

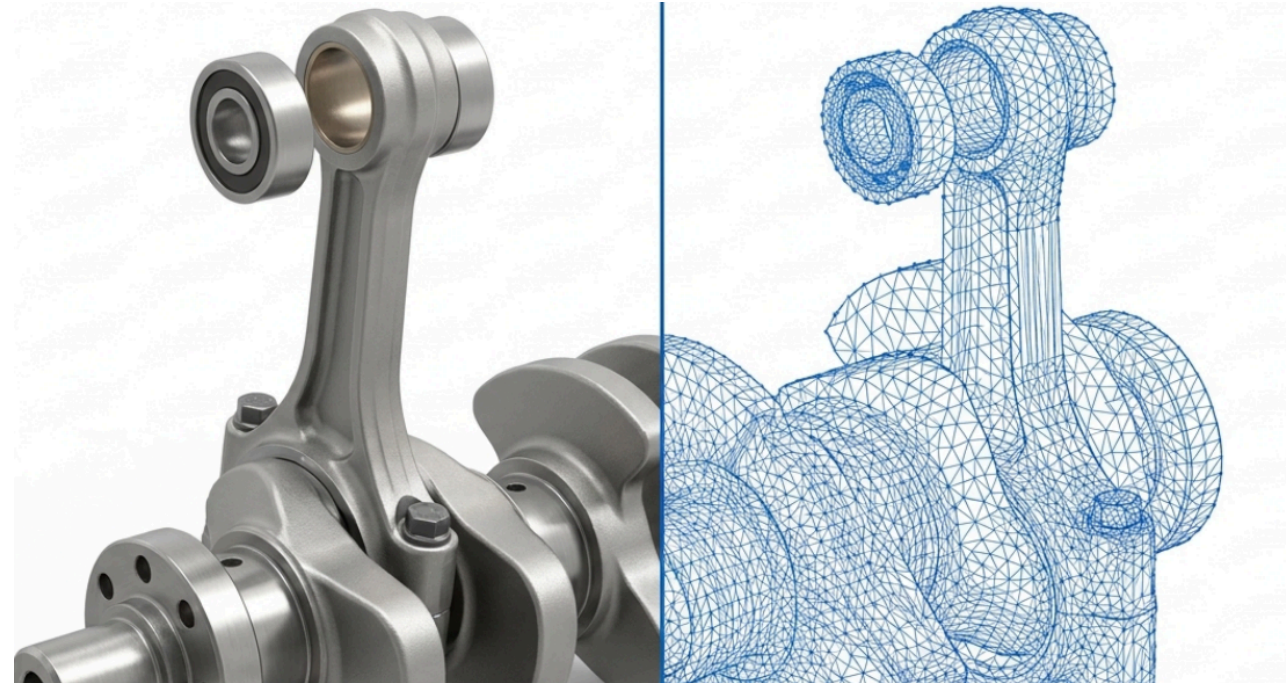
Análisis de Elementos Finitos (FEA)

