

*Método de descomposición de dominios no invasivo
para el estudio de la delaminación de materiales
compuestos*

XVII Jornada de Mecánica Computacional

Michèle Brehier¹, **Paul Oumaziz**², Karin Saavedra³

¹ ENS Cachan / Université Paris-Saclay

² Núcleo Científico Multidisciplinario-DI, Universidad de Talca

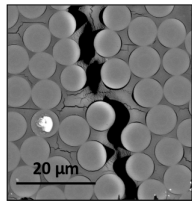
³ Dpto. de Ing. y Gestión de la Construcción, Universidad de Talca

4 de octubre 2018, Punta Arenas

Introducción

Estudio de estructura compuestas



Diferentes modos de degradación



(a) *Decohesión
fibro/matriz*¹

(b) *Delaminación
entre láminas*²

Delaminación:

-  Fenómeno no lineal
-  Fenómeno a pequeña longitud de onda

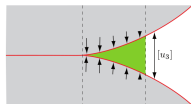
¹Naylor y col., "Mesures de champs de déformations par corrélations d'images pour l'identification de modèles mécaniques microscopiques de composites à matrice polymère", 2017.

²DCB test-ENSAM Bordeaux, 2014.

Introducción



Estudio de estructura compuestas

Diferentes modos de degradación



(a) *Modelo de zona cohesiva*

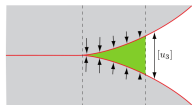
Delaminación:

-  Fenómeno no lineal
-  Fenómeno a pequeña longitud de onda

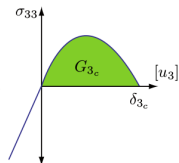
Introducción

Estudio de estructura compuestas

Diferentes modos de degradación



(a) Modelo de zona cohesiva



(b) Modelo de ley cohesiva¹

Delaminación:



Fenómeno no lineal

- Algoritmo de resoluciones no lineales (Newton, Crisfield², Latin³)



Fenómeno a pequeña longitud de onda

¹O. Allix, Lévêque y Perret, "Identification and forecast of delamination in composite laminates by an interlaminar interface model", 1998.

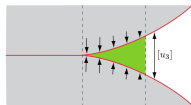
²Crisfield, "A fast incremental/iterative solution procedure that handles "snap-through"", 1981.

³Ladevèze, *Nonlinear computational structural mechanics: new approaches and non-incremental methods of calculation*, 1999.

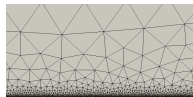
Introducción

Estudio de estructura compuestas

Diferentes modos de degradación



(a) Modelo de zona cohesiva



(b) Ejemplo de discretización al interfaz

Delaminación:

- Fenómeno no lineal
- Fenómeno a pequeña longitud de onda
 - Discretización fina de las interfaces : Muchos grados de libertad
 - Métodos de descomposición de dominios (BDD¹, FETI², método mixto³)

¹Mandel, "Balancing domain decomposition", 1993.

²Farhat y Roux, "A method of finite element tearing and interconnecting and its parallel solution algorithm", 1991.

³Gander, "Optimized Schwarz Methods", 2006.

Plan

- 1 Un método de descomposición de domino mixto : el existente
- 2 Gestión de la etapa local : interfaces de delaminación
- 3 Simulación de un ensay DCB

Plan

- 1 Un método de descomposición de domino mixto : el existente
- 2 Gestión de la etapa local : interfaces de delaminación
- 3 Simulación de un ensay DCB

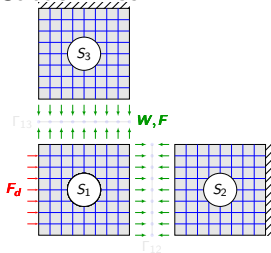
El método Latin

Principio del método Latin⁴

No incremental y solver no lineal

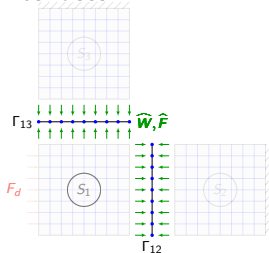
 Distinción subdominios / interfaces:

Subdominios



Lineal isotrópico elástico

Interfaces

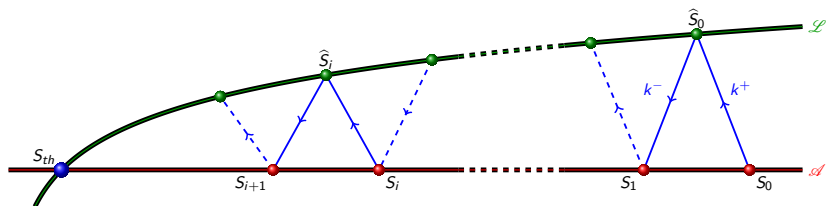


Perfectas, contacto o delaminación

⁴Ladevèze, *Nonlinear computational structural mechanics: new approaches and non-incremental methods of calculation*, 1999.

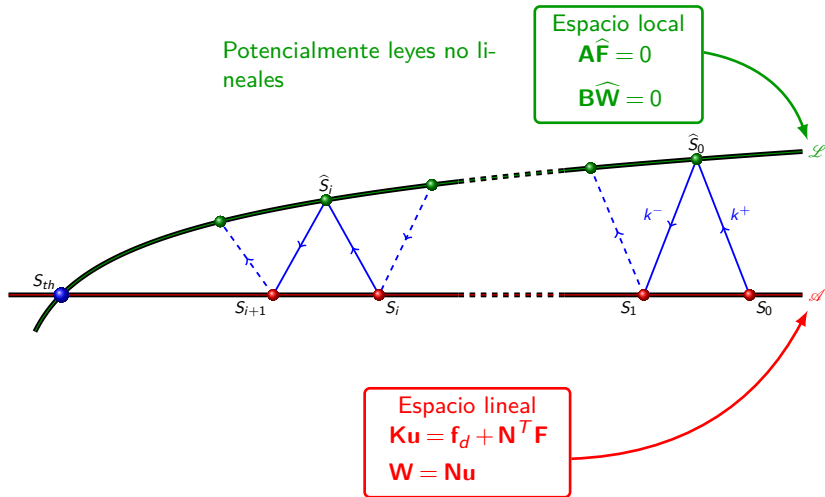
El método Latin

Ilustración del principio



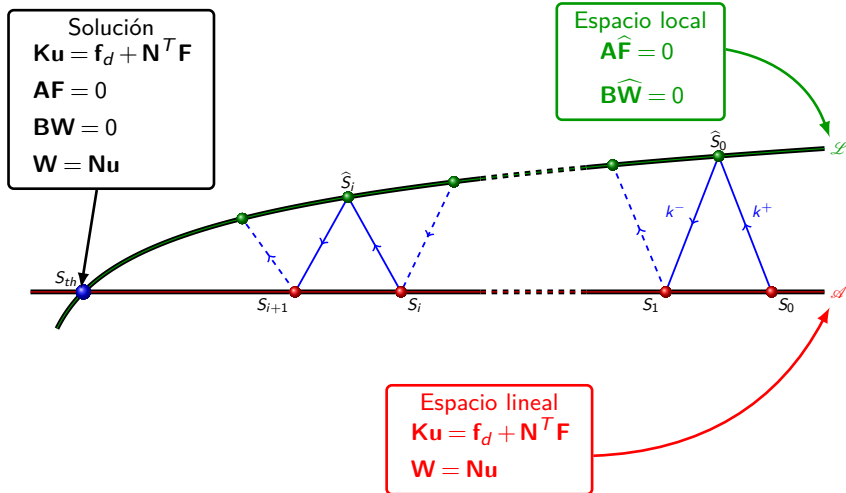
El método Latin

Ilustración del principio



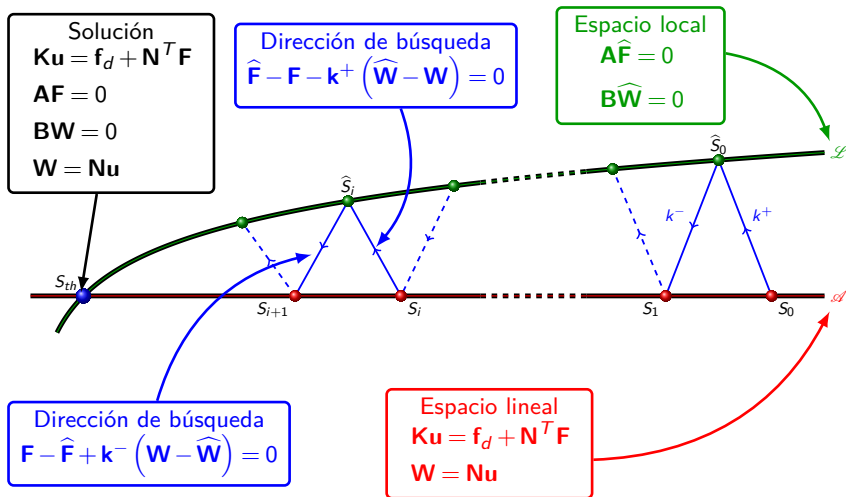
El método Latin

Ilustración del principio



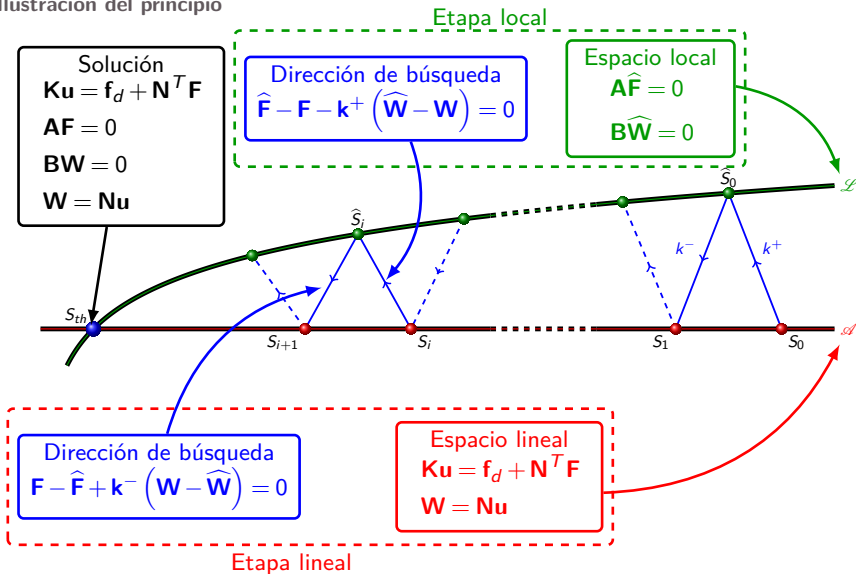
El método Latin

Ilustración del principio



