

## ESTUDIO SOBRE LA SOLUCIÓN DE SISTEMAS DE ECUACIONES LINEALES DE PROBLEMAS MULTI-ESCALA APLICANDO MÉTODOS ITERATIVOS

### SOLUTION STUDY OF LINEAR EQUATIONS SYSTEMS OF MULTI-SCALE PROBLEMS APPLYING ITERATIVE METHODS

Lucas Hernández<sup>b</sup>, Sebastián Toro<sup>a,b</sup> y Gustavo Ríos Rodríguez<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup>CIMEC-UNL-CONICET, Colect. Ruta Nac. 168, Km 0, Paraje El Pozo, Santa Fe, SF, Argentina, [www.cimec.org.ar](http://www.cimec.org.ar).

<sup>b</sup>FICH-UNL, Ciudad Universitaria, Santa Fe, SF, Argentina, [www.fich.unl.edu.ar](http://www.fich.unl.edu.ar).

**Palabras clave:** formulaciones multiescala, RVE, FE<sup>2</sup>, sistemas lineales, métodos iterativos.

**Resumen.** En la solución numérica (FE<sup>2</sup>) de un problema multiescala basado en el concepto de RVE, se deben imponer condiciones de borde que no son estándar para que el mismo quede adecuadamente planteado. Dentro de estas, las más conocidas son las de los tipos lineal, periódica y mínima restricción. Estas condiciones modifican la matriz de rigidez del problema de elementos finitos del RVE y en general complejizan la resolución del sistema de ecuaciones lineales, más aún teniendo en cuenta que para ello se aplican, debido al tamaño de malla de interés, métodos iterativos. En este trabajo se estudian las características de las matrices obtenidas para un problema multiescala mecánico lineal elástico, considerando dos métodos de aplicación de las condiciones de borde: condensación estática y multiplicadores de Lagrange. Se analizan la topología de la matriz, la distribución y rango de sus autovalores, así como también la evolución con el tamaño de malla del número de condición de las matrices. Utilizando esta información y realizando pruebas numéricas se analizan diferentes métodos iterativos y preconditionadores según criterios de tiempo de cálculo y robustez.

**Keywords:** multiscale formulations, RVE, FE<sup>2</sup>, linear systems, iterative methods.

**Abstract.** In the numerical solution (FE<sup>2</sup>) of a RVE-based multiscale problem, non-standard boundary conditions have to be imposed in order to properly define it. Among these, the best known are linear, periodic and minimum constraint. These conditions modify the stiffness matrix of the finite element problem of the RVE and, in general, they tend to complicate the solving performance of the linear equations system, especially considering that, due to the mesh size of interest, iterative methods are applied. In this work, the characteristics of the matrices obtained from an elastic linear mechanical multiscale problem are studied, considering two methods of application of the boundary conditions: static condensation and Lagrange multipliers. The matrices topology, the distribution and range of their eigenvalues, as well as their condition numbers evolution with the mesh size are analyzed. Using this information and performing numerical tests, different iterative methods and preconditioners are analyzed according to requirements of calculation time and robustness.