

ANÁLISIS DE CONVERGENCIA EN UNA CELDA DE CARGA

Objetivo

Estudiar la convergencia de los estimadores de error, desplazamientos y tensiones en un modelo de elementos finitos.

Hipótesis

- Formulación de pequeños desplazamientos y deformaciones[1]
- Material isótropo, lineal y homogéneo
- Material dúctil y falla por energía de deformación *Von Mises*

Método

Se hizo el análisis tomando como referencia un caso práctico y ajustando el mallado, tanto en cantidad de elementos (refinamiento h) como en el orden de los susodichos (refinamiento p).

Se trata de una celda de carga a la que se le coloca un *strain gauge* en la sección roja de la *Figura 1 (a)*. La *Figura 1 (b)* muestra las simplificaciones que se le hicieron al modelo para facilitar el mallado y el análisis sin perder información valiosa.

Las propiedades del material son:

- $E = 200GPa$
- $\nu = 0,3$
- $\sigma_y = 655Mpa$ y $\sigma_{ut} = 1020Mpa$

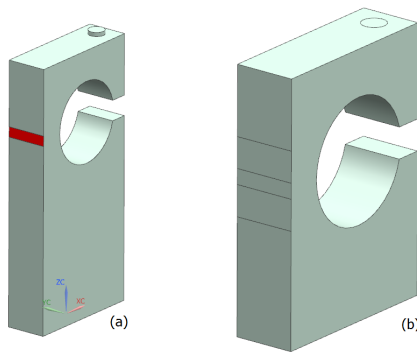


Figura 1: (a) Celda de carga (b) Modelo modificado

La cara inferior se empotró suponiendo que, por el principio de Saint-Venant, los efectos de esta condición de borde son despreciables en la zona de interés y equivalentes a modelar con la unión real (base abulonada).

En cuanto a las cargas, se aplicó una carga distribuida de manera tal que la fuerza total sea $F = 1N$. Las cargas se ven en rojo en la *Figura 2 (b)*.

Se realizó un cálculo preliminar con una malla gruesa de elementos tetraédricos lineales para localizar las zonas de mayor sollicitación y los sectores donde aparecen errores elementales más altos.

Se hicieron cuatro mallas más de elementos lineales que luego fueron transformadas a elementos cuadráticos para analizar el efecto del refinamiento p . Se hizo una última malla de elementos cuadráticos para verificar la convergencia. La *Figura 2 (a)* muestra el *seed* de las mallas más finas.

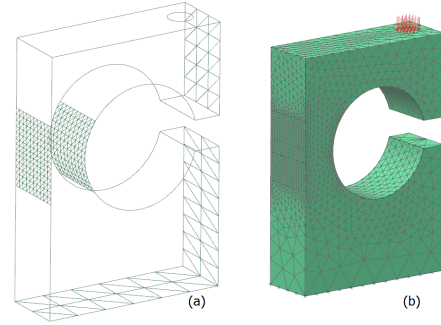


Figura 2: (a) Malla 2D o *seed* (b) Refinamiento

Resultados

Para estudiar este caso se calcularon los siguientes parámetros: desplazamiento máximo en la ranura (δ_{mx}), deformación promedio en el área del *strain gauge* (ε_{zz}), tensión máxima de *Von Mises* (σ_{VM}), nivel global de confianza (η) y el error elemental máximo.

En la *Figura 3* se muestra la convergencia del error global del modelo. Las líneas punteadas muestran la variación del error si se hace un refinamiento p desde cualquiera de las mallas. Es evidente la superioridad de los elementos cuadráticos sobre los lineales para representar este problema.

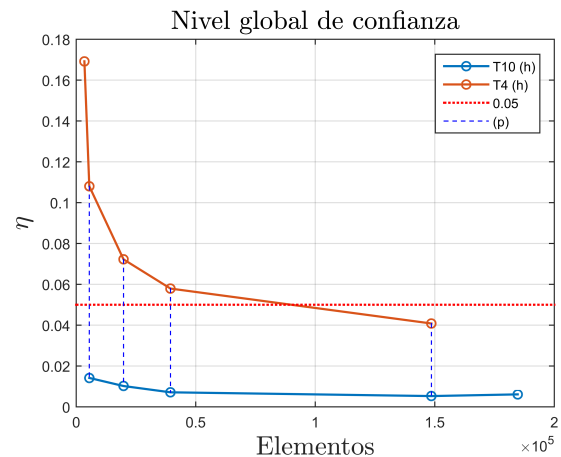


Figura 3: η con refinamientos h y p

En la *Figura 4* se encuentran los tres parámetros investigados del problema para cada una de las mallas tetraédricas de 10 nodos. Se decidió estudiar el caso con estos elementos porque la convergencia es más rápida.