Profesor: Ing. Israel Chaves Arbaiza

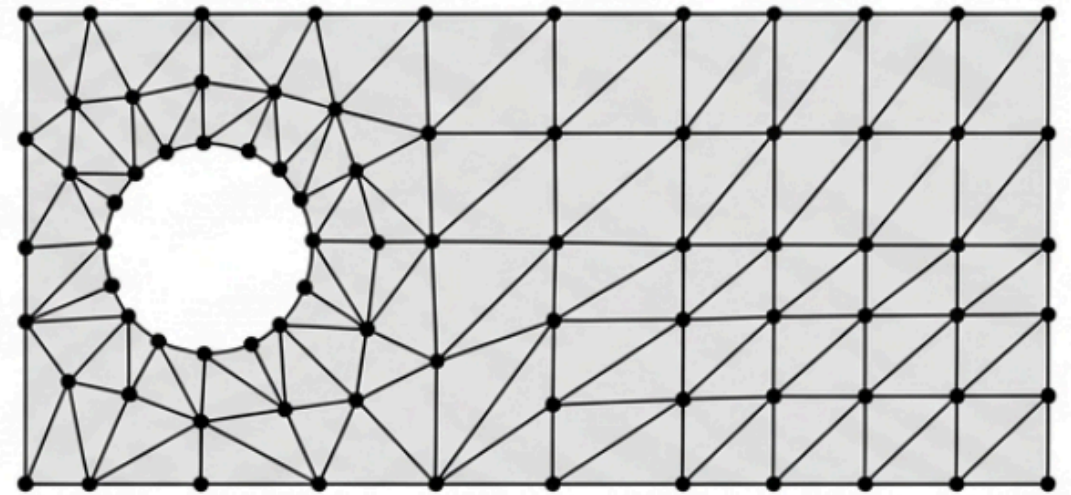
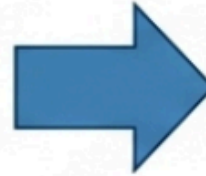
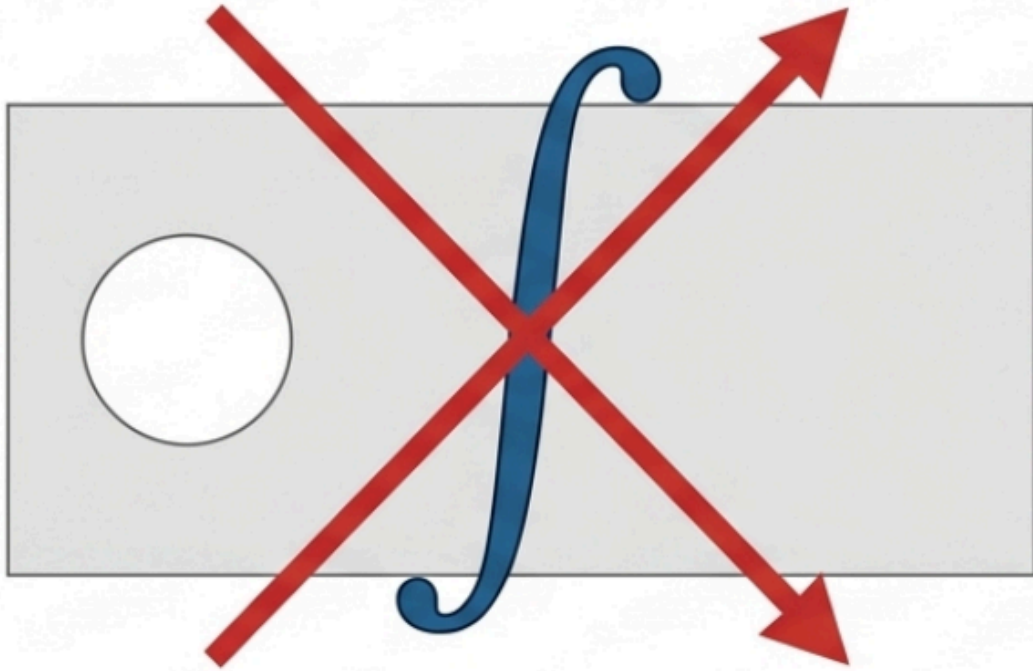
Curso: Elementos de Máquinas II



EIM Escuela de
Ingeniería Mecánica



Discretización del continuo



El Problema Matemático:

Las estructuras reales rara vez son simples. Las ecuaciones analíticas clásicas fallan ante geometrías irregulares, discontinuidades y condiciones de carga complejas.

La Solución FEA:

El Análisis de Elementos Finitos divide ('discretiza') una estructura elástica continua en pequeñas subestructuras finitas bien definidas.

El Principio Básico: En lugar de resolver una ecuación diferencial inmanejable para todo el sistema, el FEA resuelve un sistema de ecuaciones algebraicas simultáneas para cada 'elemento', aproximando el comportamiento de toda la pieza.

Nodos, Elementos y Matrices



$$[K]\{U\} = \{F\}$$



Nodos y Grados de Libertad (DOF):

Puntos de conexión fundamentales. Cada nodo posee "grados de libertad" (hasta 3 traslacionales y 3 rotacionales) que definen su capacidad de movimiento.

Elementos:

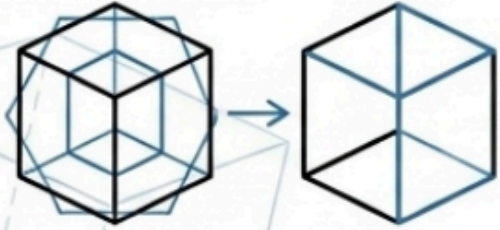
Entidades elásticas (barras, triángulos, paralelepípedos) que conectan los nodos. Su comportamiento se rige por sus propiedades materiales y geométricas.

La Ecuación Matriz: $[K]\{U\} = \{F\}$

- $[K]$: Matriz de Rigidez Global
- $\{U\}$: Vector de Desplazamientos
- $\{F\}$: Vector de Fuerzas Aplicadas

Ensamble Global: Las matrices locales de cada elemento se ensamblan en una matriz global masiva, permitiendo que la computadora resuelva los desplazamientos desconocidos.

