



**Universidad Nacional del Nordeste**  
**Facultad de Ingeniería**

**SIMULACIÓN NUMÉRICA HASTA LA FALLA**  
**DE HORMIGÓN REFORZADO POR FIBRAS**  
**CORTAS (HRF)**

**ING. BRUNO UBERTI**



MATERIALES COMPUESTOS

HORMIGÓN REFORZADO POR FIBRAS (HRF)

METODO DE LOS ELEMENTOS DISCRETOS – **M.E.D.**

PROBLEMA EN ESTUDIO

MODELO NUMÉRICO UTILIZANDO EL M.E.D.

RESULTADOS

Fuerza de Puente vs Apertura de fisura

Balances Energéticos

Micromecanismos de Daño

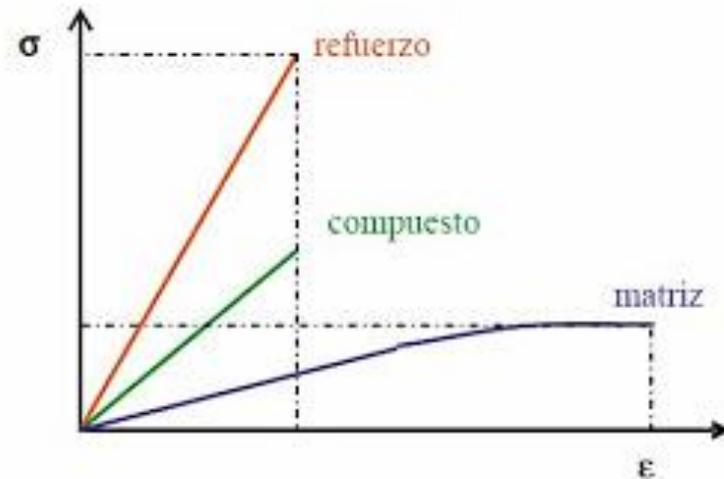
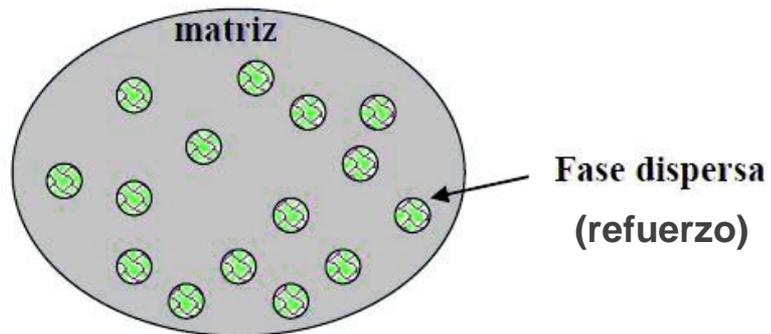
Evolución del Daño

CONCLUSIONES

# MATERIALES COMPUESTOS

Un material compuesto está constituido por distintas fases o componentes.

En el campo de la ingeniería los materiales compuestos suelen estar formados por un material, llamado *refuerzo*, inmerso dentro de otro, llamado *matriz*.

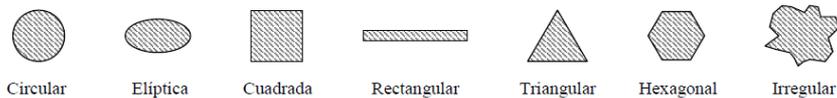
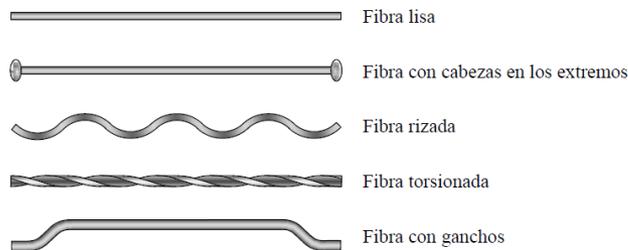


# Hormigón reforzado por Fibras Cortas (HRF)



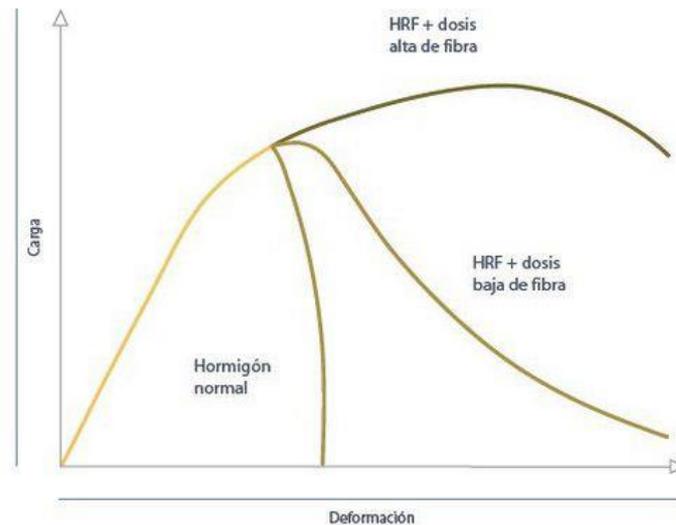
## VENTAJAS de la incorporación de fibras en el hormigón:

- ✓ **Aumento de la resistencia mecánica**
- ✓ **Disminuir las posibilidades de fisuración**
- ✓ **Trabajar como barrera frente a la propagación de fisuras**
- ✓ **Aumento de la Ductilidad**



## **Tipos de Fibras de acero**

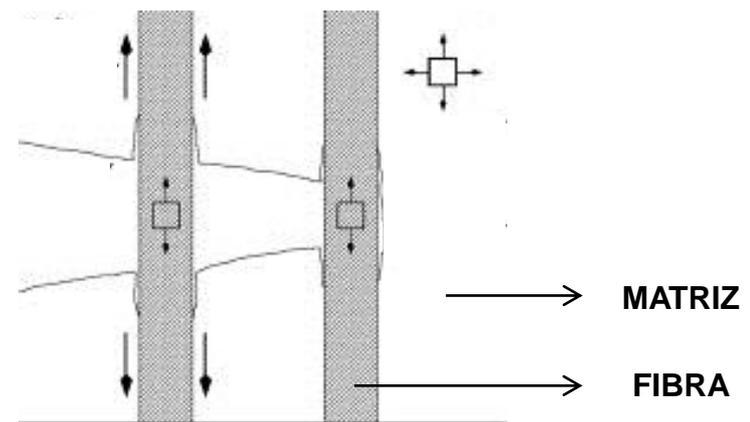
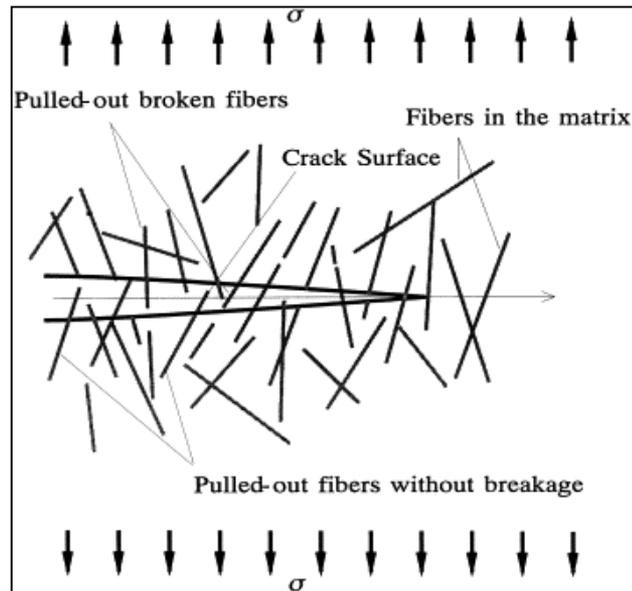
## 2. Curvas típicas carga-deformación en hormigón reforzado con fibras



