

TEMA 6 – Análisis estático no lineal

Mikel Abasolo Bilbao
Ibai Coria Martínez
Iker Heras Miguel

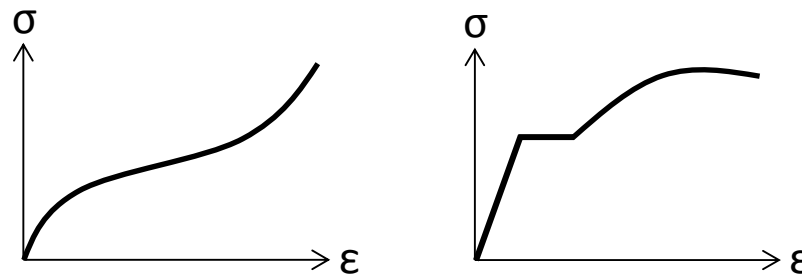


- El análisis lineal es una forma muy eficiente de analizar problemas de ingeniería mecánica
- Un análisis lineal supone que la rigidez del modelo, representada por la matriz de rigidez $[K]$, es constante (independiente de las fuerzas aplicadas como de los desplazamientos)

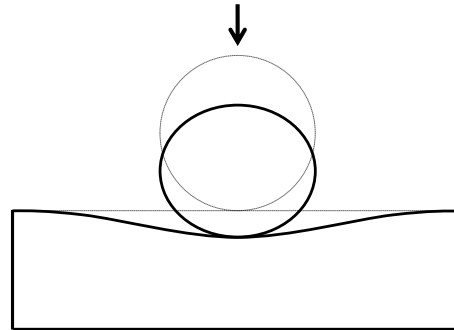
$$\{F\} = [K] \cdot \{\delta\}$$

- Bajo esta hipótesis, se cumplen los principios de proporcionalidad y superposición, y la respuesta del sistema es la misma con independencia del orden de aplicación de las cargas
- Así, suponer comportamiento lineal permite calcular la respuesta de forma sencilla y rápida.

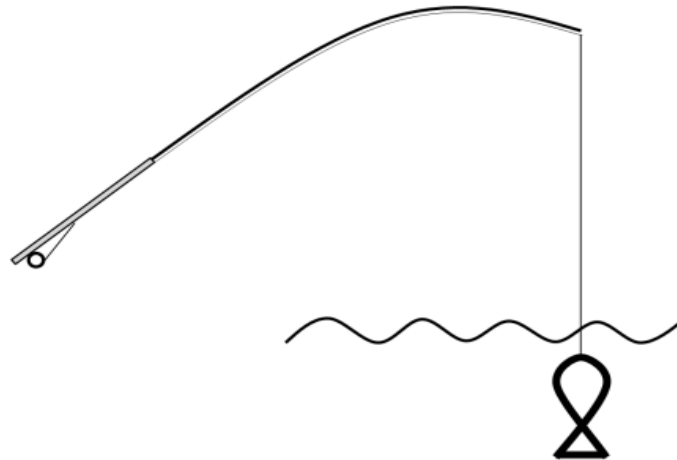
- Desafortunadamente, la mayoría de los fenómenos físicos son no lineales.
- Entre las causas de no linealidad más habituales en análisis estático:
 - no linealidades del material
 - contactos
 - fenómenos de grandes deformaciones y/o grandes desplazamientos.
- El comportamiento estático no lineal del material se debe a que muchos materiales tienen una relación tensión-deformación no lineal



- La no linealidad de contacto ocurre cuando dos o más cuerpos contactan. Según aumenta la carga, el tamaño y/o estado (deslizamiento, adherencia...) de la superficie de contacto varían y con ello también la rigidez