Flujo de trabajo FEA



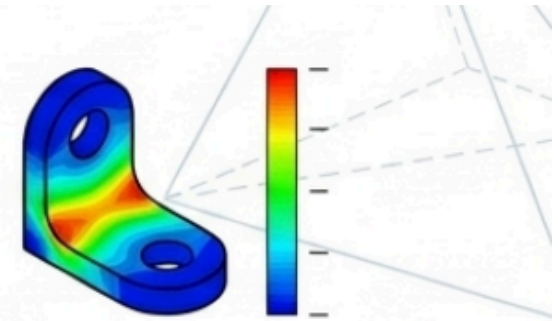
Pre-procesamiento (Definición)

- Limpieza e idealización de la geometría CAD.
- Asignación de propiedades de materiales (Módulo de Young, Poisson).
- Generación de la malla (manual, semiautomática o automática).

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & \dots & 3 \\ 2 & 4 & 4 & 1 & 2 \\ 1 & 3 & 5 & \dots & \vdots \\ 0 & 0 & 5 & \dots & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}$$

Solución (Computación)

- Aplicación de cargas (estáticas, dinámicas, térmicas).
- Definición estricta de condiciones de frontera (restricciones fijas, pasadores, simetría).
- Inversión y resolución matricial por parte del software.



Post-procesamiento (Interpretación)

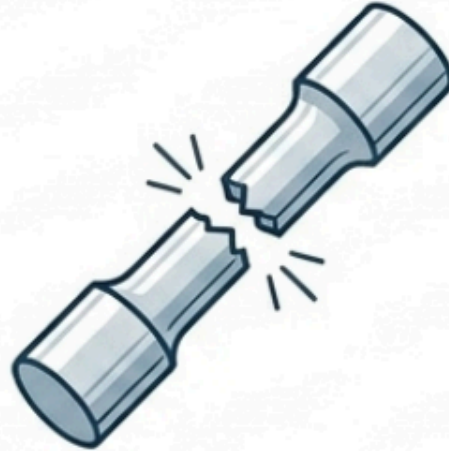
- Visualización de deformaciones y desplazamientos.
- Análisis de contornos de Esfuerzos de Von Mises.
- Evaluación de factores de seguridad y zonas críticas.

Ventajas del diseño con FEA



1. Reducción del “Time-to-Market”

Permite la iteración rápida del diseño de componentes en el entorno CAD, optimizando la masa y la resistencia matemática antes de fabricar una sola pieza física.



2. Ahorro en Pruebas Destructivas

Reemplaza múltiples ciclos de costosos ensayos de laboratorio. Las fallas catastróficas por fatiga o sobrecarga se simulan de manera segura y económica.



3. Geometrías Intratables

Permite el análisis estructural de formas orgánicas complejas, concentración de esfuerzos irregulares y combinaciones de cargas que harían imposible el cálculo manual.

Problemáticas y desventajas

Errores Inherentes del Sistema



- Errores Computacionales: Derivados del redondeo de punto flotante y las limitaciones de esquemas de integración numérica en matrices de gran escala.
- Errores de Discretización: La geometría real varía continuamente. Elementos simples (como triángulos de bordes rectos) aproximan falsamente los bordes curvos reales.

La Responsabilidad del Analista

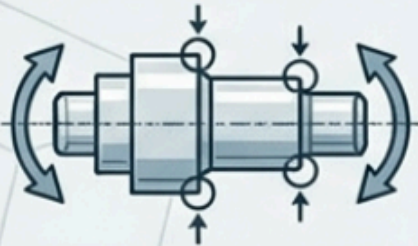


- Restricciones Físicas: El software no sabe de ingeniería. Asumir un soporte fijo en lugar de un pasador generará resultados matemáticamente correctos, pero físicamente absurdos.

Regla de oro: Un modelo FEA es tan válido como la experiencia del ingeniero que define sus parámetros.

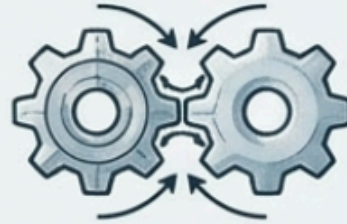
Aplicaciones en diseño mecánico

1. Ejes Escalonados



Identificación precisa de factores de concentración de esfuerzos en ranuras, cuñeros y filetes.

2. Engranajes



Análisis de flexión en la raíz del diente y esfuerzos de contacto bajo cargas dinámicas.

3. Deflexiones Estructurales



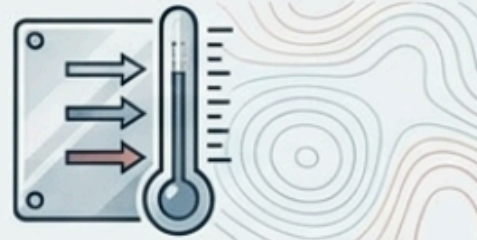
Verificación de la rigidez para garantizar que la flexión del eje no exceda los límites operativos.