## Mecanismo de Aumento de la Tenacidad de HRF

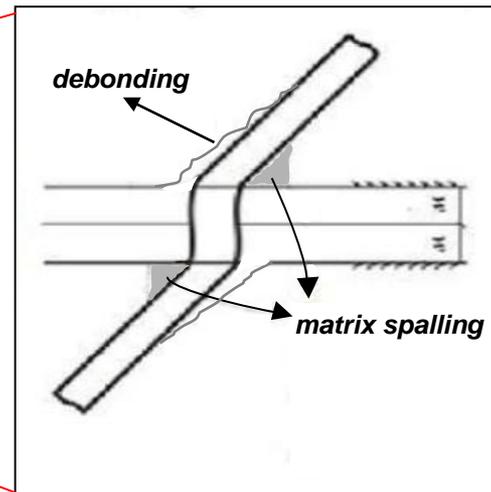
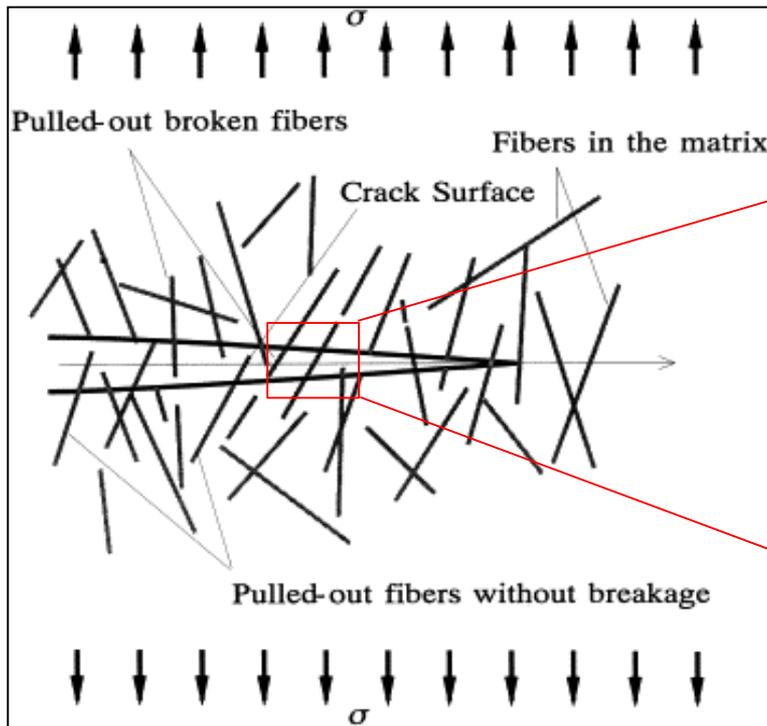
La matriz transfiere parte de la tensión aplicada a las fibras, las que resisten una porción de la carga.

- ✓ El grado de refuerzo dependerá de un enlace fuerte en la interfaz fibra-matriz.
- ✓ Para evitar el arrancamiento de las fibras  $E_f > E_m$
- ✓ Fibra con resistencia a la tracción elevada.



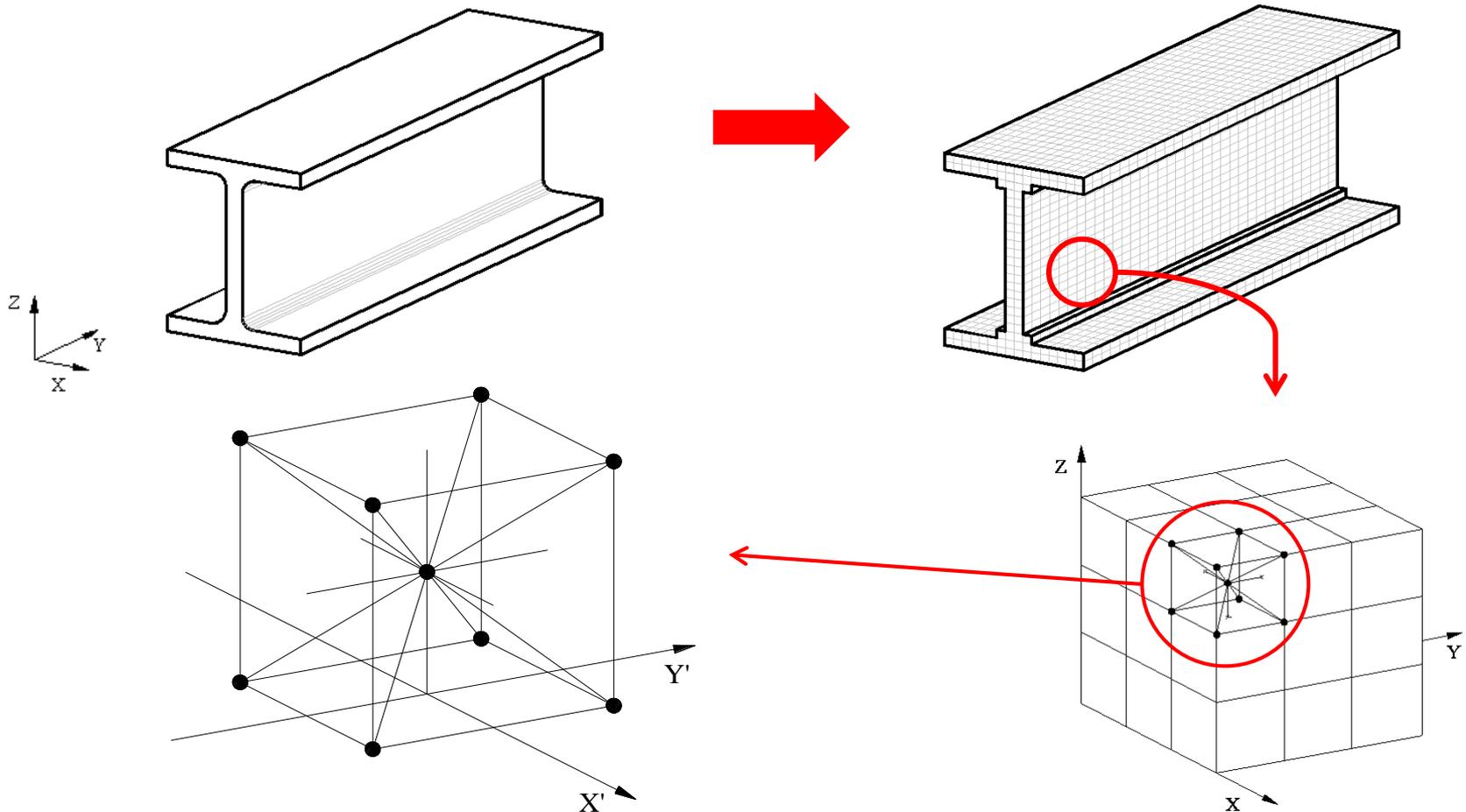
# Micromecanismos de Falla de HRF

Durante el proceso de falla del conjunto fibra-matriz se producen mecanismos de ruptura:



