

TEMA 1 - Introducción

Mikel Abasolo Bilbao
Ibai Coria Martínez
Iker Heras Miguel



- Diseñar es definir un sistema físico que satisfaga una serie de requisitos o criterios mecánicos, térmicos, estéticos, económicos...
- Se habla de diseño mecánico cuando se diseña en base a criterios mecánicos.
- Fases del proceso de diseño mecánico :
 - Establecer requisitos mecánicos: resistencia, rigidez, duración, fiabilidad, peso, tamaño...
 - Según los requisitos, definir una geometría aproximada en base a intuición o experiencia
 - Someter al diseño inicial a solicitaciones para comprobar si cumple los requisitos de diseño (analizar la pieza)
 - Si la respuesta es no válida o mejorable, se modifica el diseño, buscando un diseño óptimo a base de ciclos de prueba-error (proceso iterativo).

- Se debe decidir qué procedimiento de análisis usar: métodos tradicionales, métodos numéricos y ensayos experimentales.
- Métodos tradicionales:
 - Derivados de las teorías clásicas (Elasticidad y Resistencia de Materiales, Teoría de estructuras, Teoría de vibraciones...)
 - Basados en hipótesis simplificativas que dan lugar a sencillas fórmulas, tablas, gráficos...
 - En contraposición a su simplicidad, su precisión y rango de aplicación no son muy elevados

- Métodos numéricos:
 - Se implementan generalmente en un ordenador (CAE)
 - Permiten realizar análisis que los métodos tradicionales no pueden (geometrías, cargas, materiales, u otras características que no cumplen las hipótesis simplificativas de los métodos tradicionales)
 - Uno de los métodos numéricos de análisis mecánico más utilizados es el Método de Elementos Finitos (MEF)
- Ensayos experimentales
 - Consiste en ensayar prototipos instrumentados para aplicar las cargas y medir la respuesta
 - Proporcionan los resultados más precisos pero más costosos

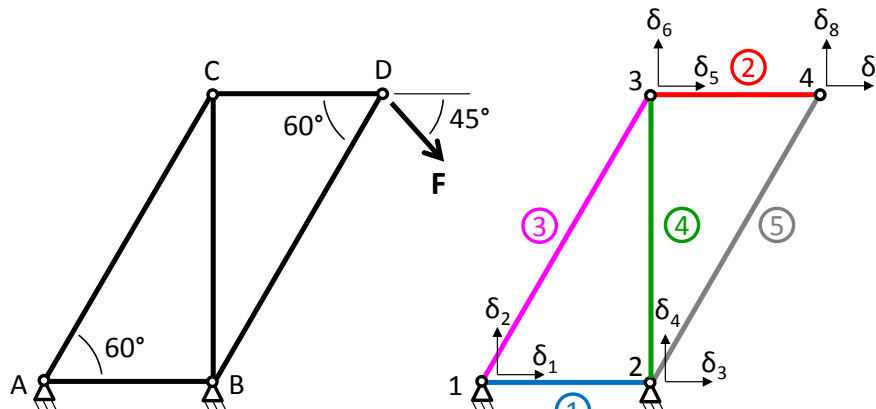
- El potencial de cálculo y accesibilidad de los ordenadores ha permitido que los métodos numéricos sustituyan o reduzcan los ensayos experimentales
- Reemplazar el ensayo experimental por el análisis numérico por ordenador permite entender el comportamiento de la pieza con más versatilidad y menos coste
- Aún así, el análisis numérico por ordenador no siempre reemplaza totalmente los ensayos experimentales. Depende del fenómeno.

- No existe ningún método mejor que los demás, cada uno tiene sus fortalezas y debilidades en cuanto a coste y precisión
- En función del tipo de análisis y a la precisión/coste que se busque, se usará uno u otro o se combinarán varios de ellos

- Hasta la década de 1950 casi no había ordenadores, y los que había eran caros, enormes y con una capacidad de cálculo muy limitada
- Los ordenadores han evolucionado mucho, proporcionando más potencia de cálculo y capacidad gráfica a precios cada vez más asumibles
- El principal método de análisis mecánico por ordenador es el Método de Elementos Finitos (MEF)

- El MEF como concepto existe desde el siglo XIX porque su fundamento es el mismo que el usado para el cálculo matricial de celosías, que data de esa época
- Se expandió a partir de los 50 porque la evolución de los ordenadores permitió aprovechar su capacidad de cálculo para hacer análisis cada vez más complejos.
- En el cálculo de celosías, como en cualquier análisis estático, se trata de resolver la ecuación $F=K \cdot \delta$, donde:
 - F: fuerza que soporta la celosía (cargas aplicadas y reacciones en los apoyos)
 - K: rigidez de la celosía
 - δ : deformación resultante de la celosía