4. Fatiga Superficial



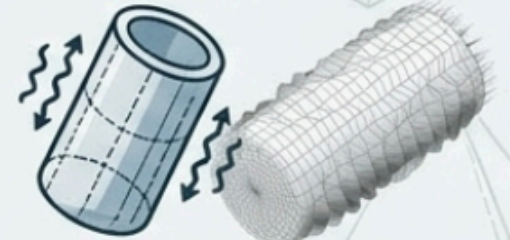
Simulación de fallas por contacto rodante y deslizante en componentes sometidos a ciclos.

5. Esfuerzos Térmicos



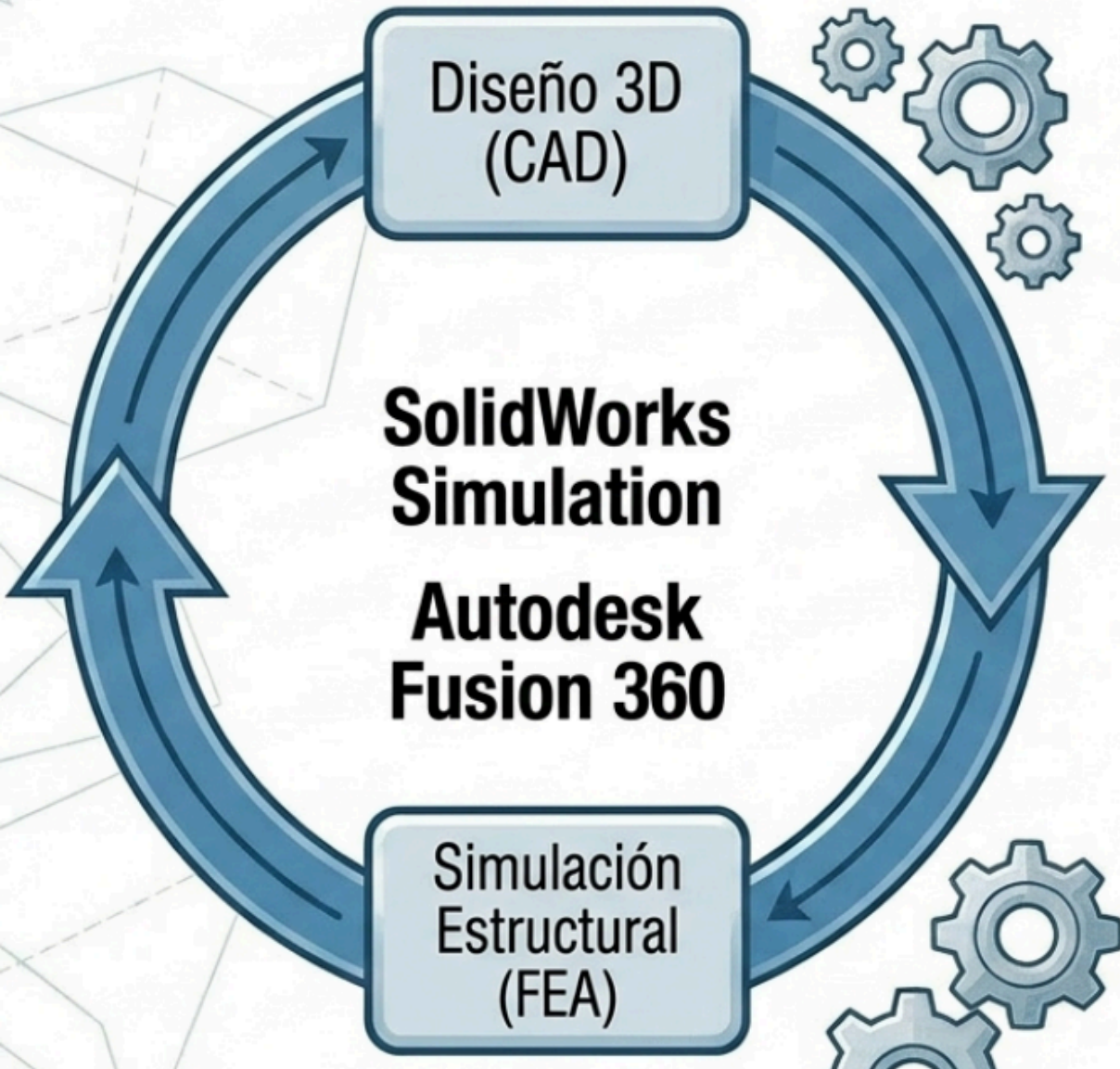
Determinación de tensiones inducidas térmicamente por gradientes de temperatura.