# Método de los Elementos Discretos – M.E.D.

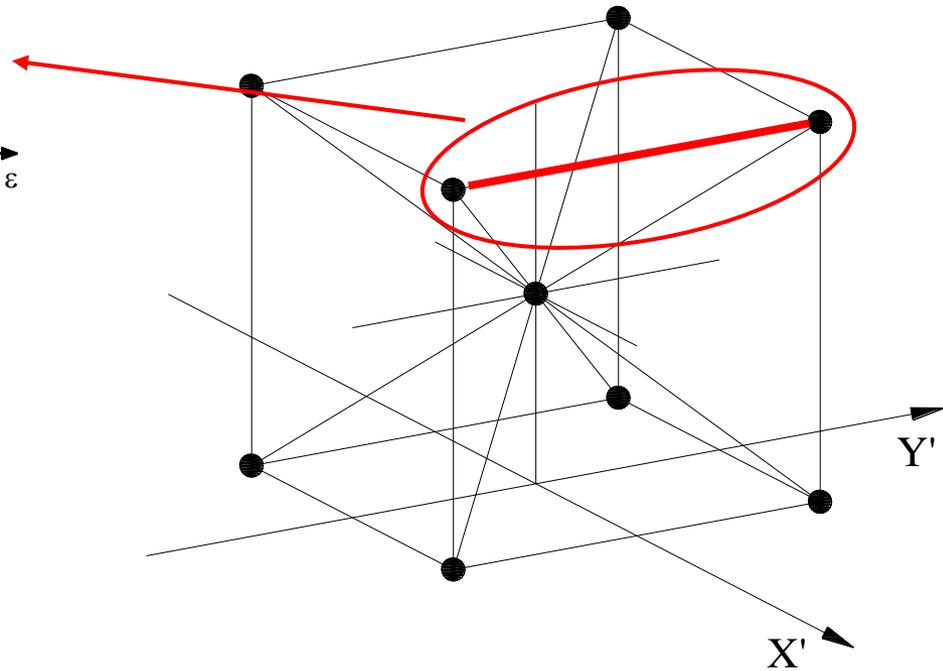
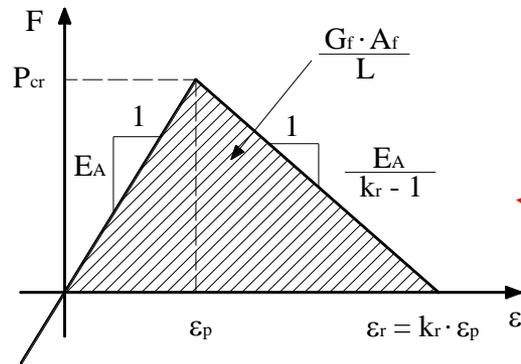
El modelo de discretización empleado en este trabajo fue desarrollado por Hayashi 1982 y verificado también por Rocha 1989 e Iturrioz 1995.



**Módulo cúbico elemental**

# Método de los Elementos Discretos – M.E.D.

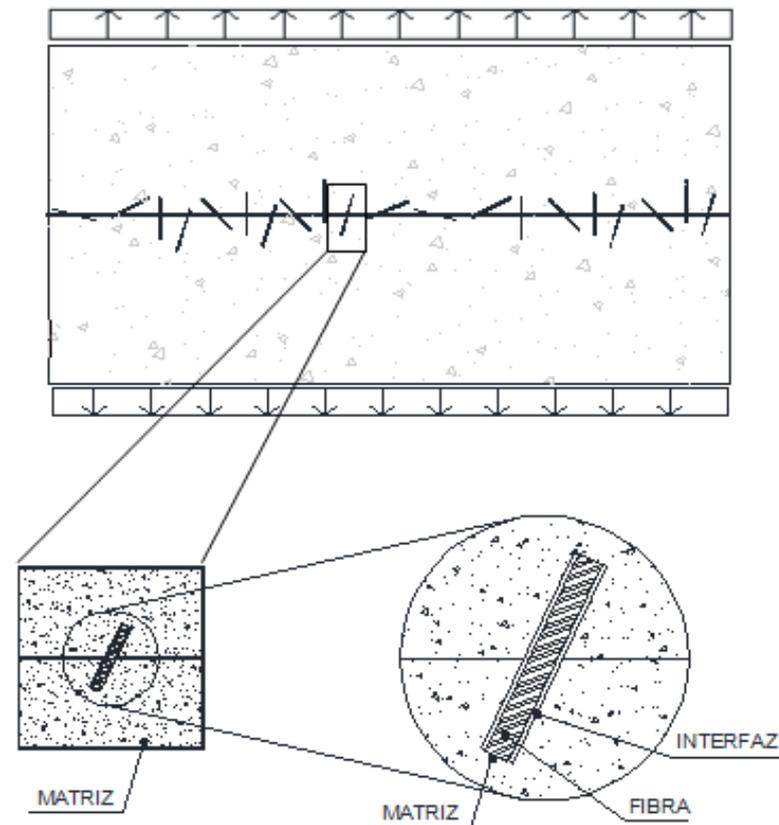
## Relación constitutiva elemental



## PROBLEMA EN ESTUDIO

El estudio se centra en un bloque de hormigón reforzado por fibras cortas de acero, el cual se encuentra fisurado y es solicitado por tensiones externas normales a la dirección de la fisura.

La fisura atraviesa la matriz y la secciona en dos partes, las cuales están unidas por fibras con diferentes inclinaciones