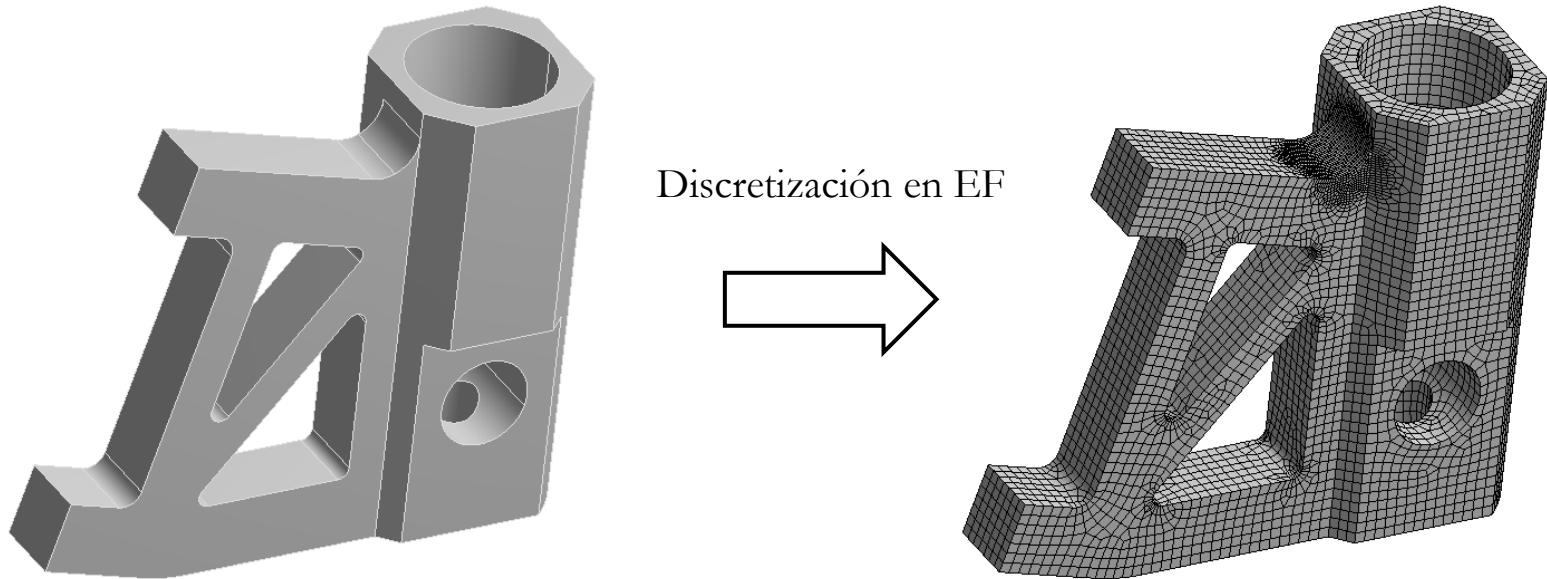
- Por tanto, para calcular cómo se deforma la celosía bajo unas cargas, se necesita conocer su rigidez
- La rigidez de la celosía es desconocida, pero una celosía no es más que un conjunto de barras, y la rigidez axial de una barra sí es conocida ($k=EA/L$)
- Así, el cálculo de celosías:
 - discretiza el medio continuo de rigidez desconocida (la celosía) en elementos finitos de rigidez conocida (elementos barra)
 - combina la rigidez k de todas las barras para calcular la rigidez K de la celosía, y entonces resuelve la ecuación $F=K\cdot\delta$