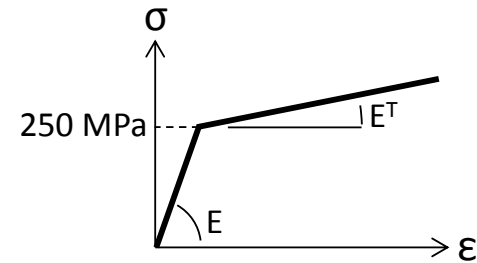
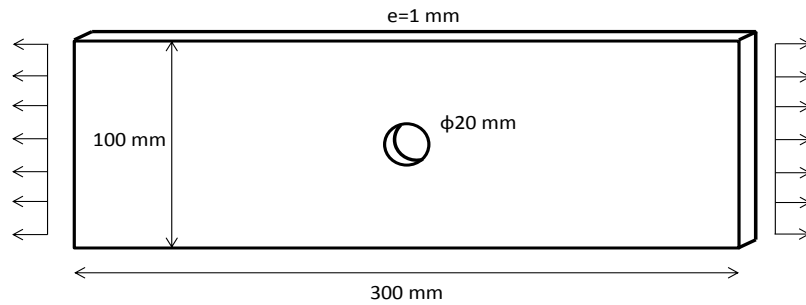
- la no linealidad por grandes deformaciones y/o desplazamientos ocurre cuando, bajo cargas generalmente elevadas, la geometría u orientación de la pieza varía tanto que su rigidez es distinta a la original.



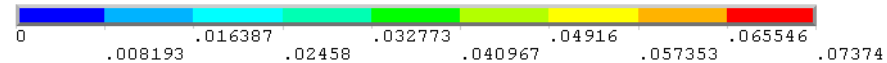
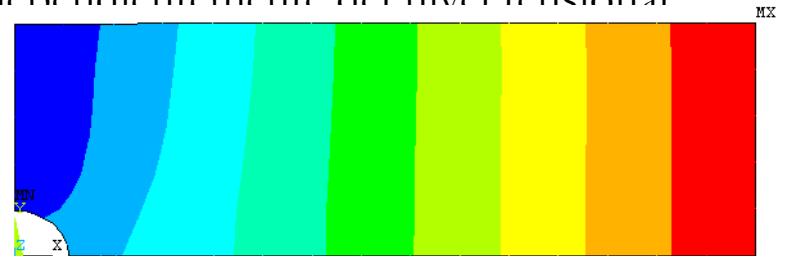
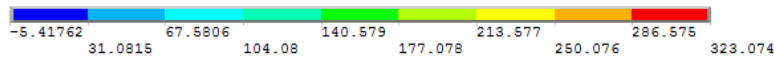
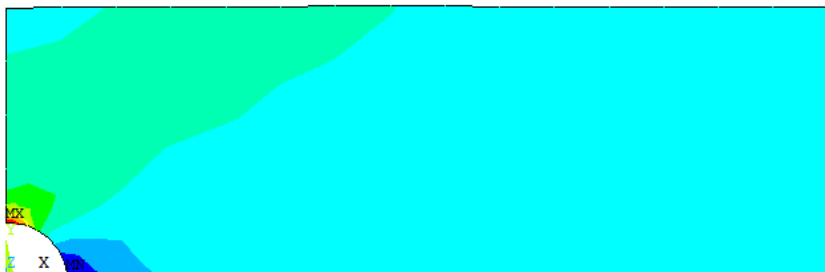
- En ciertos análisis se pueden dar simultáneamente varios tipos de no linealidad.
- Por ejemplo, en el análisis de impacto de un coche existen no linealidades de material, de contacto, grandes deformaciones y grandes desplazamientos. Este caso no es estático sino dinámico, pero sirve de ejemplo de análisis con distintas fuentes de no linealidad.
- Existen otras causas de no linealidad como el pandeo, el creep...

- Realizar un análisis no lineal es imprescindible para obtener resultados precisos de la respuesta estática en sistemas no lineales
- Sin embargo, el análisis no lineal es iterativo, habiendo que recalcular varias veces la matriz de rigidez $[K]$, con lo que el coste es mucho mayor que el de un análisis lineal
- Además, el coste de almacenamiento de los resultados de un análisis no lineal también es mayor, ya que suele interesar guardar resultados intermedios además del final
- Por estas razones, siempre que sea posible el analista debe tratar de evitar el análisis no lineal, optando en su lugar por uno lineal

- Supóngase que la chapa perforada de la figura tiene una tensión de fluencia de 250 MPa, asumiendo la curva elastoplástica de la figura