6. Dinámica y Vibraciones



Extracción de frecuencias naturales e inestabilidad elástica por pandeo estructural.

Software para FEA: herramientas integradas



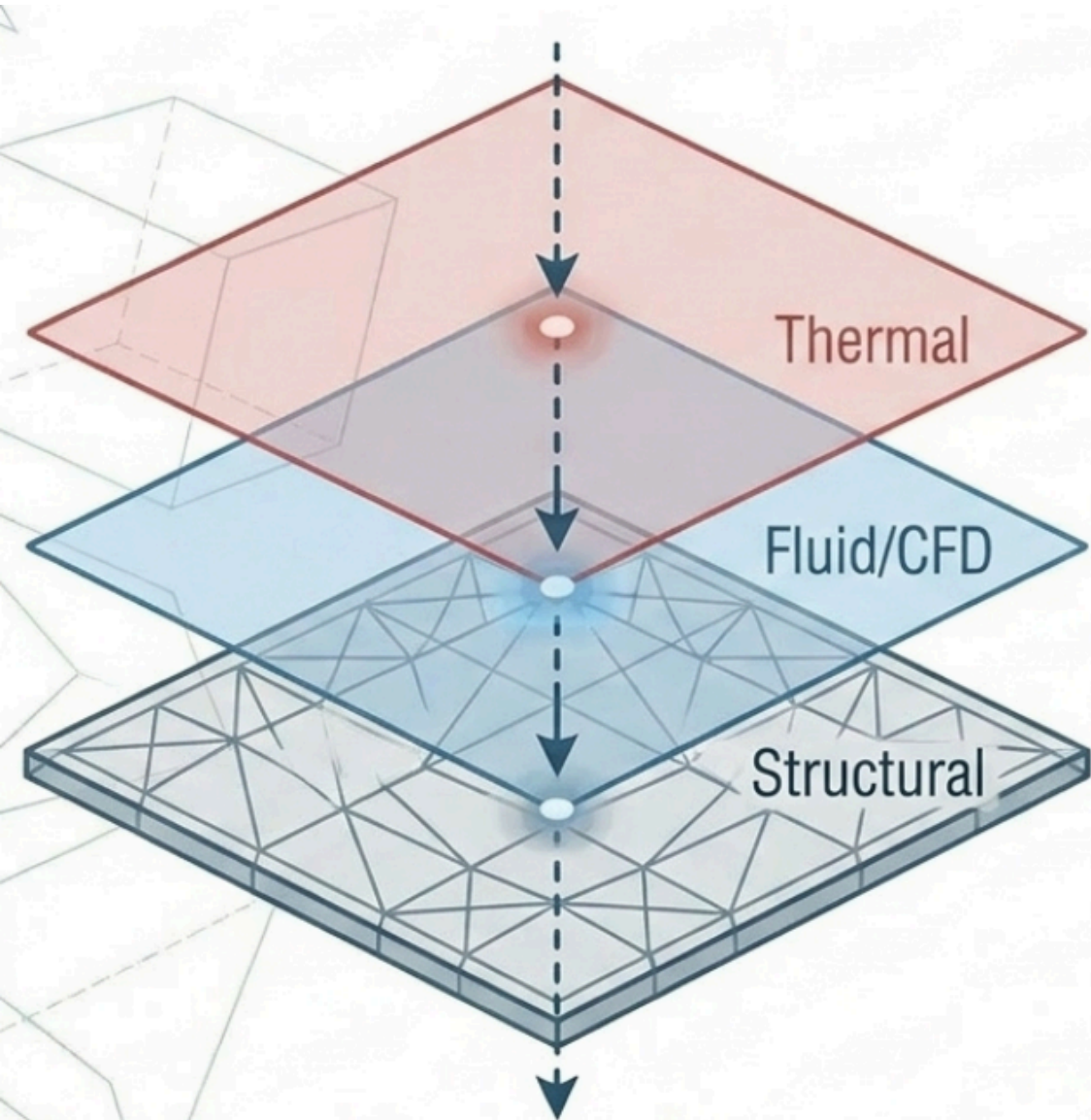
El Enfoque: Herramientas de simulación estructural que habitan directamente dentro del entorno nativo de diseño 3D.

Curva de Aprendizaje Plana: Diseñadas para ingenieros mecánicos generalistas, facilitando un flujo de trabajo intuitivo.

Iteración Dinámica: Si un esfuerzo es muy alto, el ingeniero modifica la cota CAD y el modelo FEA se actualiza al instante.

Casos de Uso: Ideales para análisis estáticos lineales, estudios de fatiga básicos y optimización topológica rápida.