$$\{F\} = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \\ F_5 \\ F_6 \\ F_7 \\ F_8 \end{Bmatrix} \quad \{\delta\} = \begin{Bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \delta_3 \\ \delta_4 \\ \delta_5 \\ \delta_6 \\ \delta_7 \\ \delta_8 \end{Bmatrix} \quad [K] = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} + \frac{EA}{L} \cos 2\alpha & \frac{EA}{L} \sin \alpha \cos \alpha & -\frac{EA}{L} & 0 & -\frac{EA}{L} \cos 2\alpha & -\frac{EA}{L} \sin \alpha \cos \alpha & 0 & 0 \\ \frac{EA}{L} \sin \alpha \cos \alpha & \frac{EA}{L} \sin 2\alpha & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} \sin \alpha \cos \alpha & -\frac{EA}{L} \sin 2\alpha & 0 & 0 \\ -\frac{EA}{L} & 0 & \frac{EA}{L} + \frac{EA}{L} \cos 2\alpha & \frac{EA}{L} \sin \alpha \cos \alpha & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} \cos 2\alpha & -\frac{EA}{L} \sin \alpha \cos \alpha \\ 0 & 0 &; \frac{EA}{L} \sin \alpha \cos \alpha & \frac{EA}{L} + \frac{EA}{L} \sin 2\alpha & 0 & -\frac{EA}{L} & -\frac{EA}{L} \sin \alpha \cos \alpha & -\frac{EA}{L} \sin 2\alpha \\ -\frac{EA}{L} \cos 2\alpha & -\frac{EA}{L} \sin \alpha \cos \alpha & 0 & 0 & \frac{EA}{L} + \frac{EA}{L} \cos 2\alpha & \frac{EA}{L} \sin \alpha \cos \alpha & -\frac{EA}{L} & 0 \\ -\frac{EA}{L} \sin \alpha \cos \alpha & -\frac{EA}{L} \sin 2\alpha & 0 & -\frac{EA}{L} & \frac{EA}{L} \sin \alpha \cos \alpha & \frac{EA}{L} + \frac{EA}{L} \sin 2\alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{EA}{L} \cos 2\alpha & -\frac{EA}{L} \sin \alpha \cos \alpha & -\frac{EA}{L} & 0 & \frac{EA}{L} + \frac{EA}{L} \cos 2\alpha & \frac{EA}{L} \sin \alpha \cos \alpha \\ 0 & 0 & -\frac{EA}{L} \sin \alpha \cos \alpha & -\frac{EA}{L} \sin 2\alpha & \frac{EA}{L} \sin \alpha \cos \alpha & \frac{EA}{L} + \frac{EA}{L} \sin 2\alpha & -\frac{EA}{L} & \frac{EA}{L} \sin 2\alpha \end{bmatrix}$$

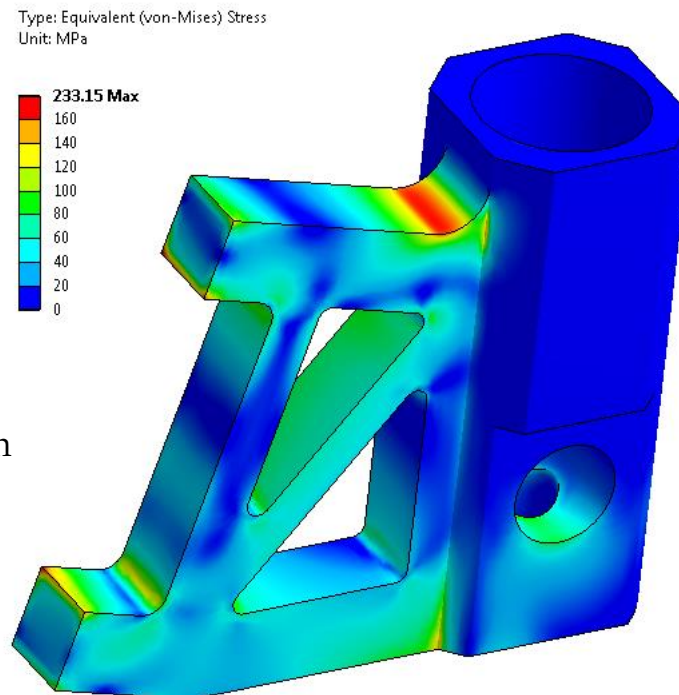


- En un caso más complejo el MEF hace lo mismo: discretizar la pieza en elementos finitos de propiedades conocidas (en este caso hexaedros)



- Resolviendo la ecuación $\{F\} = [K] \{\delta\}$ se obtiene la deformada y las reacciones en los apoyos, y a partir de ahí las tensiones

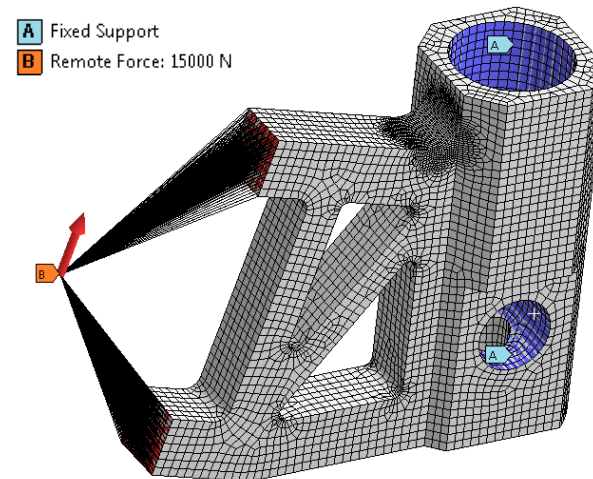
Resultados de tensiones de Von Mises



- Hay muchos softwares comerciales de EF, cada uno con sus particularidades, ventajas y desventajas
- Todos están organizados en 3 partes principales:
 - Preprocesador
 - Procesador
 - Postprocesador

