



# PROPUESTA Y FORMULACIÓN PARA EL ANÁLISIS SUBESTRUCTURADO DE GRANDES ESTRUCTURAS DE MATERIAL COMPUESTO

---

CENTRO  
INTERNACIONAL DE  
MÉTODOS NUMÉRICOS  
EN LA INGENIERÍA

Grupo:  
CAMMS

Francesc Turon

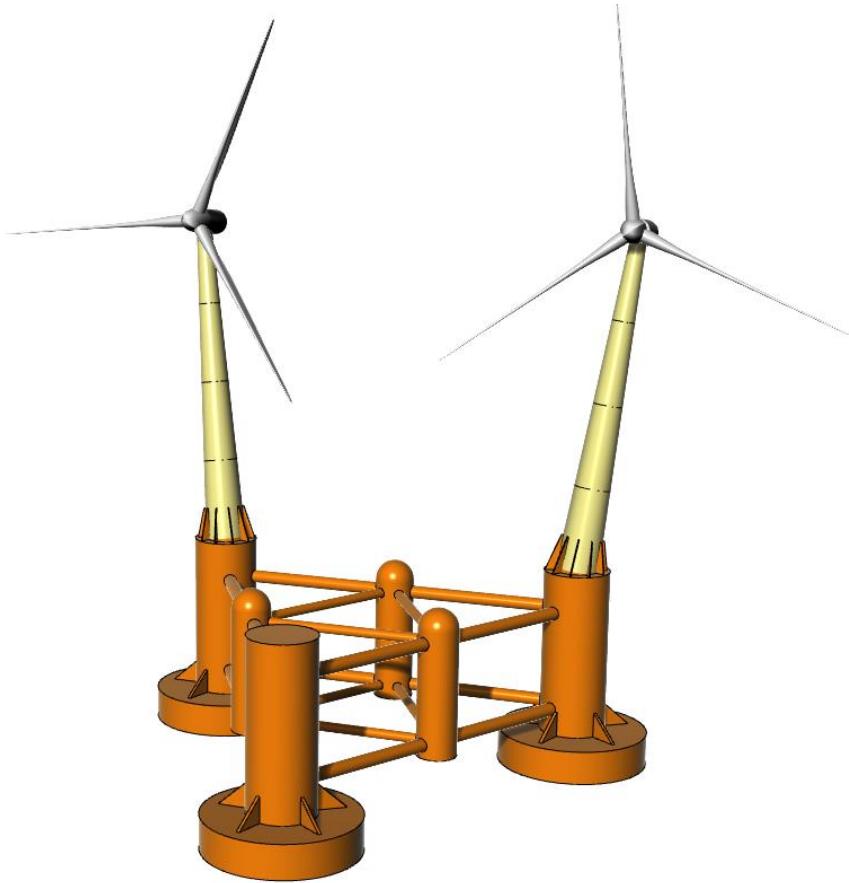
# Proyectos - Innovación e aporte



FIBRE4YARDS tiene como objetivo adaptar y transformar los métodos de producción presentes en los astilleros para la producción en serie de embarcaciones de material compuesto.

FIBREGY tiene como objetivo impulsar la implementación de los materiales compuestos a los sistemas de generación eléctrico marinos.