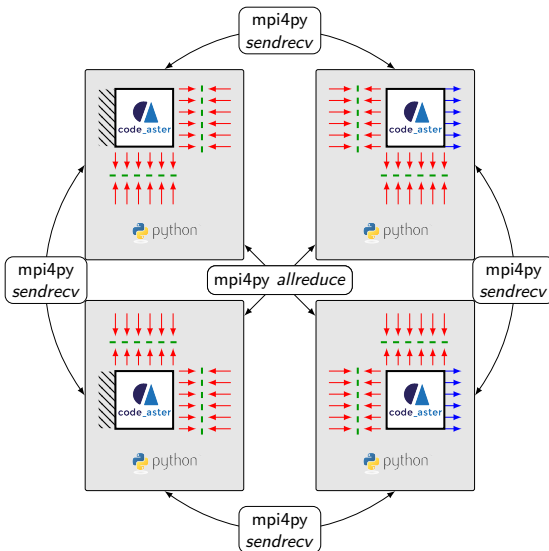
El método Latin

Ilustración del principio



El método Latin

Implementación



El método Latin

Ilustración

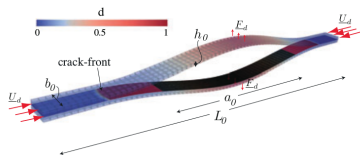
Una viga en tracción

El método Latin

Algunas implementaciones del método

Para la descomposición de dominios

- Contacto⁵
- Extensible⁶
- Delaminación y pandeo⁷
- No invasivo y contacto⁸



⁵Blanze y col., "A modular approach to structure assembly computations: application to contact problems", 1996; Blanzé, Champany y Vedrine, "Contact problems in the design of a superconducting quadrupole prototype", 2000.