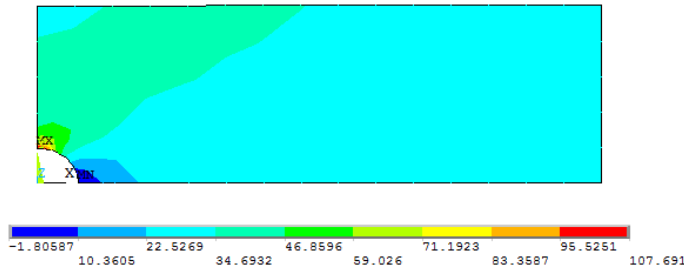
- En un análisis lineal el programa interpreta que el material es elástico lineal ($E=210\text{GPa}$), así el modelo siempre tiene la misma rigidez, independientemente del nivel tensional



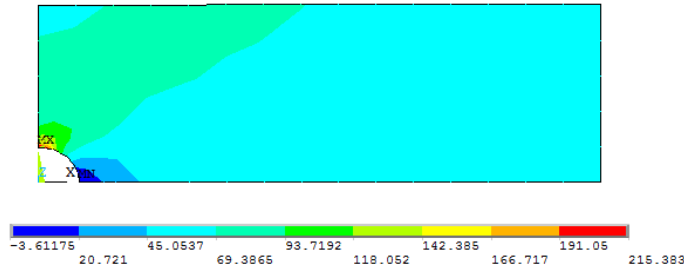


- Con ese material lineal la tensión máxima es 323.1 MPa, y la deformación es deformación elástica y por tanto desaparece completamente al quitar la carga
- Sin embargo, el material no lineal entra en fluencia al llegar a 250 MPa y cambia su respuesta. Como el análisis lineal existen puntos que superan ese valor, en principio queda justificada la necesidad de realizar un análisis no lineal

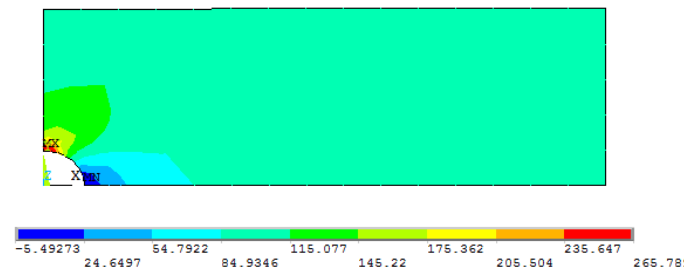
- Así, se decide aplicar la carga total ($q=100 \text{ N/mm}^2$) en 3 pasos de carga; se ha optado por 3 pasos para asegurar la convergencia sin aumentar innecesariamente el coste



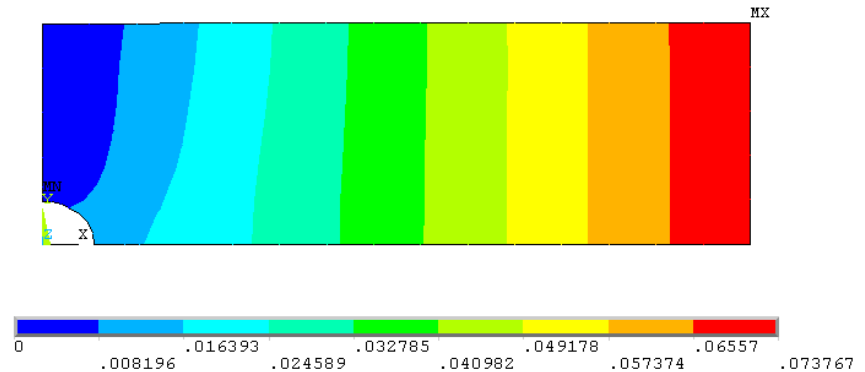
En los primeros dos pasos de carga, la respuesta es lineal (proporcional), ya que toda la pieza está por debajo de 250 MPa y por tanto con comportamiento lineal



