

PASTAS DE CEMENTO ALIVIANADAS CON MICROESFERAS HUECAS DE VIDRIO: HOMOGENEIZACIÓN DE PARÁMETROS ELÁSTICOS Y MODELO NO LOCAL DE DAÑO MECÁNICO

LIGHTWEIGHT CEMENT PASTES WITH HOLLOW GLASS MICROSPHERES: HOMOGENIZATION OF ELASTIC PARAMETERS AND NONLOCAL MECHANICAL DAMAGE MODEL

Juan Ignacio Etcheberry^a, Christian Marcelo Martín^{a,b}

^a*Facultad de ingeniería, Universidad de Buenos Aires, Av. Gral. Las Heras 2214, C1119 CABA, Argentina*

^b*Ingeniería Civil - Depto Ambiente y Movilidad - Instituto Tecnológico de Buenos Aires*

Palabras clave: Pasta de cemento, Microesferas huecas de vidrio, Modelo de daño no local, Homogeneización micromecánica, Comportamiento químico-poromecánico.

Resumen. Las microesferas huecas de vidrio (HGMS) se emplean para alivianar las pastas de cemento utilizadas en pozos de extracción de hidrocarburos e inyección de CO₂. Estas pastas aseguran el aislamiento zonal, protegen el casing y soportan cargas mecánicas. La incorporación de HGMS reduce la densidad y, con ello, la presión hidrostática ejercida sobre la formación, aspecto crítico en formaciones de baja resistencia. No obstante, las HGMS modifican el comportamiento del material compuesto. En este trabajo se implementa un modelo numérico químico-poromecánico capaz de representar de manera acoplada el comportamiento de pastas tradicionales en condiciones de pozo. El modelo se mejora incorporando la influencia de las HGMS mediante homogeneización micromecánica y un modelo de daño continuo no local dependiente del gradiente, que describe la degradación de rigidez una vez superado un umbral específico. El modelo acoplado se calibra y valida con resultados experimentales de laboratorio.

Keywords: Cement paste, Hollow glass microspheres, Nonlocal damage model, Micromechanical homogenization, Chemo-poromechanical behavior.

Abstract. Hollow glass microspheres (HGMS) are used to lighten cement pastes applied in hydrocarbon extraction and CO₂ injection wells. These pastes ensure zonal isolation, protect the casing, and sustain mechanical loads. The use of HGMS lowers density and hydrostatic pressure on the formation, which is crucial in low-strength, deep wells. However, HGMS alter the composite behavior. This work implements a chemo-poromechanical numerical model able to simulate traditional cement pastes under CO₂ injection conditions. The model is enhanced to account for HGMS effects on elastic parameters through micromechanical homogenization and includes a nonlocal gradient-dependent damage formulation describing stiffness degradation beyond a specified threshold. The coupled model is calibrated and validated using laboratory results.