# Diseño e investigación

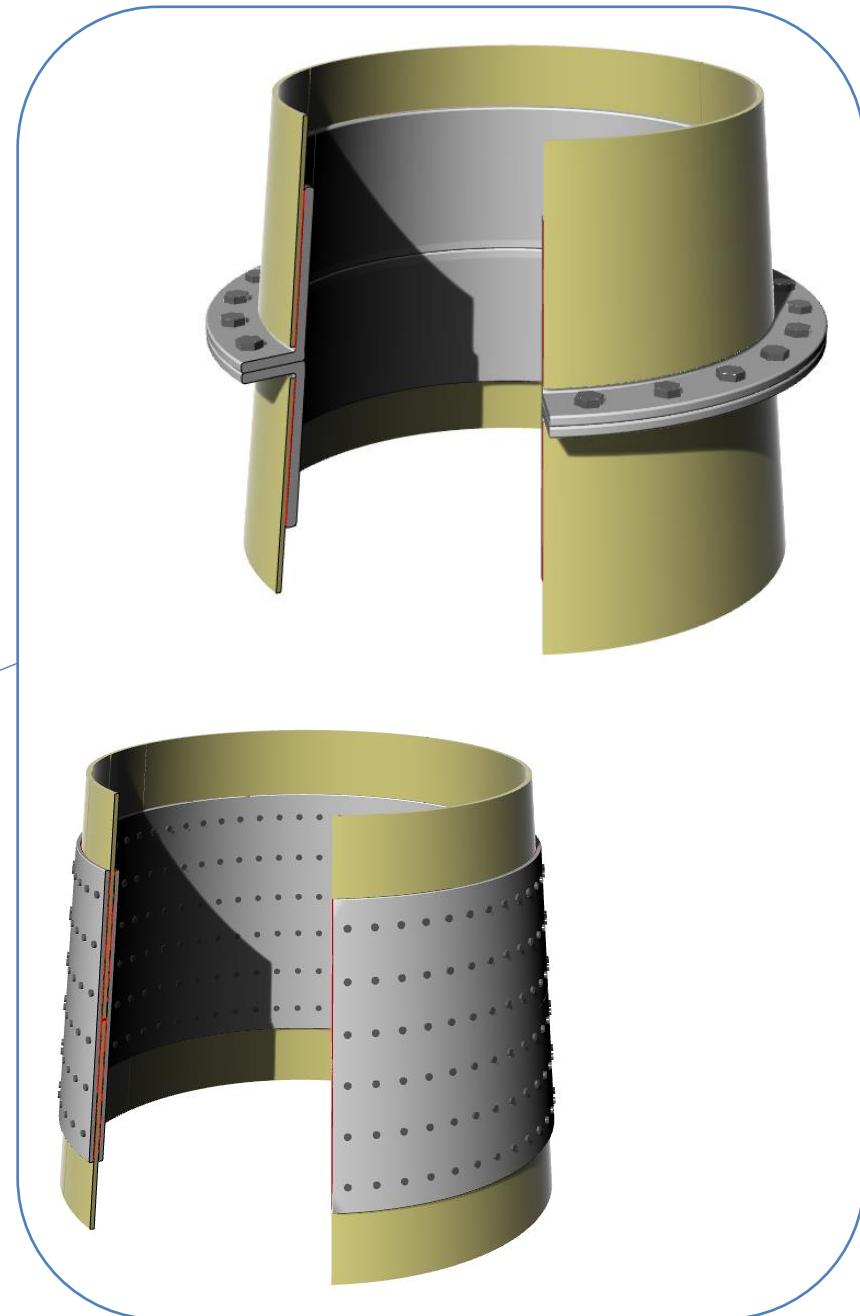
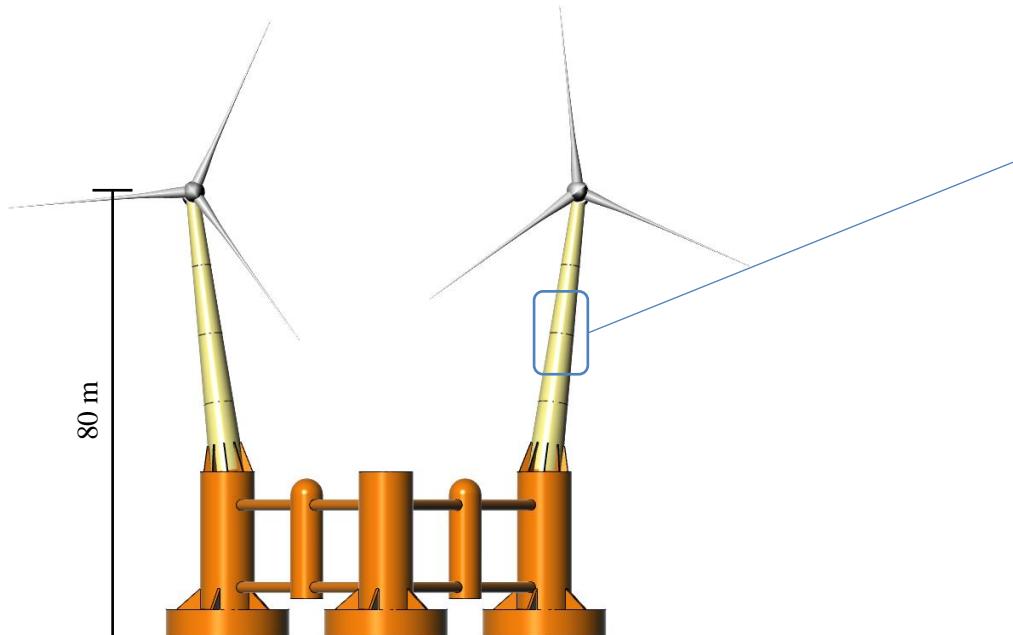


En ambos proyectos se prioriza el uso de materiales compuestos debido a su alta resistencia al entorno marino y su alta tolerancia a las cargas cíclicas.

Desde CIMNE asistimos a la fase de diseño mediante ensayos numéricos con los que optimizar y perfeccionar el producto final.

# Rediseñando con materiales compuestos

El uso de los materiales compuestos aflora zonas de unión y discontinuidades que deben ser analizadas mediante análisis FEM.

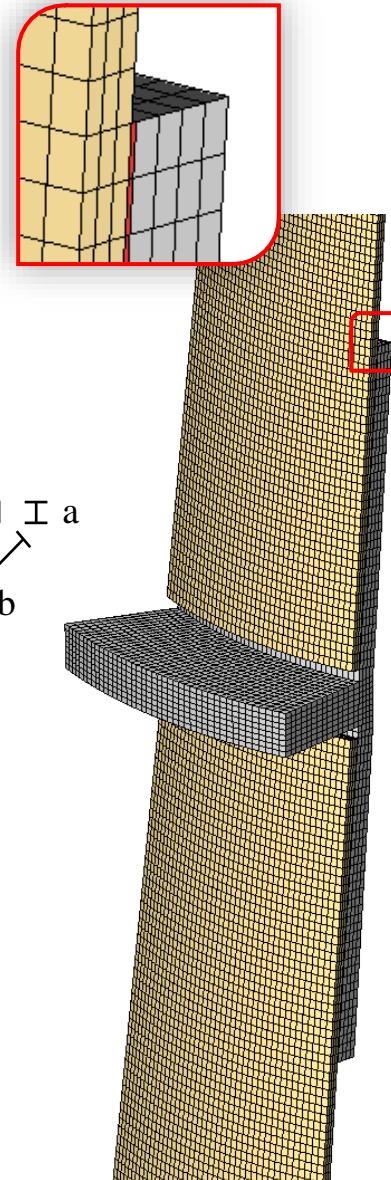
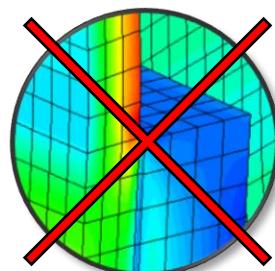
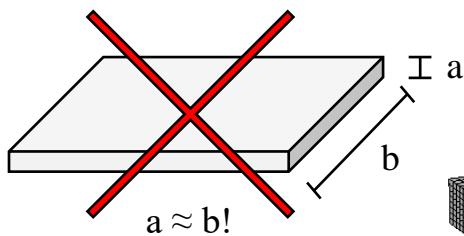