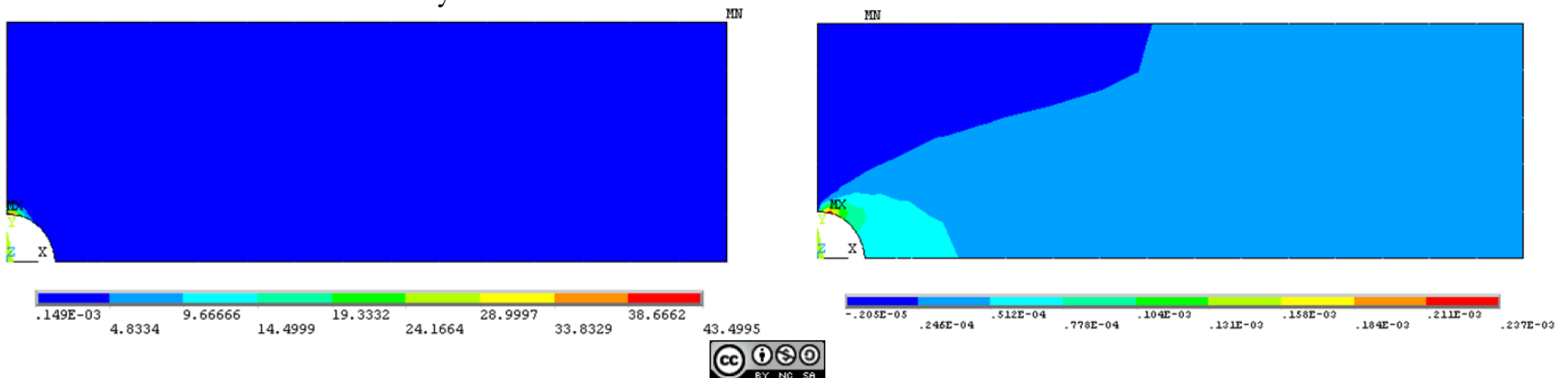
Entre el segundo y el tercer paso de carga, algunos puntos sobrepasan los 250 MPa, y por tanto el comportamiento deja de ser lineal, dando lugar a la tensión máxima de 265.8 MPa



- La zona con tensión superior a 250 MPa está plastificada, por eso la deformación es algo mayor que la del análisis elástico lineal



- Se puede hacer un análisis adicional, quitando la carga aplicada, obteniendo como resultado las tensiones y deformaciones residuales



- Evidentemente, si el material es no lineal un análisis no lineal proporciona un resultado mucho más preciso que uno lineal
- Pero el análisis no lineal tiene un coste mayor, y por tanto hay que evitar recurrir a él a no ser que la precisión extra que aporta resulte absolutamente necesaria.
- En el caso recién estudiado basta con el análisis lineal para determinar que el diseño de la pieza es válido porque la zona plastificada es muy local, y por tanto los resultados del análisis no lineal no serán muy diferentes al lineal
- En este caso, el análisis no lineal sólo estará justificado cuando se desee conocer con total precisión la respuesta de la pieza

- Así, no es extraño encontrar normas de elementos mecánicos que definan un criterio de fallo en base a criterios lineales, aunque ese fallo ocurra bajo condiciones no lineales
- Por ejemplo, la ISO-76 establece que “el fallo estático de un rodamiento ocurre cuando la presión de contacto bola-pista es 4200 MPa elásticamente calculada (con material lineal)” porque se sabe que en esa situación de haberse realizado un análisis con material no lineal, la bola presentará una deformación plástica permanente igual a la diezmilésima parte de su diámetro, que es el límite que condiciona el buen funcionamiento del rodamiento

- En conclusión, sólo se debe hacer un análisis no lineal si es imprescindible, ya que muchas veces un análisis lineal puede servir validar o descartar un diseño a un coste mucho menor:
 - El ejemplo ha mostrado las pautas para decidir la necesidad o no de un análisis no lineal para un material dúctil
 - En el caso de contacto, el análisis no lineal sólo se podrá evitar cuando las condiciones del contacto (tamaño y estado de la superficie de contacto) no varíen con la carga, lo cual ocurre con cierta frecuencia.
 - La no linealidad de grandes deformaciones y/o desplazamientos es imprescindible cuando la pieza se deforme o desplace mucho. Como es difícil saber si esto sucederá o no antes de hacer el análisis, lo lógico es realizar inicialmente un análisis lineal, y si se ve que las deformaciones y/o desplazamientos resultantes han sido lo suficientemente grandes como para que la rigidez haya podido cambiar, se rehará el análisis de forma no lineal