Software para FEA: solucionadores especializados

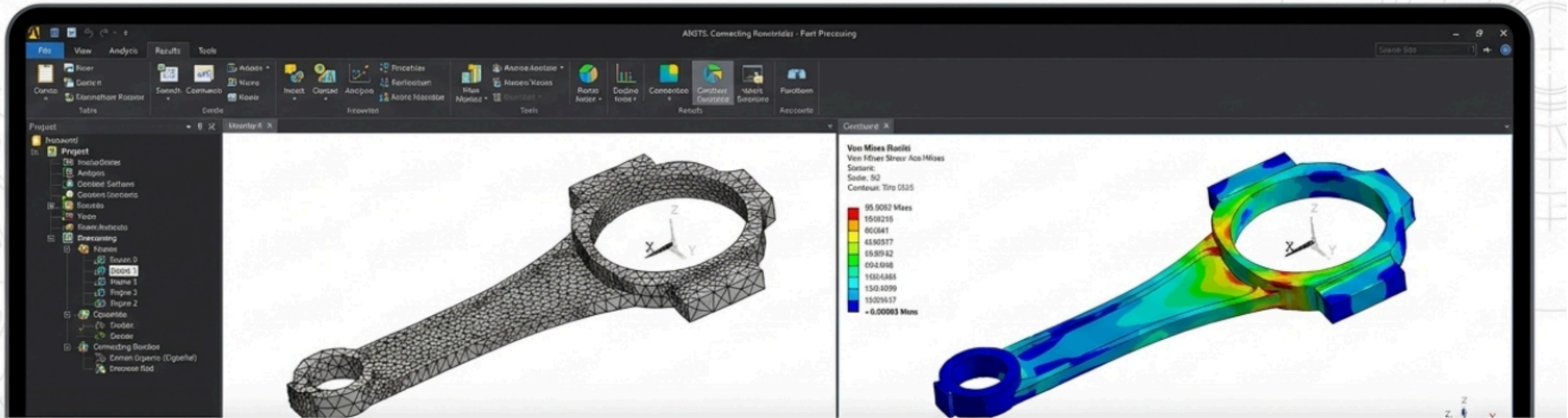


Software Principal:
COMSOL Multiphysics, SimScale.

El Enfoque: Plataformas de grado analítico dedicadas al análisis avanzado y la interacción simultánea de múltiples campos de la física.

- **Multifísica Acoplada:** Capacidad para resolver problemas donde el flujo de fluidos afecta la temperatura, induciendo deformación estructural.
- **Poder en la Nube (HPC):** Plataformas como SimScale procesan matrices de millones de elementos en la nube que colapsarían un hardware local.
- **Casos de Uso:** Dinámica de fluidos computacional (CFD), acústica, magnetismo y análisis elasto-plástico no lineal.