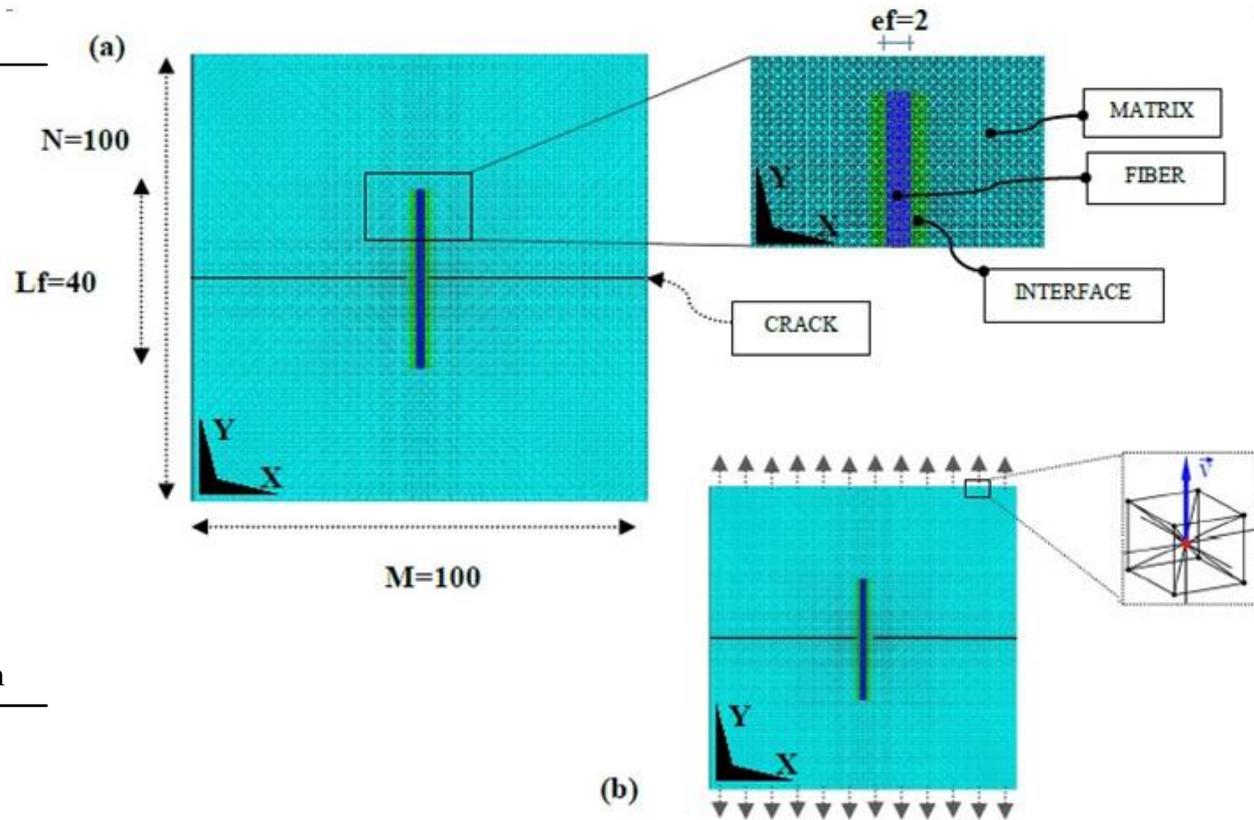


# Modelo numérico utilizando el M.E.D.

- ✓ Estado plano de deformaciones
- ✓ Módulo Cúbico Elemental ( $L_c$ ) =  $2.50 \times 10^{-4}$  m = 0.25mm
- ✓ Espesor del modelo =  $1 \times L_c$
- ✓ Resistencia de la Fibra > Resistencia de la matriz de Concreto
- ✓ Geometría de Fibras de Acero:  $L_f=10$ mm –  $e_f=0.5$ mm

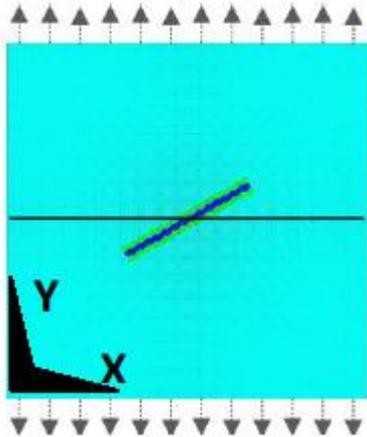
## I. LDEM model input parameter.

Fiber length  $L_f$  10 mm  
Fiber diameter  $d_f$  0.5 mm  
Poisson coefficient  $[\nu]$  0.25  
Matrix Density  $[\rho_m]$  2000 kg/m<sup>3</sup>  
Matrix Young Modulus  $[E_m]$  30 GPa  
Matrix Critical Strain  $[\epsilon_{pm}]$   $2.18 \times 10^{-4}$   
Matrix Toughness  $[G_{fm}]$  100 N/m  
Fiber Density  $[\rho_f]$  7800 kg/m<sup>3</sup>  
Fiber Young Modulus  $[E_f]$  200 GPa  
Fiber Critical Strain  $[\epsilon_{pf}]$   $2.10 \times 10^{-3}$   
Fiber Toughness  $[G_{ff}]$  21780 N/m  
Interface Density  $[\rho_i]$  5200 kg/m<sup>3</sup>  
Interface Young Modulus  $[E_i]$  0.11 GPa  
Interface Critical Strain  $[\epsilon_{pi}]$   $2.00 \times 10^{-2}$   
Interface Toughness  $[G_{fi}]$  80000 N/m

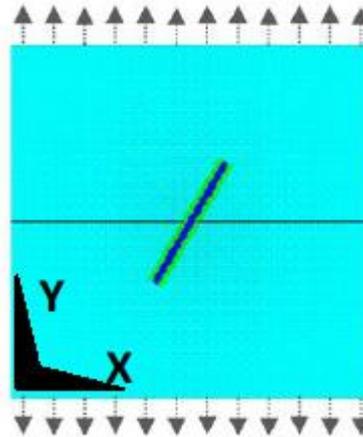


# RESULTADOS – Implementación en el M.E.D.

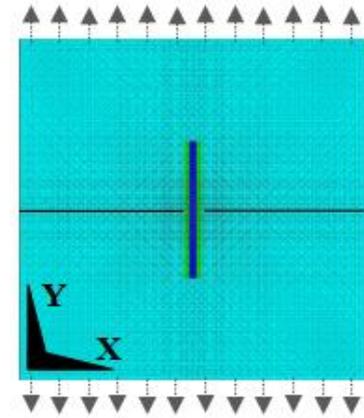
## MODELOS ANALIZADOS CON M.E.D



$\theta = 30^\circ$



$\theta = 60^\circ$



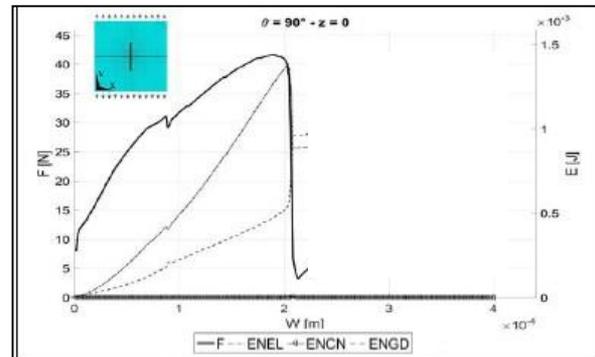
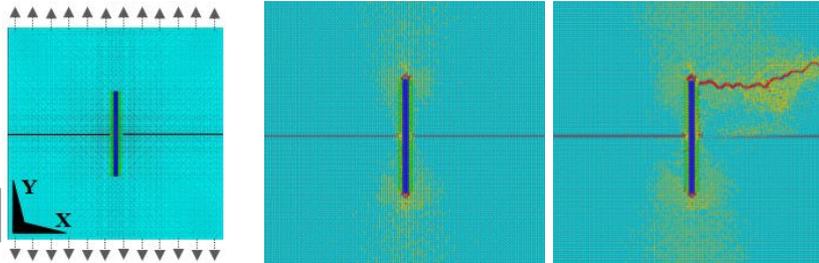
$\theta = 90^\circ$

- ✓ Fuerza de Puente vs Apertura de Fisura
- ✓ Balances Energéticos
- ✓ Identificación de los Micromecanismos de Falla

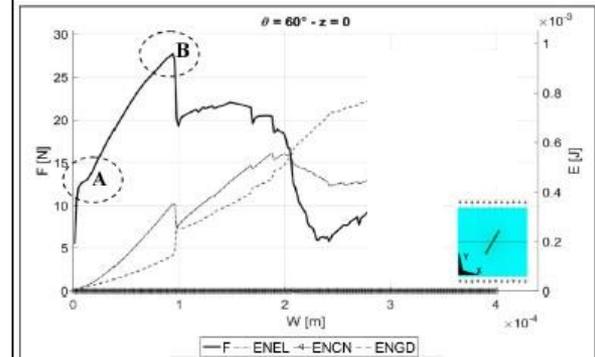
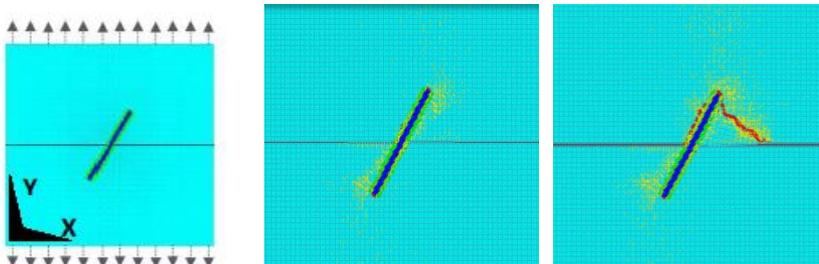
# FUERZA DE PUENTE vs Apertura de fisura "w"

Aplicando desplazamientos prescritos, la fisura comienza a abrirse y se computa la fuerza de puente en el baricentro de cada fibra.