⁶Dureisseix, "Une Approche Multi-échelles pour des Calculs de Structures sur Ordinateurs à Architecture Parallèle", 1997; Loiseau, "Une stratégie de calcul multiéchelle pour les structures hétérogènes", 2001.

Plan

- 1 Un método de descomposición de domino mixto : el existente
- 2 Gestión de la etapa local : interfaces de delaminación
- 3 Simulación de un ensay DCB

Etapa local de delaminación : el problema a resolver

Sistema de 3 ecuaciones :

$$\begin{aligned}
 \mathbf{A}\widehat{\mathbf{F}} &= 0 && \text{Equilibrio de la interfaz} \\
 \widehat{\mathbf{F}} &= \mathbf{B}^T \mathbb{K} (\mathbf{B}\widehat{\mathbf{W}}) \mathbf{B}\widehat{\mathbf{W}} && \text{Comportamiento de la interfaz} \\
 \widehat{\mathbf{F}} - \mathbf{F} - \mathbf{k} (\widehat{\mathbf{W}} - \mathbf{W}) &= 0 && \text{Dirección de búsqueda}
 \end{aligned} \tag{1}$$

Que valor elegir para el parámetro \mathbf{k} ?

	$\mathbf{k} = \infty$	$\mathbf{k} < \infty$
Dirección de búsqueda	$\widehat{\mathbf{W}} = \mathbf{W}$	$\widehat{\mathbf{F}} - \mathbf{F} - \mathbf{k} (\widehat{\mathbf{W}} - \mathbf{W}) = 0$
Resolución	explicita	no lineal
Tiempo de resolución	+	-
Numero de iteraciones	-	+

Etapa local de delaminación

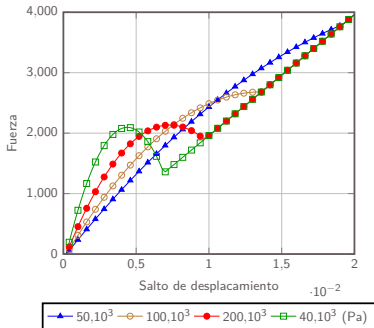
Dirección de búsqueda normal

Problema a resolver:

$$\left(\mathbf{Bk}^{-1} \mathbb{K}(\widehat{\mathbf{B}\mathbf{W}}) + \mathbf{I} \right) \widehat{\mathbf{B}\mathbf{W}} = \mathbf{B}\mathbf{W} - \mathbf{Bk}^{-1} \mathbf{F} \quad (2)$$

● Problema no lineal de tipo : $\mathbf{K}(u)u = f$

● Depende de la rigidez inicial de la interfaz \mathbb{K}_0



Pequeña rigidez:

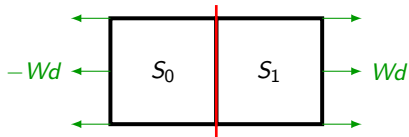
● Método de Newton

Larga rigidez:

● Método de continuación

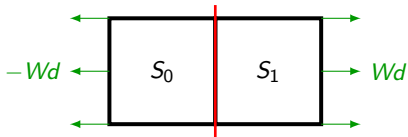
Etapa local de delaminación

Comparación entre las 2 implentaciones

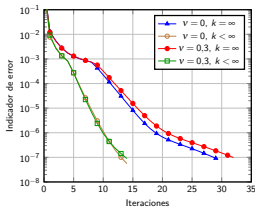


Etapas local de delaminación

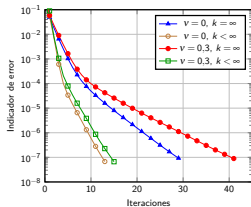
Comparación entre las 2 implementaciones



Comparación del numero de iteraciones



(c) Caso 2D

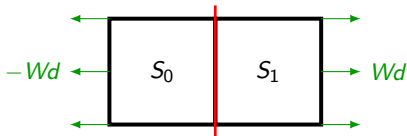


(d) Caso 3D

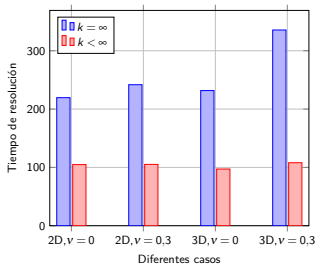
Dirección infinita menos eficiente que la dirección normal (2 a 3× más lento)