# Limitaciones actuales

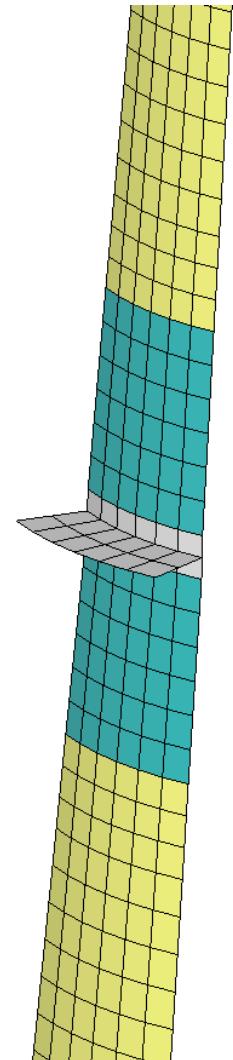
La naturaleza laminar de los materiales compuestos encarece notablemente su análisis mediante el FEM.

Debido a la proporción en el número total de elementos Sólidos es muy elevado.

Los **elementos Shell**, mucho más económicos, no son capaces de **aproximar el estado de tensión** cerca de discontinuidades.



Malla volumétrica con elementos Sólidos

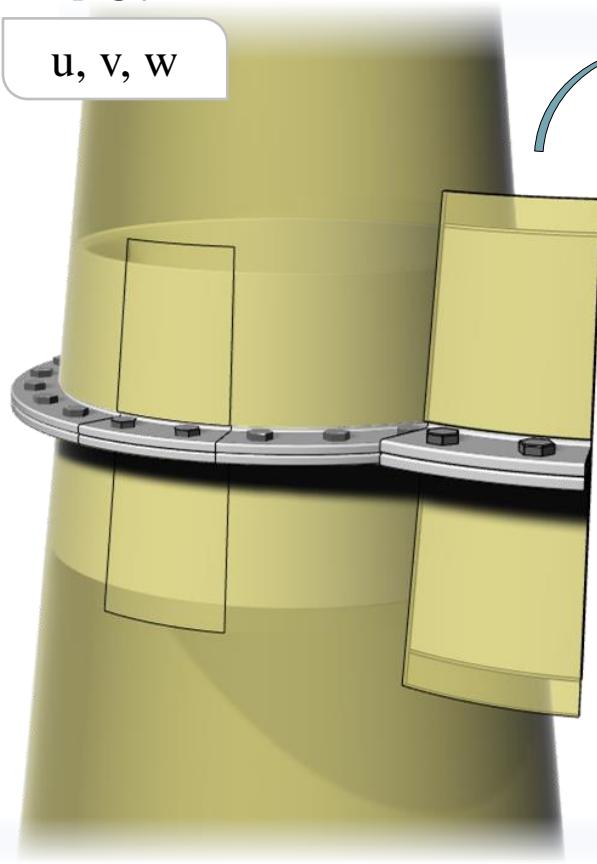


Malla con elementos Shell equivalente

# Enfoque

DOF

$u, v, w$

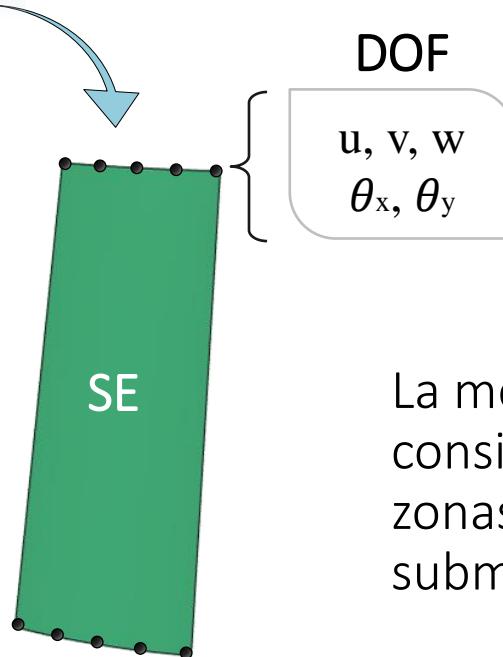


Modelo volumétrico  
de la estructura

**Objetivo:** Reducir el coste computacional sin perder precisión en las irregularidades.

DOF

$u, v, w$   
 $\theta_x, \theta_y$



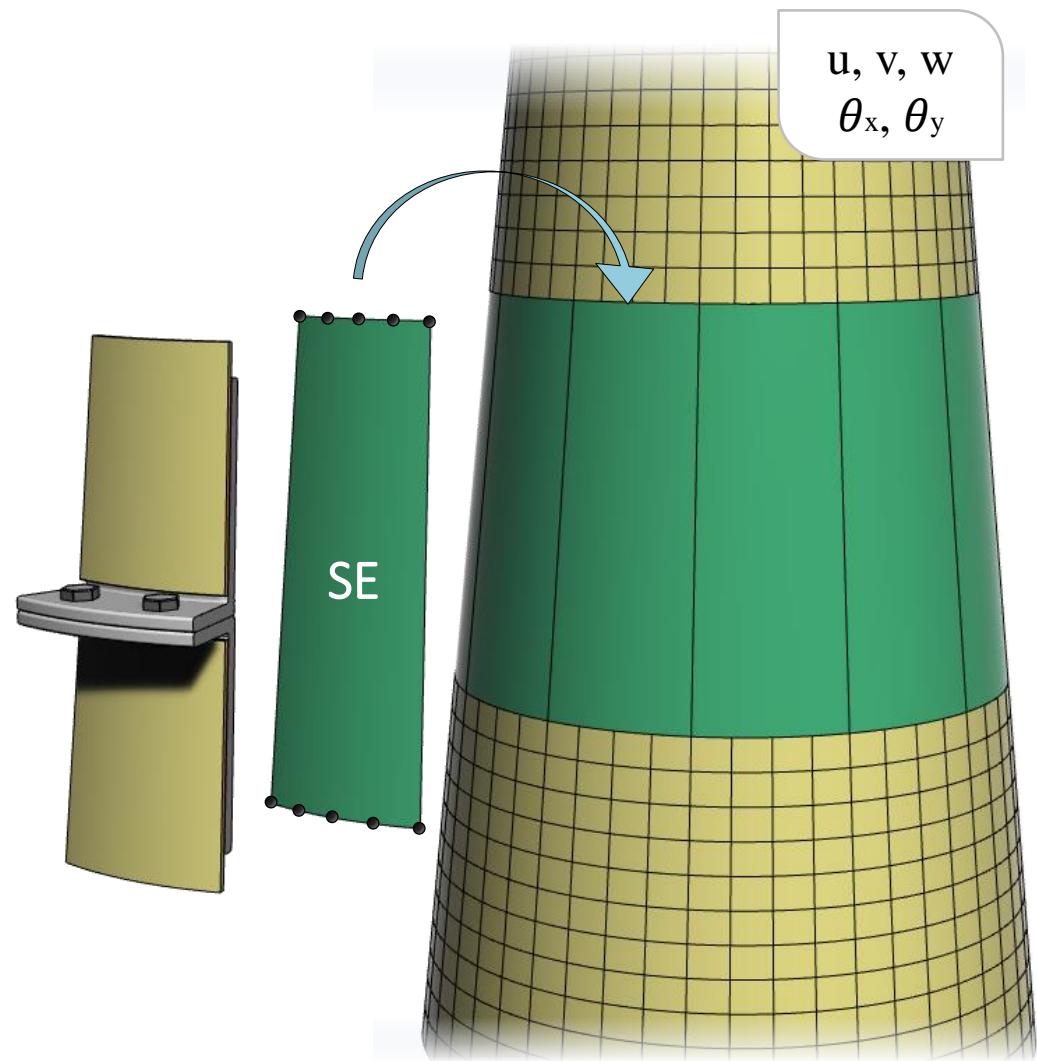
La metodología propuesta consiste en aislar las distintas zonas de discontinuidad en submodelos que se repitan.

A continuación, reducir dichos submodelos a *superelementos* (SE) compatibles con elementos tipo Shell.

# Enfoque

Definir y resolver un modelo estructural ensamblando elementos convencionales tipo Shell y los SE.

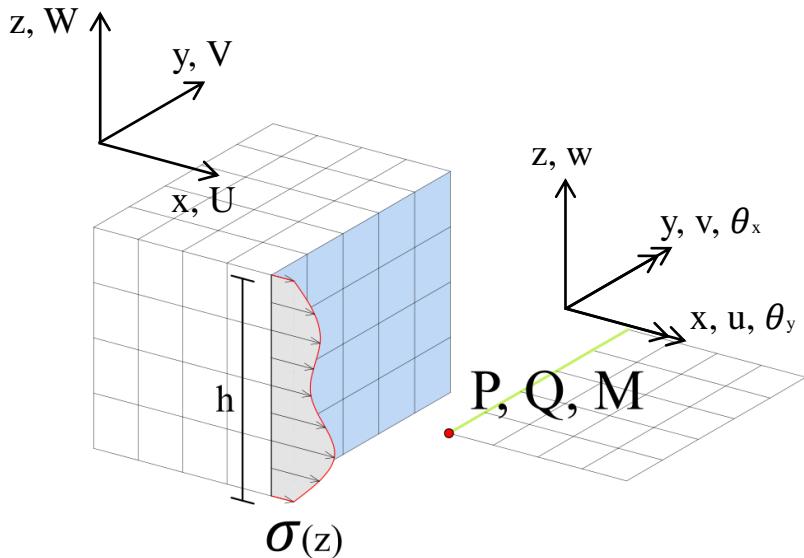
Finalmente evaluar el estado tensional en cada SE.



Modelo estructural /  
elementos Shell + SE

# Definición del SE

1. Condensación de los nodos internos en el modelo volumétrico de la irregularidad
2. Parametrización de los nodos de contorno mediante equilibrio energético.



