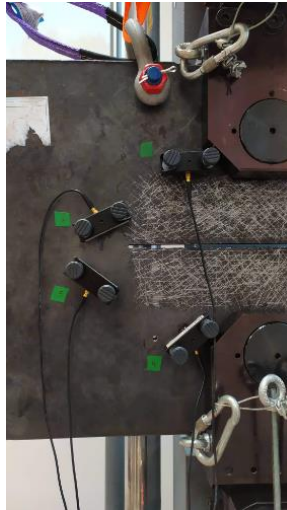
- **Propagación de grieta**
- **Rodamiento de baja velocidad**

5. EA para fatiga

41

■ Propagación de grieta

- Debido a la carga dinámica (5Hz) que sufre la estructura en estos ensayos los criterios de daño no son tan directos.
- Los ensayos duran muchas horas, hasta días.
- Hay mayores niveles de ruido provenientes de la máquina que en un ensayo cuasi-estático.



ikerlan

MEMBER OF BASQUE RESEARCH
& TECHNOLOGY ALLIANCE

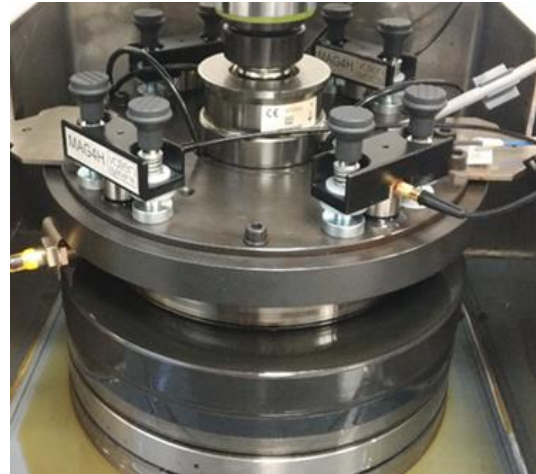
AEMAC
ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS

5. EA para fatiga

42

■ Rodamientos de baja velocidad

- Las técnicas basadas en vibraciones (fft, cepstrum...) no sirven para velocidades de giro muy bajas (5 rpm – 10 rpm).
- Se está trabajando por la vía de EA.
- La carga sobre el rodamiento es constante, pero la tensión bola - pista es cíclica, por lo que se considera fatiga.



6.

Conclusiones

ikerlan

MEMBER OF BASQUE RESEARCH
& TECHNOLOGY ALLIANCE

AEMAC
ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS

6. Conclusiones

44

- EA es una técnica muy potente y versátil para multitud de materiales, entre ellos los composites.
- Permite identificar el daño desde una fase muy incipiente. Posiblemente el daño detectado con EA no sea detectable mediante otras técnicas (inspección visual, termografía, ultrasonidos, ...).
- Permite localizar el daño con un setup sencillo en comparación con otras técnicas.
- El análisis en postprocesado de las señales permite estudiar la naturaleza del daño.

MUCHAS GRACIAS

D. MARCOS AGUIRRE SARMANTON
Tecnologías de control, monitorización y O & M
www.ikerlan.es
maquirre@ikerlan.es



ikerlan

MEMBER OF BASQUE RESEARCH
& TECHNOLOGY ALLIANCE