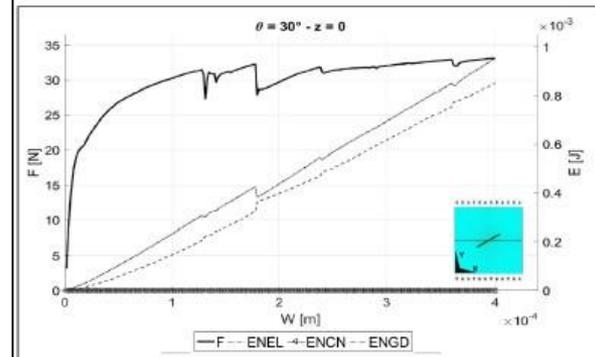
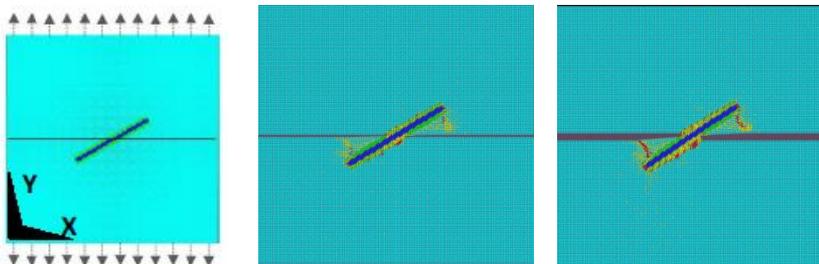
$\theta = 90^\circ$



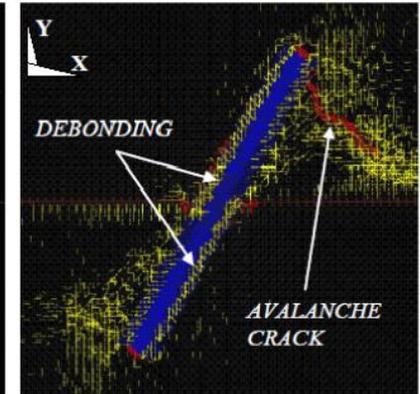
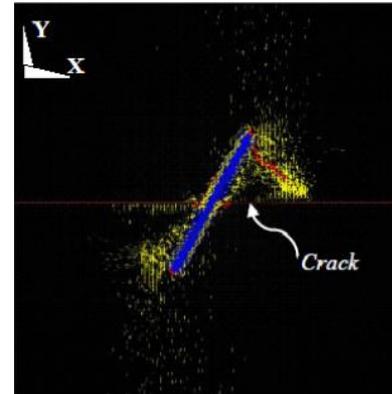
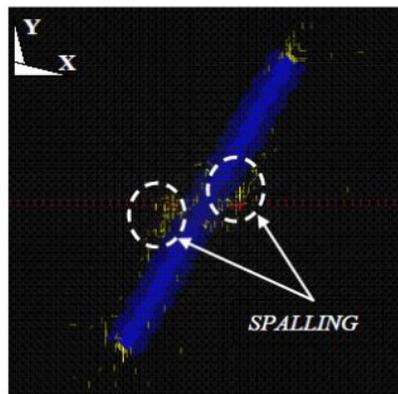
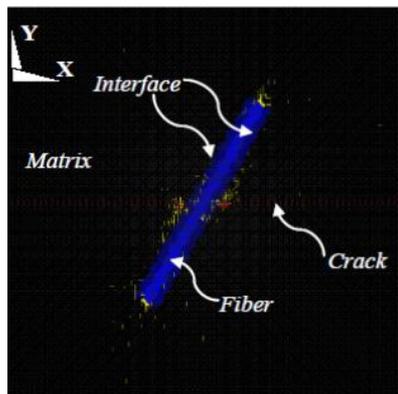
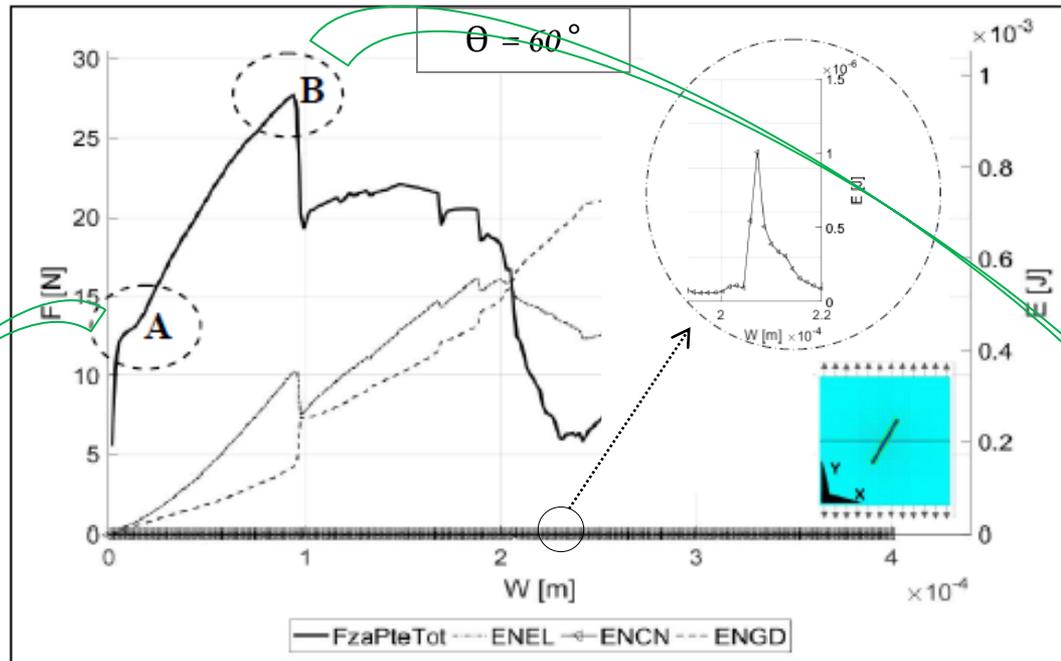
$\theta = 60^\circ$



