

Evaluación de Cotas Estrictas para el Análisis en Estado Límite de Geomateriales mediante Programación Cónica de Segundo Orden.

Autor: Raúl Gutiérrez García

Tutores: Antonio Huerta Cerezuela & Jaime Peraire Guitart

Resumen

En la actualidad, el cálculo en estado límite está cogiendo cada vez más relevancia por la necesidad de obtener resultados más realistas. Actualmente la capacidad de cálculo de los ordenadores hace que se intenten abordar problemas mucho más complejos que años atrás. Ciertos problemas actuales de ingeniería precisan de modelos de cálculo que sean capaces de modelar eficientemente la realidad física del mismo. La teoría de elasticidad lineal es sencilla de abordar, aplicar y calcular, pero ofrece grandes simplificaciones al comportamiento real de los materiales, subestimando su capacidad resistente y ofreciendo resultados poco realistas en multitud de ocasiones. De aquí surge la necesidad de complementar los resultados en elasticidad lineal con modelos de cálculo más complejos, que permitan por ejemplo, una plastificación de parte del sólido antes de la rotura, acercándose mucho más al comportamiento real del sólido. Estas necesidades ingenieriles combinadas con los grandes avances de los ordenadores y el surgimiento de nuevos, eficientes y robustos algoritmos de optimización no lineal hacen del problema de estado límite (hace poco tiempo irresoluble) un campo asequible, por lo que se encuentra en proceso de pleno estudio y expansión.

Trabajamos con un sólido rígido, perfectamente plástico y sometido a una distribución fija de carga. El problema básico que aborda el análisis en estado límite es la consecución del mínimo múltiplo de esta distribución de carga que provoque la rotura del sólido. Este múltiplo de la distribución de carga proviene de la resolución de un problema de punto de silla en un dominio infinito. Sabiendo que este problema continuo de punto de silla tiene grandes propiedades de dualidad y restringiendo la condición de rotura a un cono convexo podemos plantear los conocidos principios estático y cinemático del estado límite.

Se desarrolla un procedimiento matemático eficiente para discretizar tanto el principio estático como el cinemático. Dichos principios se discretizan en espacios de interpolación adecuados que nos aseguran la consecución de cotas estrictas del multiplicador exacto de colapso. Se ha trabajado en todo momento con una condición de rotura convexa adecuada para geomateriales como lo es el modelo de rotura de Drucker-Prager. Gracias a emplear dicho modelo de rotura conseguimos grandes resultados para materiales que poseen grandes diferencias resistivas a tracción y a compresión como es el caso del hormigón.

El proceso tiene dos etapas claramente diferenciadas. Una primera etapa donde se discretiza el principio estático del estado límite mediante dos espacios de interpolación distintos. Uno de ellos es un espacio de interpolación puramente estático para las tensiones y el campo de flujo plástico, para garantizar una cota inferior estricta del multiplicador exacto de colapso. El otro espacio de interpolación empleado es puramente cinemático para las tensiones y el campo de flujo, garantizando a su vez la obtención de una cota superior estricta del multiplicador exacto de colapso.

El segundo paso se basa en reformular dichos principios a una forma canónica para que puedan ser resueltos mediante los algoritmos de programación cónica, mediante el método del punto interior. Este algoritmo es capaz de resolver el problema primal y el dual al mismo tiempo aprovechando al máximo las propiedades de dualidad-convexidad del problema optimizando el esfuerzo de cálculo y asegurando en la mayoría de ocasiones una convergencia global de la solución. Obtendremos al final del proceso dos valores que acotarán de forma estricta inferior y superiormente el multiplicador exacto de colapso consiguiendo una medida del error cometido en el proceso de discretización.

Por otro lado se aprovecha a lo largo del trabajo un refinamiento adaptativo muy novedoso empleado anteriormente en una tesis doctoral de Héctor Ciria, basado en una medida de error local muy eficiente para resolver satisfactoriamente problemas con mecanismos de colapso concentrados en zonas pequeñas del mismo, como el ensayo brasileño.

Otra gran ventaja del proceso de cálculo es que podemos certificar a posteriori la validez de los resultados sin necesidad de contar con el programa de cálculo empleado. Únicamente con los campos solución y con las características geométricas de la malla, basta con comprobar en ellos su naturaleza estática y cinemática y ya podremos asegurar su validez como cotas estrictas del problema de estado límite. Por lo tanto no se tendrá la necesidad de conocer el programa empleado ni de tener conocimientos de programación para comprobar la fiabilidad de los resultados.

Finalmente se demuestra la eficiencia y robustez del método con diversos ejemplos entre los que se encuentra el ensayo brasileño, ampliamente utilizado para calcular la resistencia a la tracción del hormigón.