- Es la parte del programa de EF donde se define el análisis a realizar, es decir:

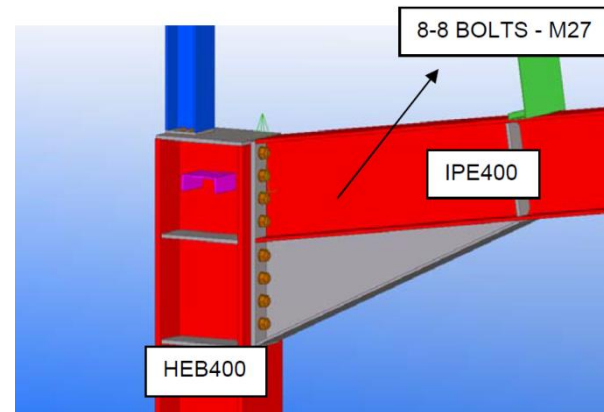
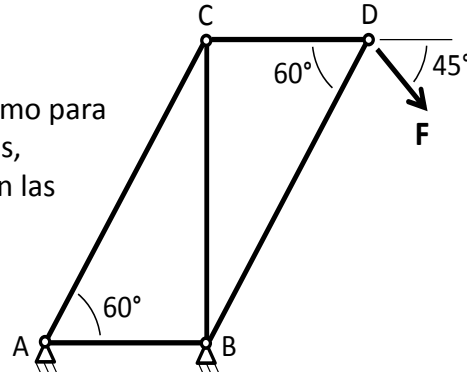
- geometría
- material
- cargas aplicadas
- condiciones de contorno
- tipo de análisis (estático, dinámico...)



- También aquí se discretiza la geometría en elementos finitos; a este proceso se le denomina “mallado”
- el MEF es una herramienta de análisis, no de diseño. El programa de EF se limita a resolver el análisis que se ha definido en el preprocesador

- Algunos aspectos a tener en cuenta en cuanto a la geometría:
 - se puede construir en el propio programa de EF o importarlo de otro programa
 - El mejor modelo no es necesariamente el más parecido al sistema real. Depende de lo que se quiera calcular
 - El modelo de EF ideal es el que proporciona los resultados requeridos (y no más) con una precisión aceptable y con el mínimo coste de análisis posible
 - En este sentido, es habitual simplificar la geometría del modelo (simetrías, geometrías bidimensionales, simplificaciones de cargas y apoyos...)

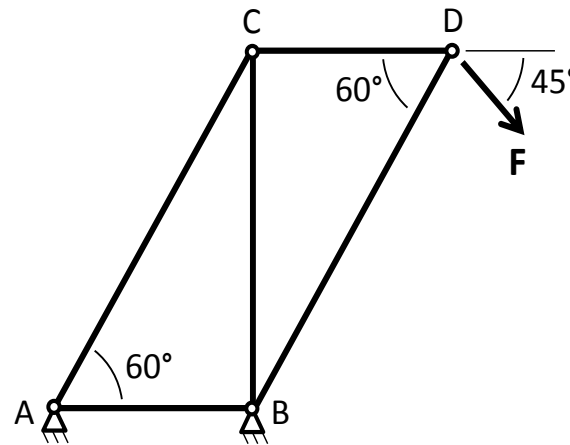
Este es el modelo óptimo para calcular deformaciones, reacciones y fuerzas en las barras de una celosía