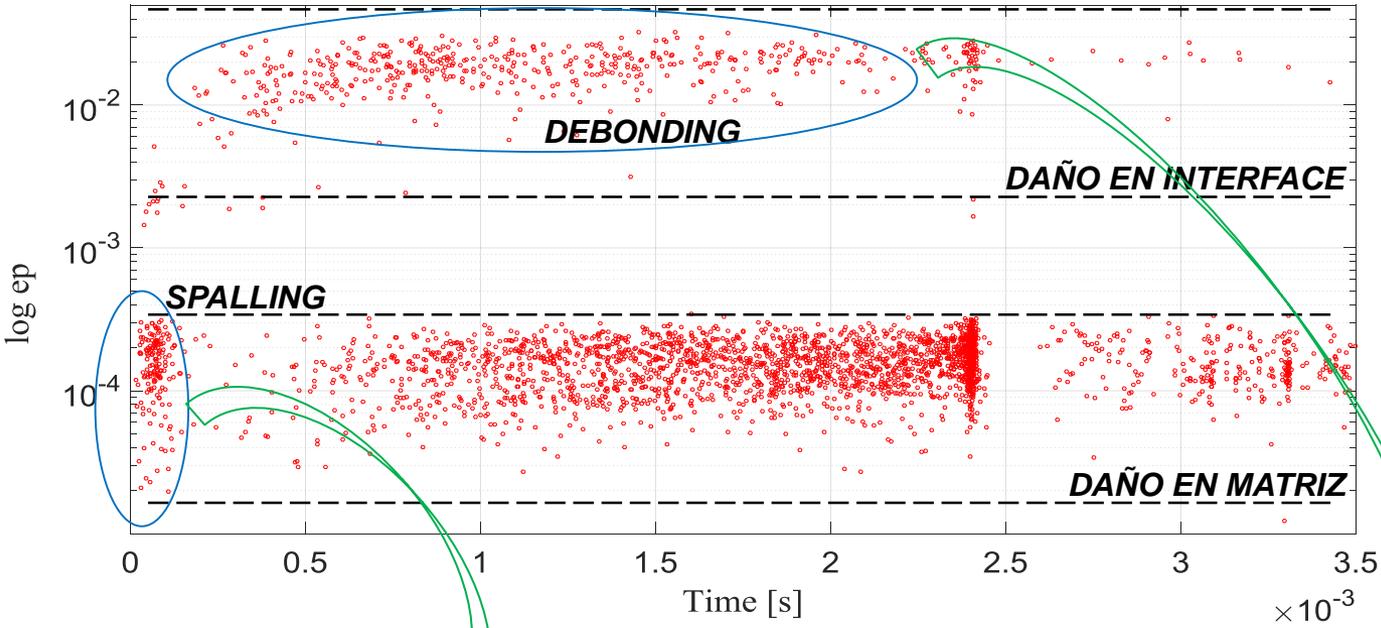
$\theta = 30^\circ$



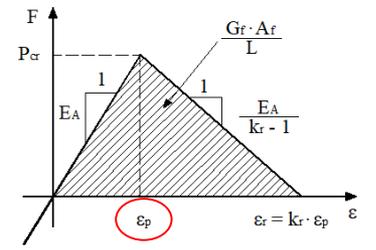
# FUERZA DE PUENTE vs Apertura de fisura "w"



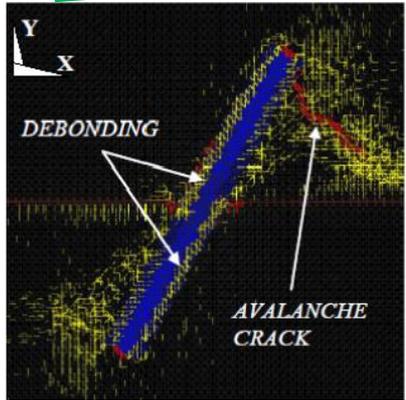
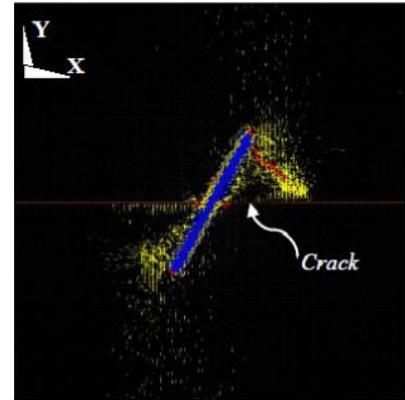
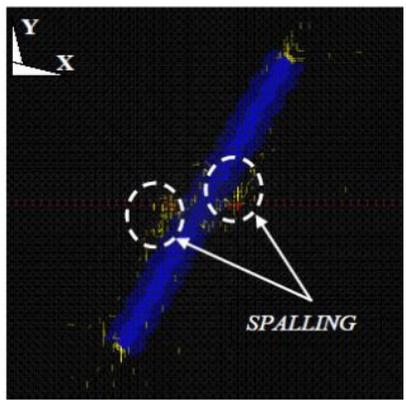
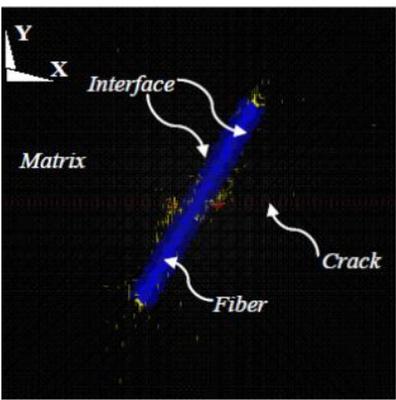
# EVOLUCIÓN DE DAÑOS – $\theta = 60^\circ$



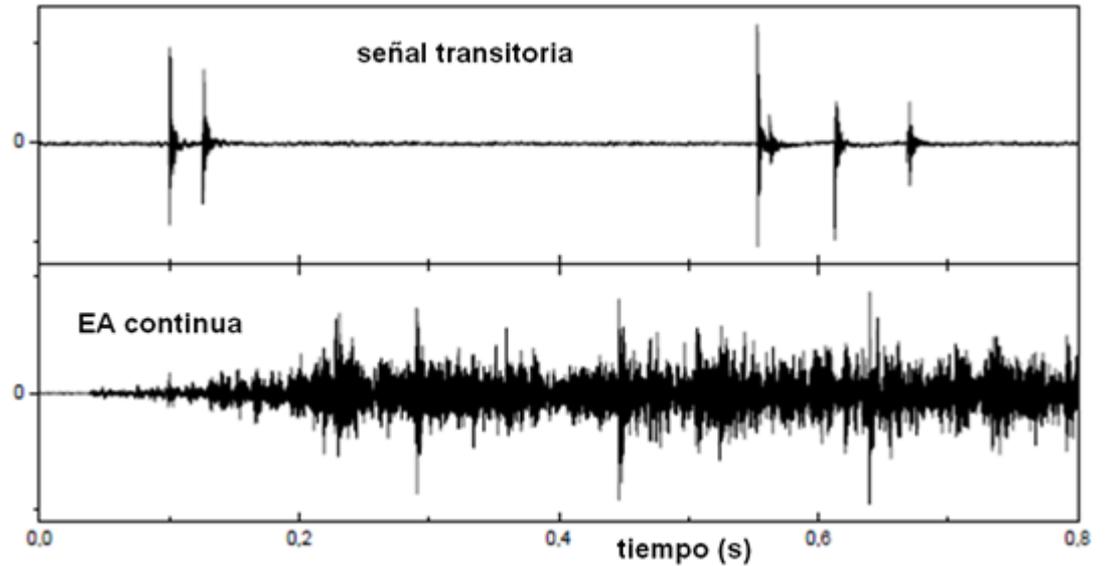
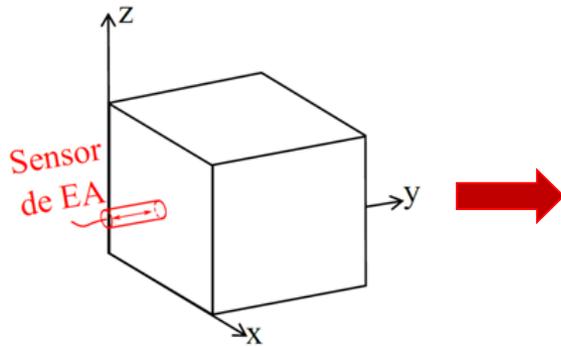
Relación constitutiva elemental



