

Resumen

El método de los elementos finitos es una potente herramienta de análisis que ha facilitado un mejor conocimiento del comportamiento de las estructuras de hormigón armado. Su uso en el ámbito de la investigación está ampliamente extendido y complementa los ensayos experimentales y el desarrollo de nuevos modelos analíticos. Su aplicación en la práctica ingenieril ha permitido la resolución de elementos complejos y la propuesta de diseños más consistentes. Sin embargo, el ingeniero estructural común todavía es reticente a usar la modelización por elementos finitos en su trabajo ya que considera que la mayoría de estos modelos son excesivamente sofisticados para sus necesidades y su conocimiento. Especialmente preocupante es que algunos de ellos usen herramientas de elementos finitos incluso cuando no entienden los fundamentos de las mismas, lo que puede representar un riesgo para la seguridad estructural. Para acercar la modelización por elementos finitos a la práctica profesional es necesario reconocer que las necesidades son diferentes de las del investigador y, por lo tanto, las herramientas y modelos deben ser adaptados. La complejidad de muchas herramientas de elementos finitos suele derivarse de la adopción de modelos constitutivos de hormigón avanzados. La implementación de modelos más sencillos podría facilitar su uso por usuarios menos experimentados.

En la práctica ingenieril el análisis con elementos finitos puede ser de gran utilidad para tratar aquellos elementos más problemáticos y/o donde la aplicación de los métodos de análisis tradicionales presenta limitaciones. Esto incluye las llamadas regiones D con comportamiento 3D, que están caracterizadas por campos de tensiones complejos provocados por cambios abruptos en la geometría de la estructura y/o cargas concentradas. El método de bielas y tirantes y el método de campos de tensiones son herramientas consistentes y racionales para el análisis y dimensionamiento de regiones D, pero mientras que su aplicación a elementos 2D está bien cubierta en la literatura, su extensión a 3D es problemática. Este hecho explica por qué se adoptan todavía hipótesis excesivamente conservadoras en el dimensionamiento de estos elementos. La propuesta de métodos analíticos y de diseño más adecuados o la modelización con elementos finitos podría conducir a soluciones más racionales, lo que a su vez reduciría las necesidades de material y los costes.

Como parte de esta tesis se ha desarrollado una herramienta de cálculo no lineal basada en el método de los elementos finitos orientada al análisis y dimensionamiento de regiones D tridimensionales por usuarios con menos experiencia en

la modelización con elementos finitos. En lo que respecta a la modelización del material, se ha adoptado un modelo ortotrópico para el hormigón para permitir el uso de relaciones uniaxiales de tensión-deformación. Sólo es necesario definir un único parámetro, la resistencia a compresión uniaxial del hormigón. Inicialmente la resistencia a tracción del hormigón era despreciada en los análisis siguiendo las hipótesis del método de bielas y tirantes y campos de tensiones. Se introdujo después un modelo constitutivo más avanzado, pero todavía simple, para considerar la contribución del hormigón en tracción. Adicionalmente, se han implementado varias funciones de ayuda, entre las que destacan: un modelo de armadura embebida para facilitar la introducción de geometrías de armado complejas; elementos especiales de apoyo y de carga que permiten un tratamiento integral y sencillo de las condiciones de contorno impuestas por ellos; y un algoritmo de diseño para la determinación de manera automática del área de armado necesaria en función de las tensiones calculadas.

Se presentan tres ejemplos de aplicación a regiones D 3D representativas para mostrar las capacidades de la herramienta y describir el comportamiento de estos elementos. En particular, en la tercera parte del documento se describen los análisis de catorce encepados sobre cuatro pilotes, tres cálices de cimentación y un bloque de anclaje. Los resultados muestran que se pueden obtener predicciones bastante realistas considerando modelos constitutivos relativamente sencillos. También se demuestra la capacidad de la herramienta para configurar modelos de campo de tensiones consistentes dependiendo de la configuración de armado. Además se muestra la capacidad del algoritmo de diseño para configurar disposiciones de armado racionales.

En la cuarta parte del documento se propone un método basado en un modelo de bielas y tirantes para el análisis y dimensionamiento de encepados sobre cuatro pilotes con geometría rectangular. Este modelo se derivó a partir de las conclusiones obtenidas del análisis de elementos finitos con la herramienta desarrollada y los datos experimentales obtenidos de la literatura. El método se basa en un modelo 3D de bielas y tirantes refinado y la consideración de tres modos de fallo posibles: rotura del acero, aplastamiento de la biela diagonal en la base de la columna con estrechamiento de la misma y splitting de la biela diagonal debido a la fisuración transversal. La principal novedad es que el ángulo de la biela no se fija como en los modelos actuales de bielas y tirantes, sino que se determina mediante la maximización de la resistencia del encepado. El método considera el debilitamiento de la resistencia del hormigón fisurado, condiciones de compatibilidad de deformaciones y detalles de armado. Su aplicación a 162 especímenes dio lugar a la obtención de muy buenas predicciones de la resistencia última y, en menor grado, del modo de fallo.
