

## MODELADO MULTIESCALA DE MATERIALES UTILIZANDO TECNICAS HR-FE<sup>2</sup>

### MULTISCALE MODELLING OF MATERIALS USING HR-FE<sup>2</sup> TECHNIQUES

Oriol Lloberas-Valls<sup>a,b</sup>, Marcelo Raschi<sup>a</sup>, Alfredo E. Huespe<sup>b,c</sup> y Javier Oliver<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup>*Centre Internacional de Metodes Numerics a l'Enginyeria (CIMNE), Campus Nord UPC, 08034  
Barcelona, Spain, e-mail: olloberas@cimne.upc.edu*

<sup>b</sup>*Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) - BarcelonaTech Campus Nord UPC, Mòdul C-1 101, c/  
Jordi Girona 1-3, 08034 Barcelona, Spain*

<sup>c</sup>*CIMEC-UNL-CONICET, Güemes 3450, Santa Fe, Argentina*

**Palabras clave:** Técnica multiscale para materiales, modelos de orden reducido, HR-FE<sup>2</sup>

**Resumen.** Este trabajo describe una técnica de orden reducido para el modelado multiscale de materiales, y se lo evalúa con un caso industrial 3D de un compuesto laminado reforzado con fibras. Los modos reducidos dominantes son obtenidos con una metodología POD ("Proper Orthogonal Decomposition") aplicada a un conjunto de soluciones calculadas con una técnica de elementos finitos multiscale convencional durante un entrenamiento previo (off-line). La reducción del modelo se complementa con un esquema de cuadratura reducida óptima que se aplica tanto a las ecuaciones variacionales del problema de equilibrio como a las ecuaciones de salto de escala. El resultado es un modelo con un número notablemente reducido de modos de deformación y de puntos de cuadratura que genera un procedimiento numérico altamente eficiente medido en términos de aceleración computacional. Se presentan resultados que muestran la consistencia del análisis multiscale reducido y las aceleraciones obtenidas.

**Keywords:** Multiscale technique for material modeling, reduced order models, HR-FE<sup>2</sup>.

**Abstract.** A reduced order technique for multiscale modeling of materials is described and is evaluated for a 3D industrial case of a fiber reinforced laminated composite. The dominant reduced modes are obtained with a POD ("Proper Orthogonal Decomposition") methodology. POD is applied to a set of calculated solutions that are computed with a conventional multiscale finite element model during an initial (off-line) training step. The model reduction is complemented with an optimal reduced quadrature scheme. The resulting technique has a markedly reduced number of deformation modes and quadrature points generating a highly efficient numerical procedure measured in terms of computational speed-ups. Results displaying the consistency of the reduced multi-scale analysis and obtained speed-ups are presented.