Etapa local de delaminación

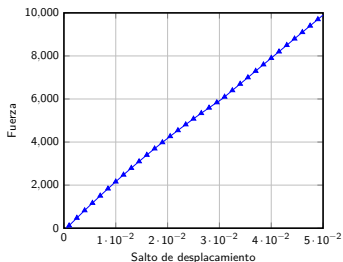
Comparación entre las 2 implementaciones



Comparación del tiempo de resolución



(e) *Tiempo de resolución*



(f) *Baja non linealidad*

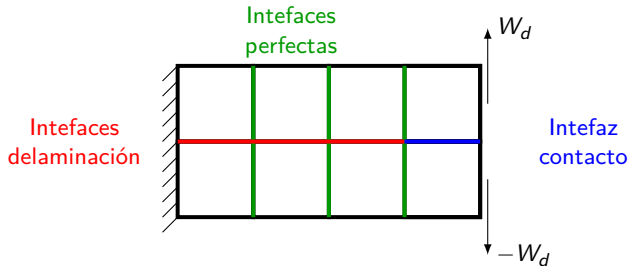
No linealidad muy baja, solo una o dos iteraciones de Newton

Plan

- 1 Un método de descomposición de domino mixto : el existente
- 2 Gestión de la etapa local : interfaces de delaminación
- 3 Simulación de un ensay DCB

Ensayo DCB

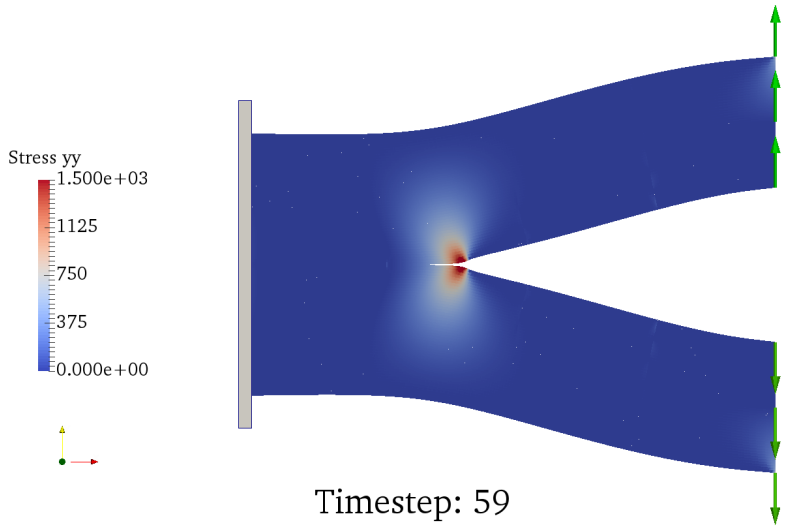
Ensayo simplificado de delaminación



- Modelo de esfuerzo plano
- 8 subdominios
- 62000 grados de libertad
- 60 paso de carga

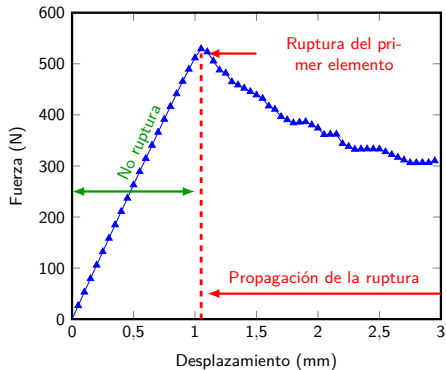
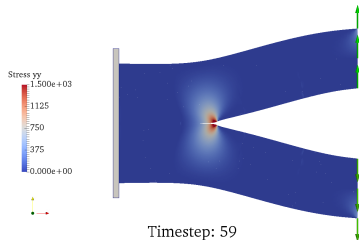
Ensayo DCB

Ensayo simplificado de delaminación



Ensayo DCB

Ensayo simplificado de delaminación



Conclusión

Simulación de la delaminación en materiales compuestos

- Validación de la implementación en 2D
- Dirección de búsqueda más eficiente que el existente
- Método completamente non incremental

Algunas limitaciones:

- No es completamente no invasivo para el 3D
- Aplicación a problemas más complejos
- Verificación de la independencia a la malla