Software para FEA: ANSYS, estándar industrial

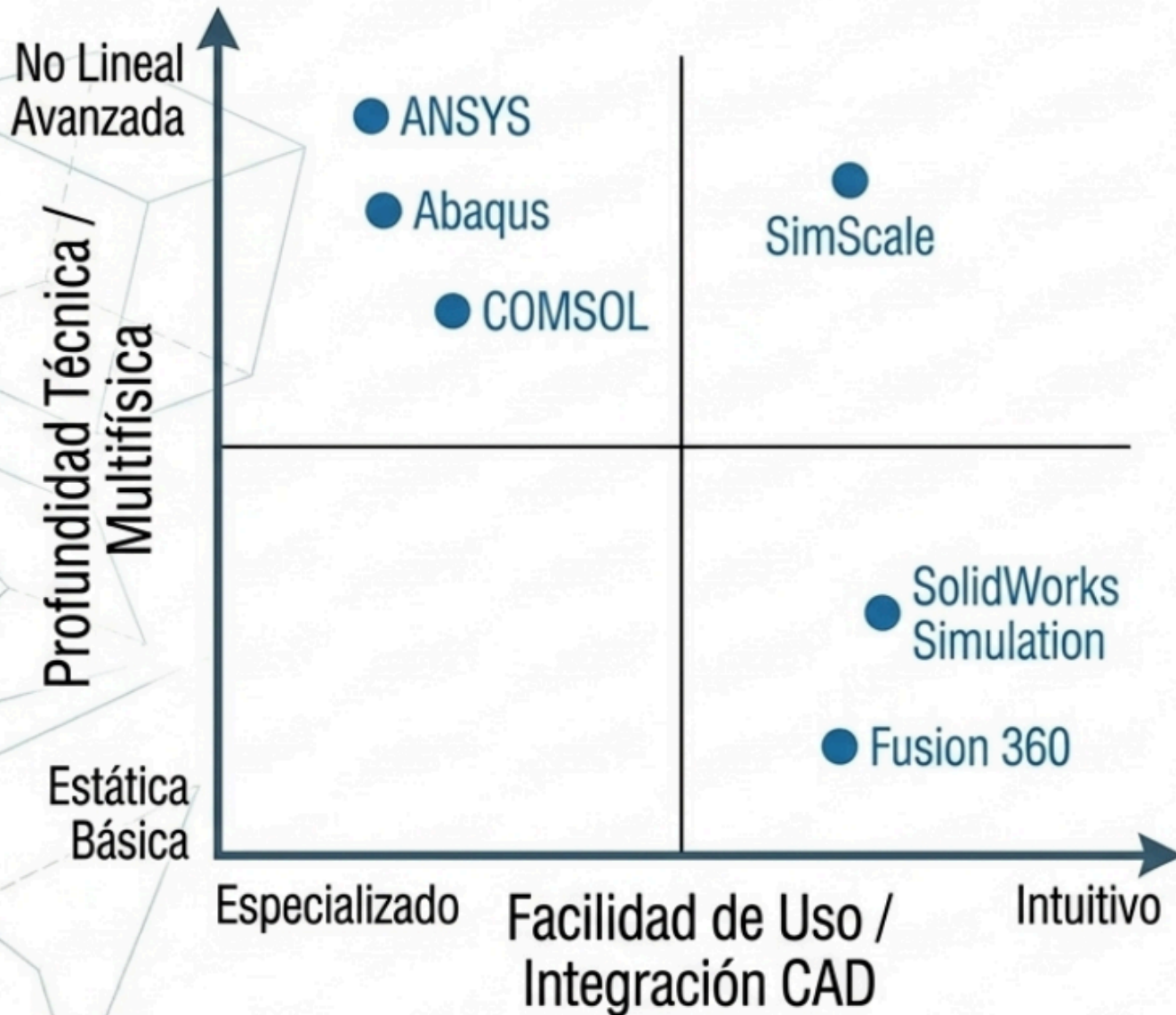


Potencia sin Compromisos: Reconocido globalmente por su robustez matemática y capacidad para resolver problemas elasto-plásticos y dinámicos extremos.

Caso de Estudio (Cigüeñal): El modelo superior evalúa los efectos de la lubricación elastohidrodinámica combinada con cargas de ignición estructurales extremas.

Dominio Multifísico: ANSYS permite el acoplamiento perfecto entre análisis térmico transitorio, mecánica de fractura, impacto de alta velocidad y vibraciones armónicas. Requiere un alto nivel de especialización y experiencia por parte del analista.