Igualdad de reacciones

$$\int_A \sigma_x dA = P$$

$$\int_A \tau_{xz} dA = Q$$

$$\int_A \sigma_x z dA = M$$

Igualdad de energía

$$\int_A \sigma_x U dA = Pu$$

$$\int_A \tau_{xz} W dA = Qw$$

$$\int_A \sigma_x z U dA = M_y \theta$$

Relación débil entre los grados de libertad

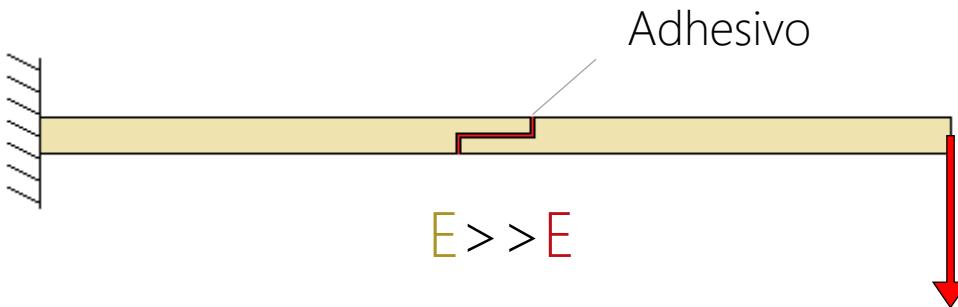
$$u = \sum k_i U_i$$

$$v = \sum k_i V_i$$

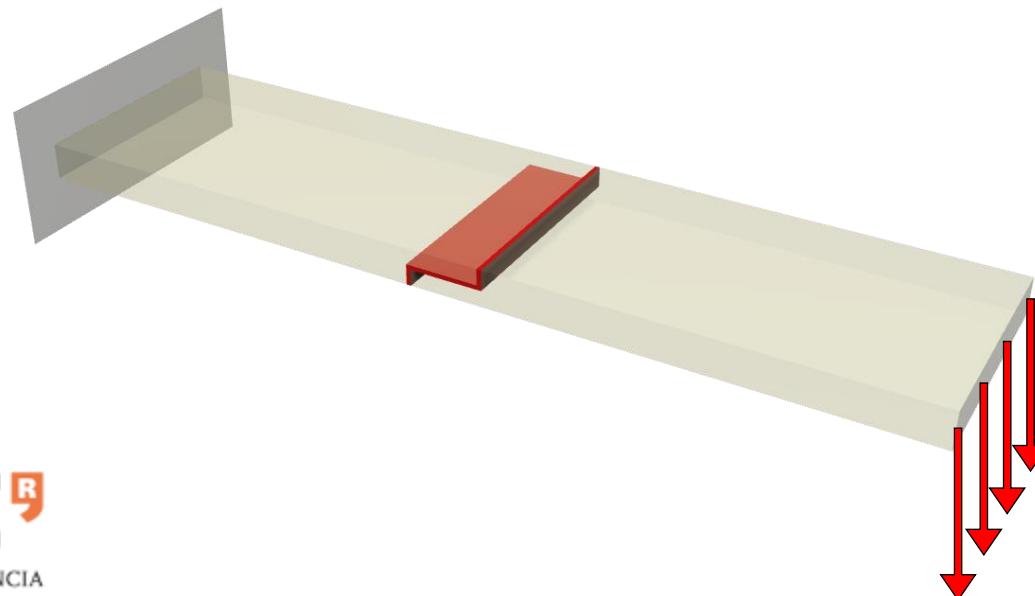
$$\theta = \sum k_i U_i$$

Compatibilidad en desplazamientos y tensiones

# Ejemplo de discontinuidad

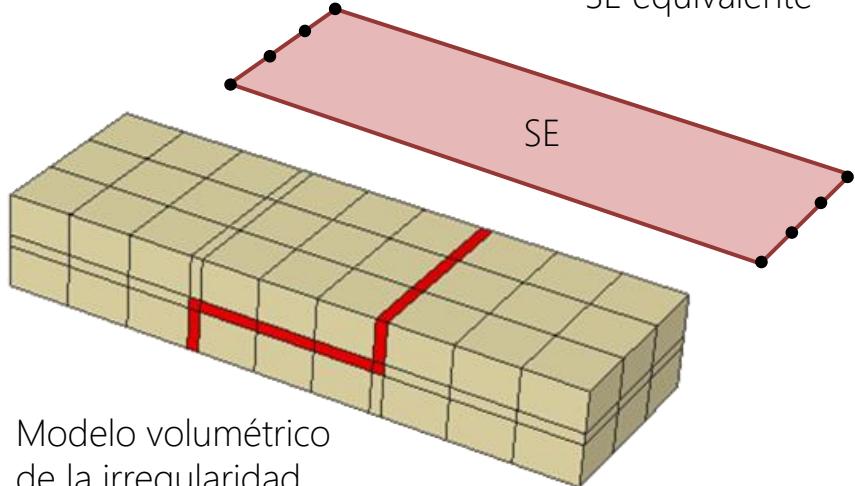
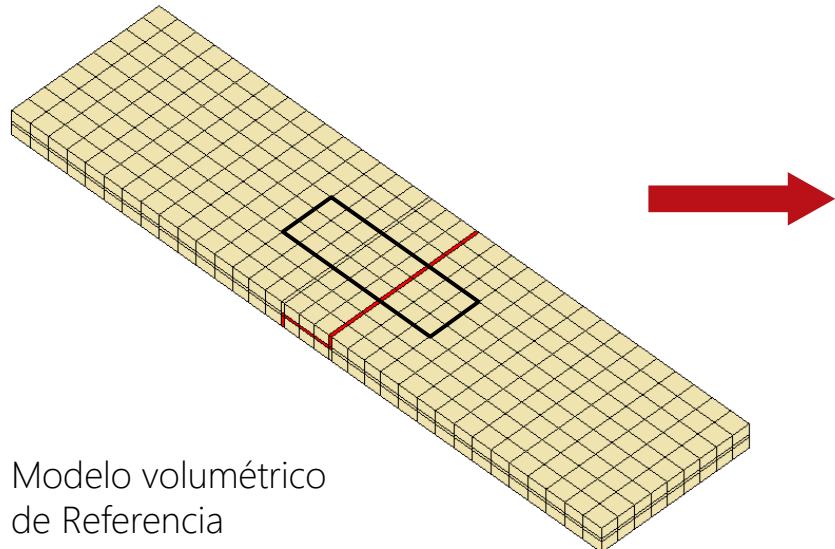


Modelo empotrado con dos materiales de distinta rigidez sujeto a un desplazamiento impuesto