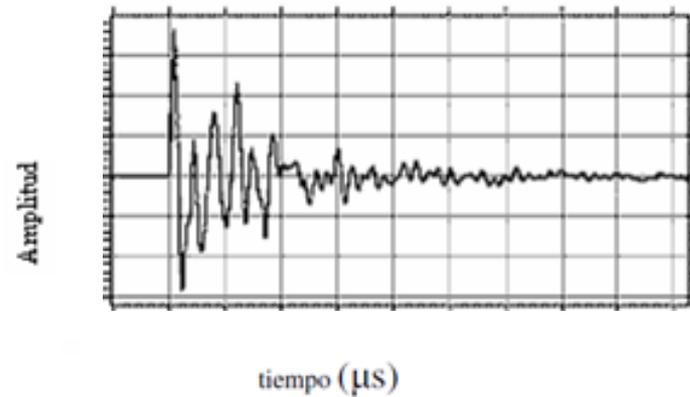
INTERFACE	$\epsilon_{pi} = 2,00 \text{ e-}2$
MATRIZ	$\epsilon_{pm} = 2,18 \text{ e-}4$



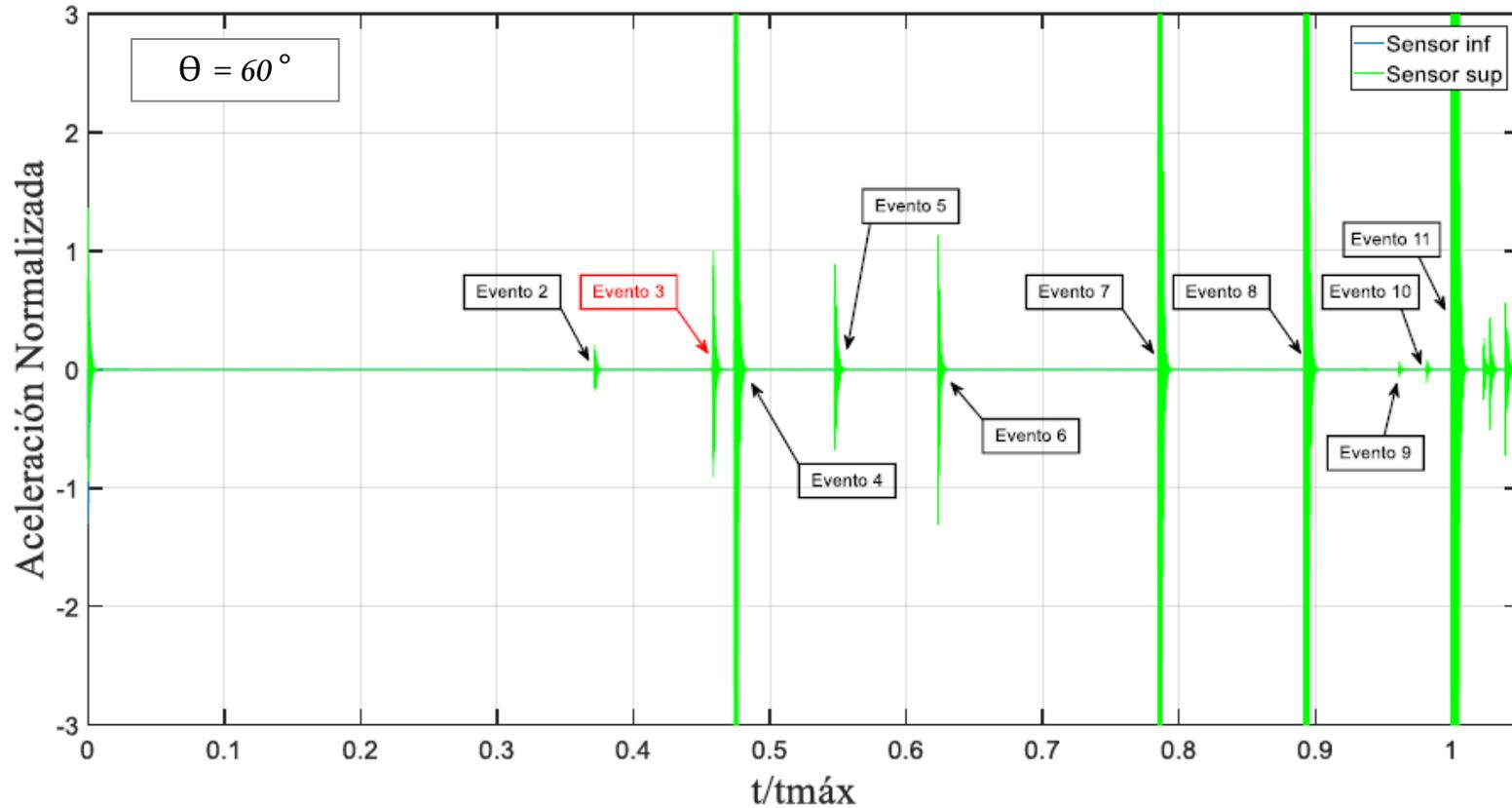
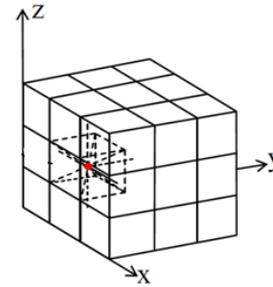
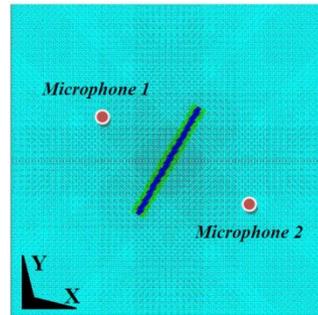
# TÉCNICAS DE EMISIÓN ACÚSTICA (T.E.A.)