Comparativa de software



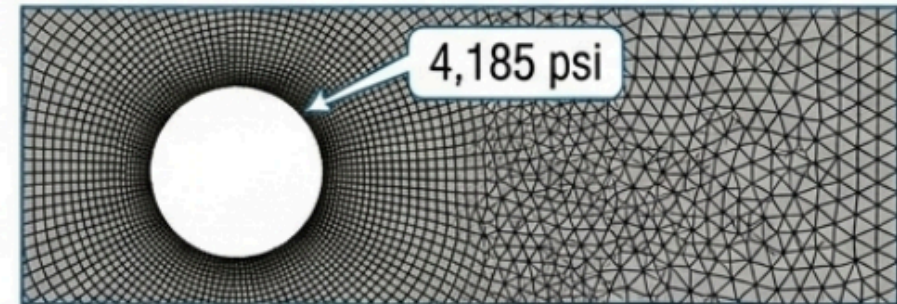
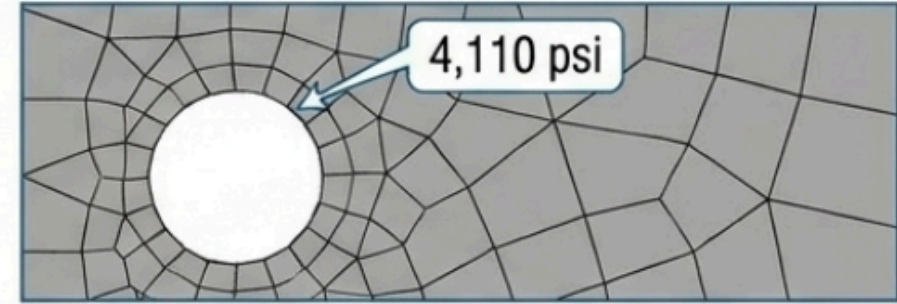
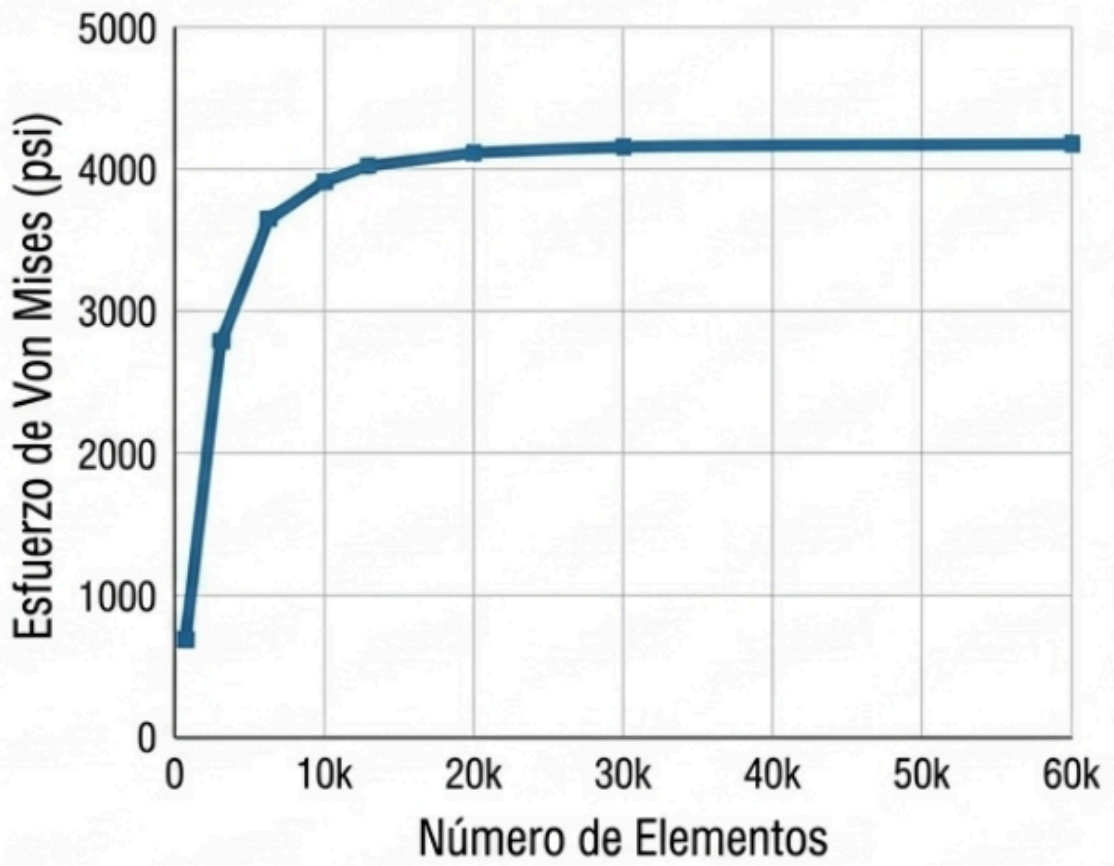
Cuadrante Superior Izquierdo:
Uso ideal para investigación térmica, mecánica no lineal y colisiones extremas.

Cuadrante Inferior Derecho:
Uso ideal para diseño general de piezas mecánicas y validación iterativa rápida.

El Veredicto: No existe un "software perfecto". La selección equilibra la complejidad geométrica contra el tiempo de cálculo.

Convergencia y validación

Convergencia de Malla



Convergencia de Malla: El FEA siempre es una aproximación numérica. Al refinar la malla en zonas de alto gradiente, el esfuerzo máximo aumentó de 4,110 a 4,185 psi (variación mínima del 1.8%). Esto indica matemáticamente que la solución ha 'convergió'.

La Validación Clásica: Nunca confíe ciegamente en colores de pantalla. Los resultados computacionales siempre deben verificarse con métodos analíticos clásicos y cálculos manuales.

Conclusión: El software FEA es la herramienta más poderosa en el diseño mecánico, pero el juicio crítico del ingeniero sigue siendo insustituible.

Aprendiendo ANSYS

En este enlace: [ANSYS para estudiantes](#), con sólo crear una cuenta estudiantil (correo @ucr), se pueden descargar diferentes versiones de ANSYS, y acceder a recursos educativos

- **ANSYS Student**, es una licencia de libre descarga, con una licencia estudiantil (128k nodos para FEM / 512k nodos para CFD) de 1 año. Es un *solver* implícito, resuelve ecuaciones con cambios que ocurren gradualmente.
- **ANSYS LS-DYNA Student**, del mismo tipo de licencia del anterior; pero es un *solver* explícito, enfocado en la simulación de impactos, eventos que ocurren en mili o microsegundos.
- En la **EIM**, el **Laboratorio de Simulación** cuenta con licencias profesionales de ANSYS, con computadoras de mayor rendimiento, para ejecutar simulaciones complejas.