Desplazamiento impuesto

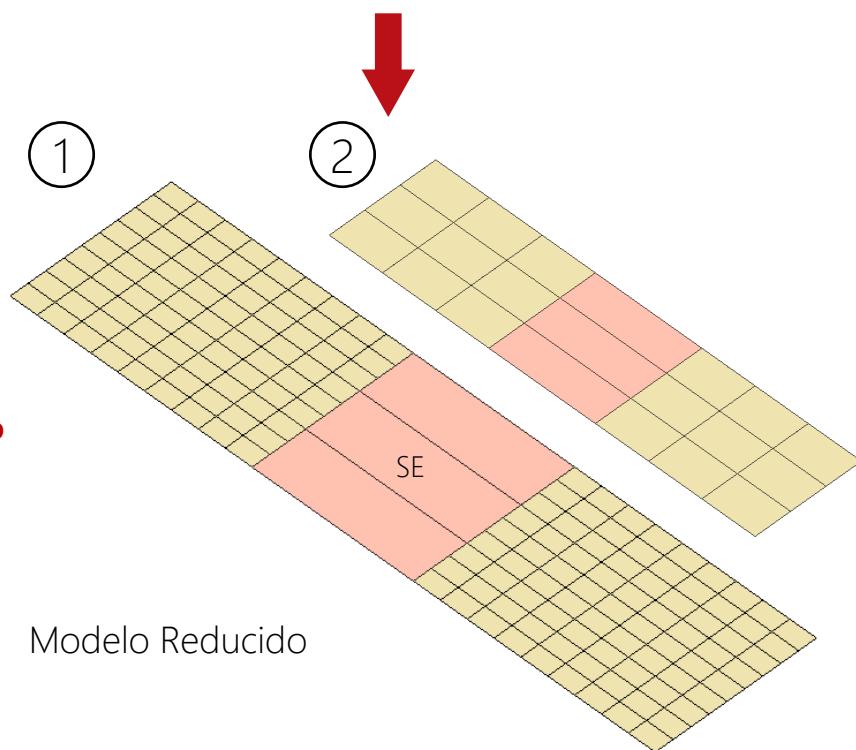
# Modelos



Grados de libertad	
Referencia	16000
Mod. Estructural 1	4000
Mod. Estructural 2	1800