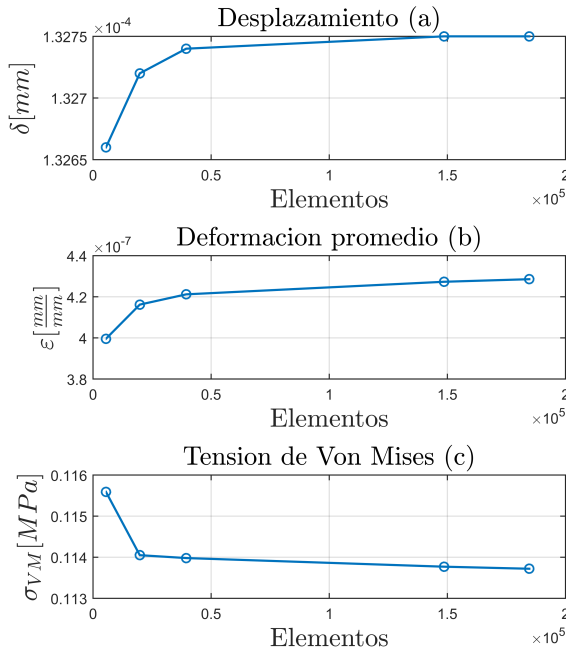


Figura 4: (a) Desplazamiento (b) Deformaciones (c) Tensiones

Post Procesado

Aprovechando la linealidad del método, se extrapolaron los valores de carga, desplazamiento y deformación que se obtienen al límite de la fluencia, tomando como referencia la tensión de *Von Mises* máxima de la pieza. Esta tensión máxima se encuentra en la cara interna de la celda, a la altura del *strain gauge*, como muestra la *Figura 5 (b)*. La deformación promedio se midió sobre el *strain gauge*, dado que es la medición que hará el instrumento. El desplazamiento se estudia en la ranura de la celda de carga, ya que resulta interesante saber si la celda se puede “cerrar” antes de la fluencia.

- Carga máxima aplicable $F_{max} = 5739N$.
- Desplazamiento máximo $\delta = 0,7646mm$.
- Deformación $\varepsilon_{mean} = 0,0025 \frac{mm}{mm}$.

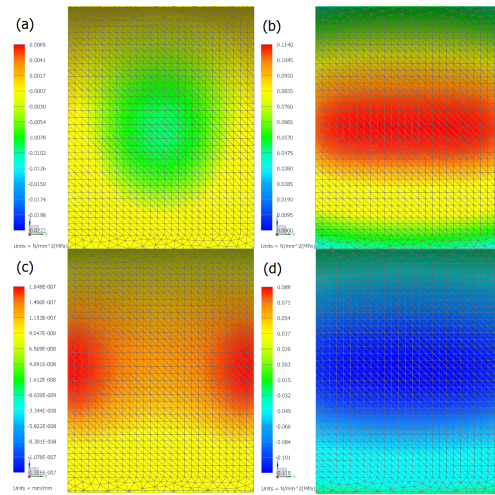


Figura 5: (a) σ_{yy} (b) σ_{VM} (c) ε_{yy} (d) σ_{zz}

Conclusiones

Error y convergencia

La convergencia de las mallas de elementos lineales fue mucho más lenta que las de elementos cuadráticos. Esto se debe a que las primeras pueden representar funciones lineales de desplazamiento y, consecuentemente, constantes de deformación. Las segundas pueden representar deformaciones lineales, que es más compatible con un caso de flexión.

En cuanto al error máximo del modelo, hallado en un elemento en la zona de interés, es notable el hecho de que los elementos lineales no logran valores menores al 5 %. El mínimo logrado, con una malla de 148598 elementos, fue del 30,20 %.

Refinar el tamaño de los elementos tiene un mayor efecto sobre los estimadores de error en el caso de los elementos de 4 nodos, mientras que en los de 10 la convergencia es muy rápida y el refinamiento h mejora el error en menor medida. Vale la pena mencionar que la malla más fina de elementos cuadráticos tiene mayor η que la anterior. Suponemos que esto se debe a que el refinamiento que se hizo fue por medios de remallado completo y no por subdivisión de los elementos preexistentes.

Tensiones y deformaciones

Como muestra la *Figura 5*, tanto σ_{yy} como ε_{yy} son claramente no nulas. Esto implica que el problema no puede modelarse como plano y el modelado 3-D es necesario.

Referencias

- [1] Ansel C Ugural y Saul K Fenster. *Advanced strength and applied elasticity*. Pearson Education, 2003.