Este es el modelo óptimo para calcular una unión de una celosía

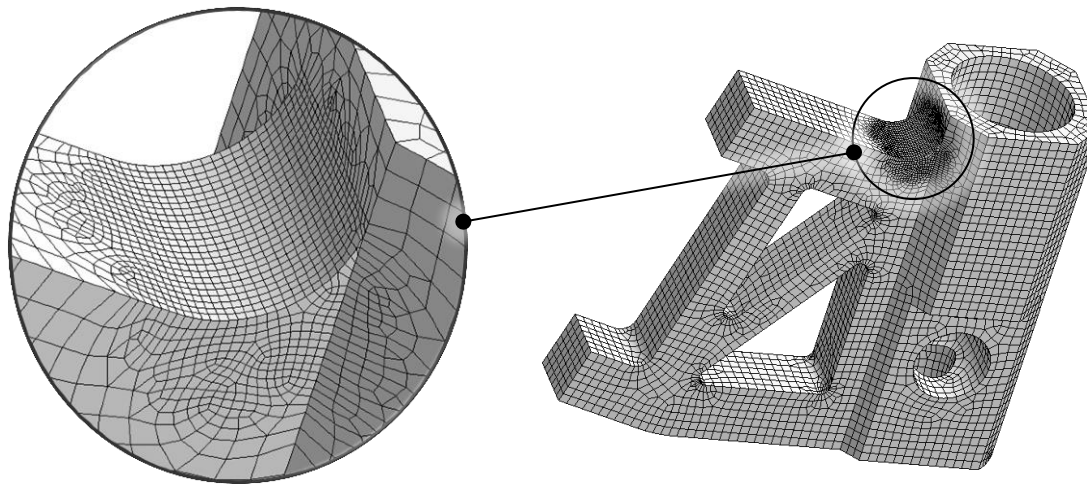


- Algunos aspectos a considerar al definir las cargas y condiciones de contorno:
 - En un modelo de EF, las cargas y apoyos se introducen con importantes simplificaciones.
 - Estas simplificaciones son necesarias para simplificar el modelo y reducir su coste, pero hay que asegurarse que no conlleven una pérdida de precisión inaceptable en los resultados buscados.



- Algunos aspectos a tener en cuenta en cuanto al mallado:
 - Existen muchos tipos de elementos; el analista debe conocer sus características para escoger el más adecuado
 - Cuanto más pequeño sea el tamaño de los elementos, más nodos y grados de libertad tendrá el modelo, y por tanto:
 - › más preciso será el resultado
 - › más grandes serán los vectores y matrices de la ecuación $\{F\} = [K] \cdot \{\delta\}$, y por tanto mayor será el coste computacional del análisis.

- Por tanto, el tamaño de elemento debe cumplir un compromiso precisión-coste. Así:
 - › las zonas críticas se malla con elementos pequeños, porque habrá variaciones de tensión que darán lugar a la tensión máxima de la pieza, y por tanto es donde se requiere precisión
 - › Para compensar, el resto de la pieza se malla con elementos grandes porque las tensiones serán menores y por tanto conocer su valor con mucha precisión no aporta nada



- Algunos aspectos a tener en cuenta al material:
 - El material más habitualmente empleado en diseño mecánico es el acero, isótropo y elastoplástico
 - el analista debe decidir si basta con realizar un análisis lineal o si es necesario un análisis no lineal

- Es la parte en la que, a partir del modelo definido y discretizado en el preprocesador, el programa de EF genera y resuelve la ecuación $\{F\} = [K] \cdot \{\delta\}$
- Por lo general:
 - si el análisis es lineal el analista no debe intervenir
 - si el análisis es no lineal, el analista debe determinar el número de pasos de carga para garantizar la convergencia sin disparar el coste

- Es la parte en la que el programa permite visualizar los resultados para que el analista pueda ver e interpretar la respuesta del modelo
- Los resultados sirven en primer lugar para validar el modelo, por ejemplo:
 - Una deformada ilógicamente alta o baja suele significar que no se han definido bien las propiedades del material
 - una deformación “extraña” suele ser debido a unas condiciones de contorno mal definidas
 - unas tensiones elevadas en una zona con elementos de gran tamaño deben alertar sobre la necesidad de refinar la malla en esa zona
 - unas reacciones que no se equilibran con las cargas aplicadas indica que las cargas se han introducido mal

- Una vez comprobado que el modelo está bien, el analista debe decidir sobre la validez del diseño en base a los resultados.
- Para ello, el analista debe tener conocimientos de ingeniería mecánica, si no no sabrá qué resultados visualizar ni cómo interpretarlos.
- Si el analista estima que la respuesta no es admisible, debe decidir cómo rediseñar la pieza (material, geometría...) y rehacer el análisis, iterando hasta conseguir resultados aceptables

- Los resultados EF no siempre son definitivos para decidir la validez de la pieza porque el modelo tiene simplificaciones (geometría, material, cargas, condiciones de contorno...)
- Además de saber visualizar e interpretar los resultados EF, el analista debe ser consciente de su “alcance” y nivel de validez para valorar hasta qué punto son fiables y definitivos.