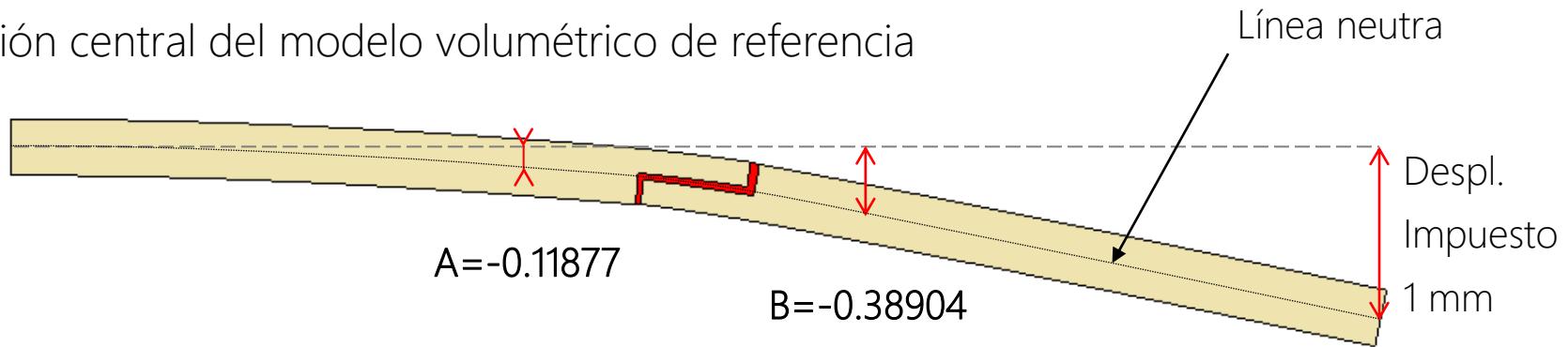


-90%

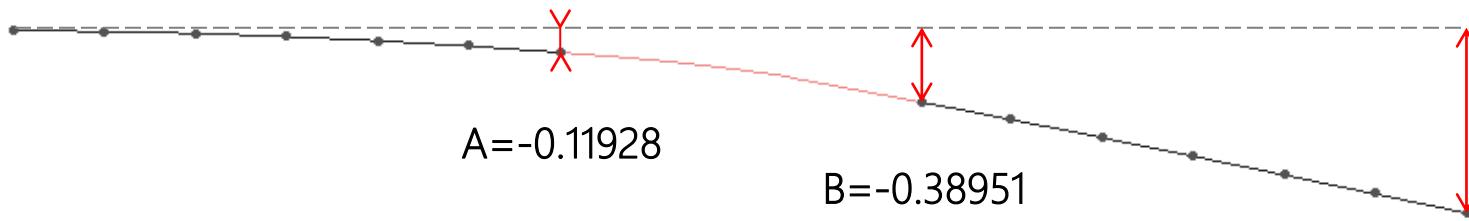


# Desplazamientos

Sección central del modelo volumétrico de referencia