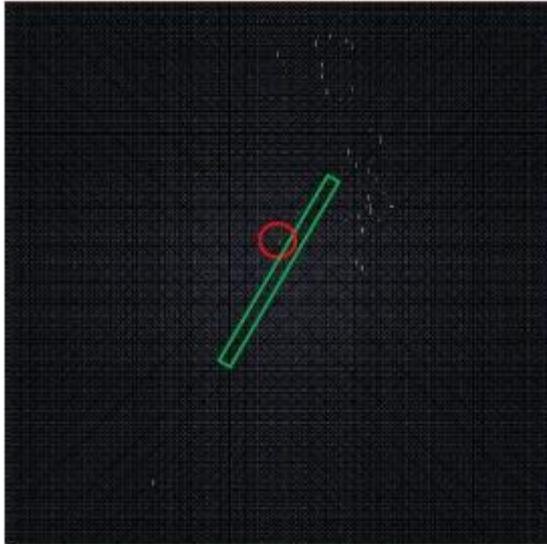
Ejemplo de un registro transitorio de EA:



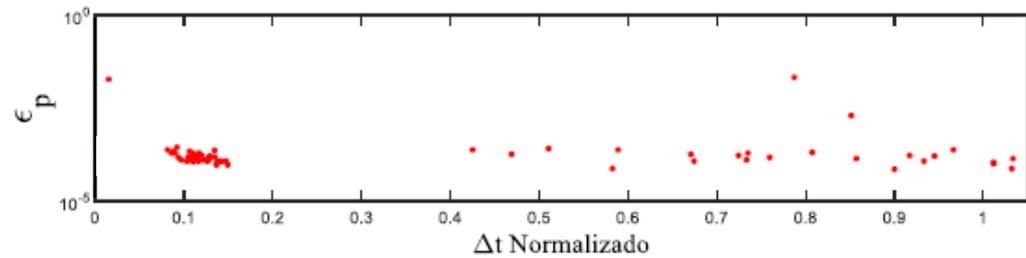
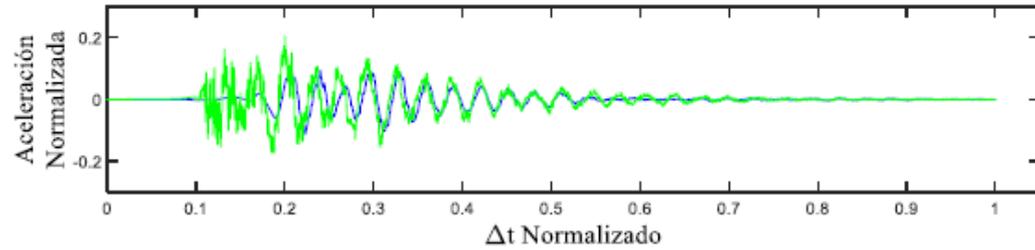
# TÉCNICAS DE E.A. UTILIZANDO EL M.E.D.



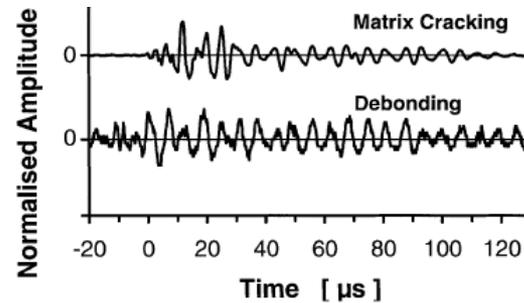
# MICROMECHANISMOS DE FALLA – SEÑALES DE E.A.



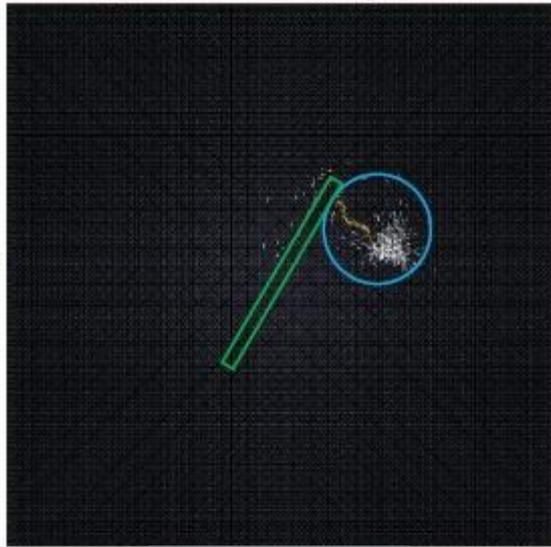
$\theta = 60^\circ$   
EVENTO 2



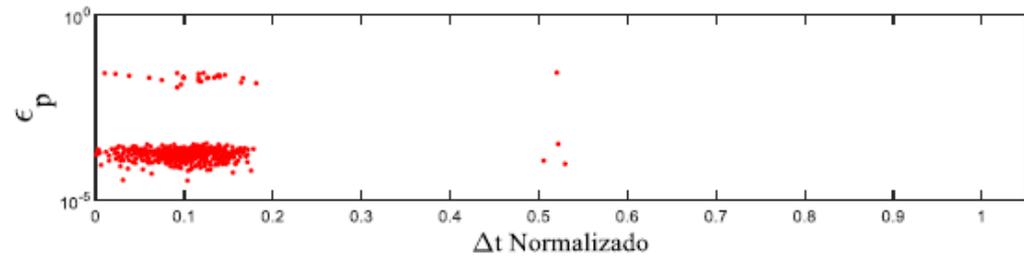
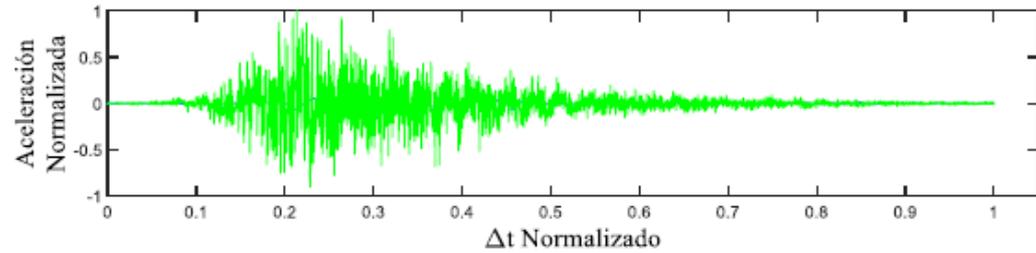
Haselbach y Lauke (2003)



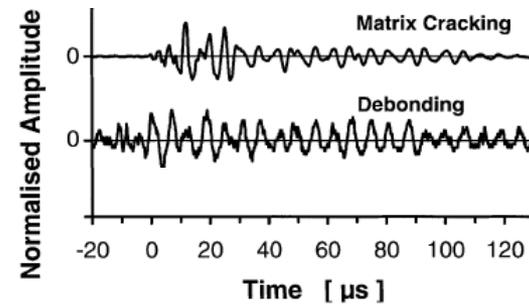
# MICROMECHANISMOS DE FALLA – SEÑALES DE E.A.



$\theta = 60^\circ$   
EVENTO 3



Haselbach y Lauke (2003)



## CONCLUSIONES

- Fue posible explorar las posibilidades del MED en modelar este tipo de problemas y diferentes formas de presentar los resultados.
- Analizando los resultados obtenidos en las curvas de Fuerza de puente vs apertura de fisura obtenidas con MED, fue posible verificar la sensibilidad del ángulo de inclinación de la fibra respecto al efecto de tenacificación del compuesto. Se ha podido observar que a mayor inclinación de la fibra, es posible obtener mayores aperturas de fisura antes del colapso del modelo, lo que se traduce en una mayor capacidad de absorción de energía de daño.
- El Balance Energético obtenido en cada uno de los modelos ha presentado resultados coherentes.
- Mediante curvas de daño, se han podido captar distintos procesos de falla característicos en este tipo de materiales.
- Capturando señales de EA fue posible demostrar las potencialidades del MED en este tipo de análisis.

**MUCHAS GRACIAS**