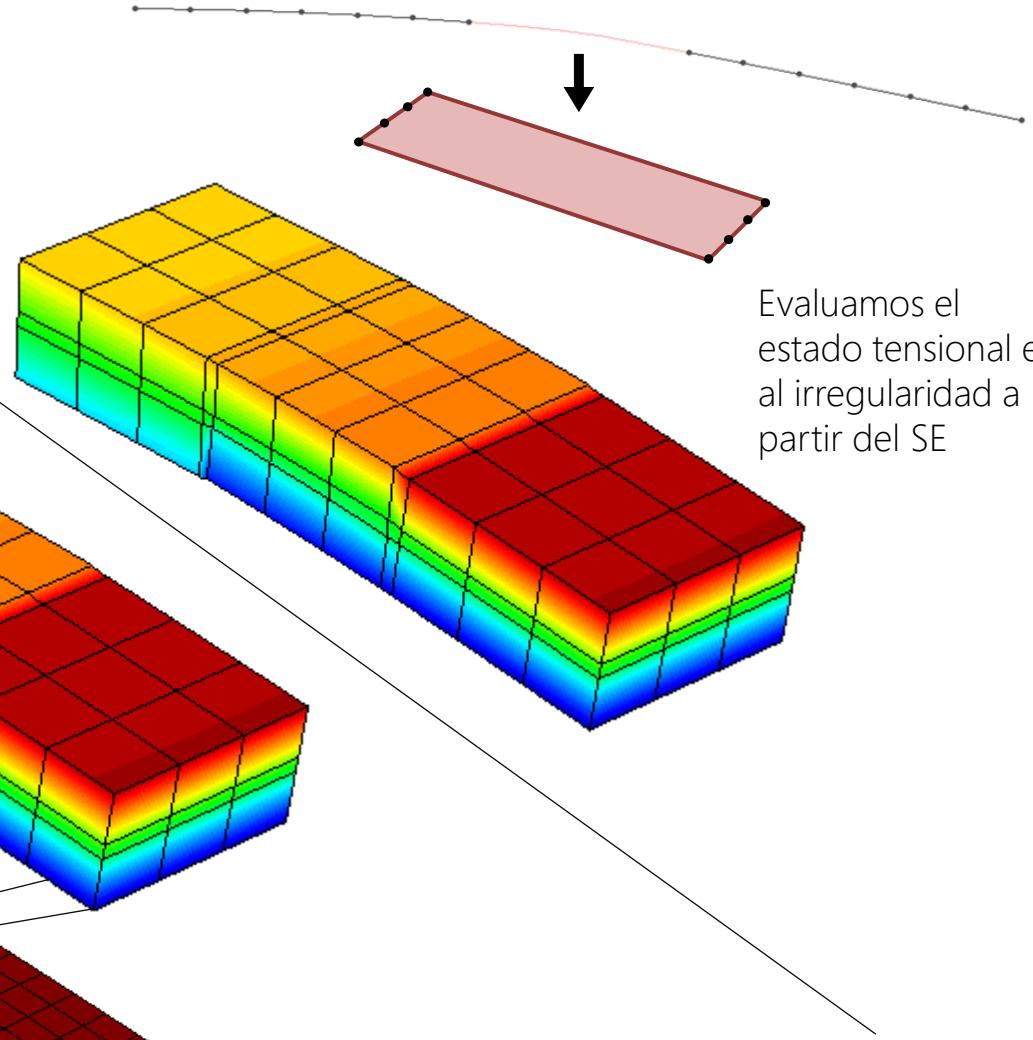
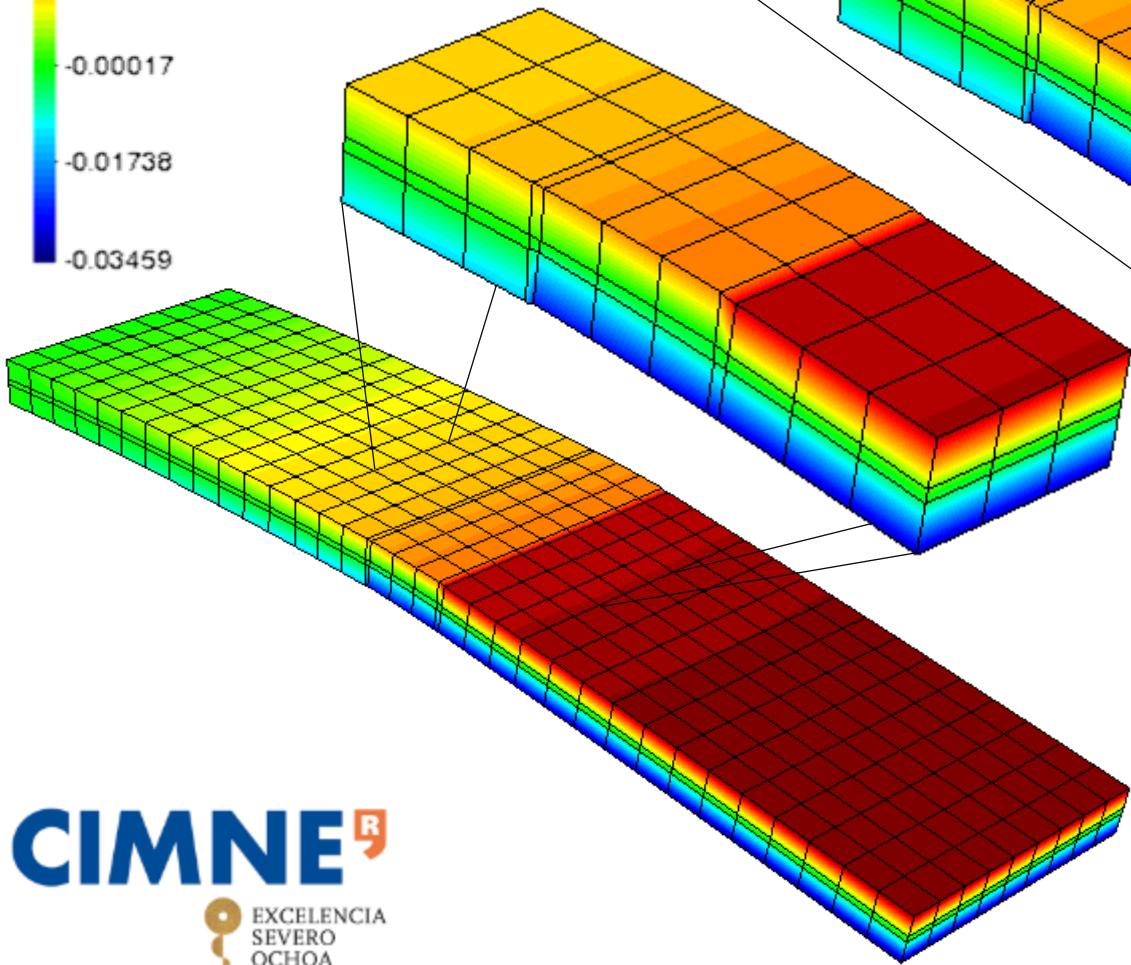
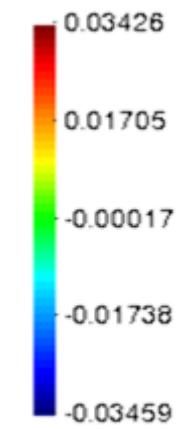


Sección central del modelo estructural



# Desplazamientos

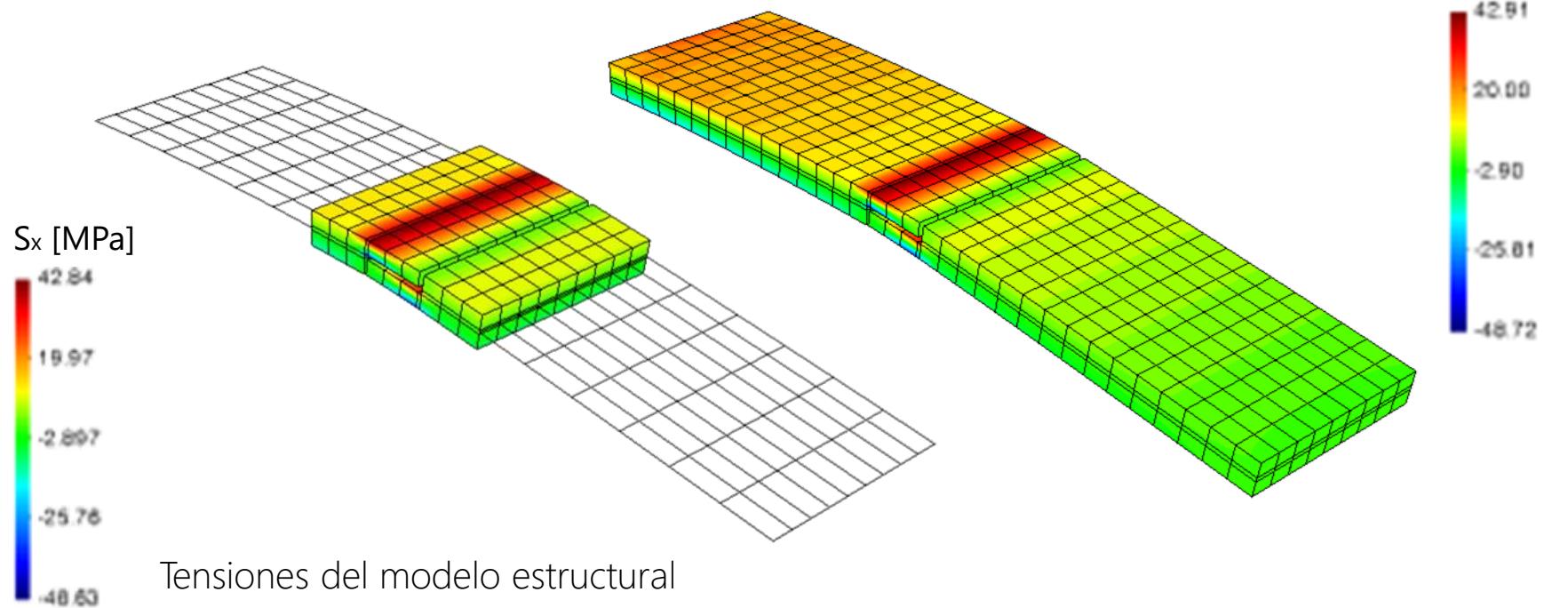
Despl. X



Evaluamos el estado tensional en al irregularidad a partir del SE

# Estado tensional

Tensiones en el modelo volumétrico de referencia



Podemos concluir que con la correcta definición de los superelementos el modelo estructural reducido es equivalente a su modelo análogo descrito con elementos volumétricos

# Conclusiones

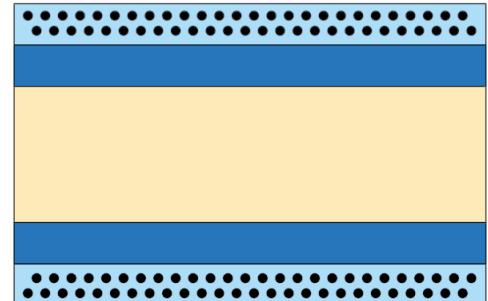
- La definición de los superelementos permite tener en cuenta el comportamiento de uniones y otras discontinuidades con la precisión propia de un modelo volumétrico, utilizando elementos lámina.
- Esta metodología permite minimizar el coste computacional asociado al análisis de grandes estructuras de material compuesto teniendo en cuenta sus detalles estructurales.

# Desarrollos

- Extender el acople energético a secciones laminares propias de los materiales compuestos.
- Automatizar el proceso de generación y definición de los SE así como su asignación y ensamblaje en el modelo estructural.
- Explorando teorías laminares más complejas y con mas grados de libertad mas idóneas para laminados tipo sándwich.

Futuras líneas de investigación

- Estudiar la implementación a modelos no lineales



# Agradecimientos



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement N° 952966.



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement N° 101006860.





Muchas gracias por  
su atención

Francesc Turon