



Encuentros con un experto

Roberto Suárez Sierra

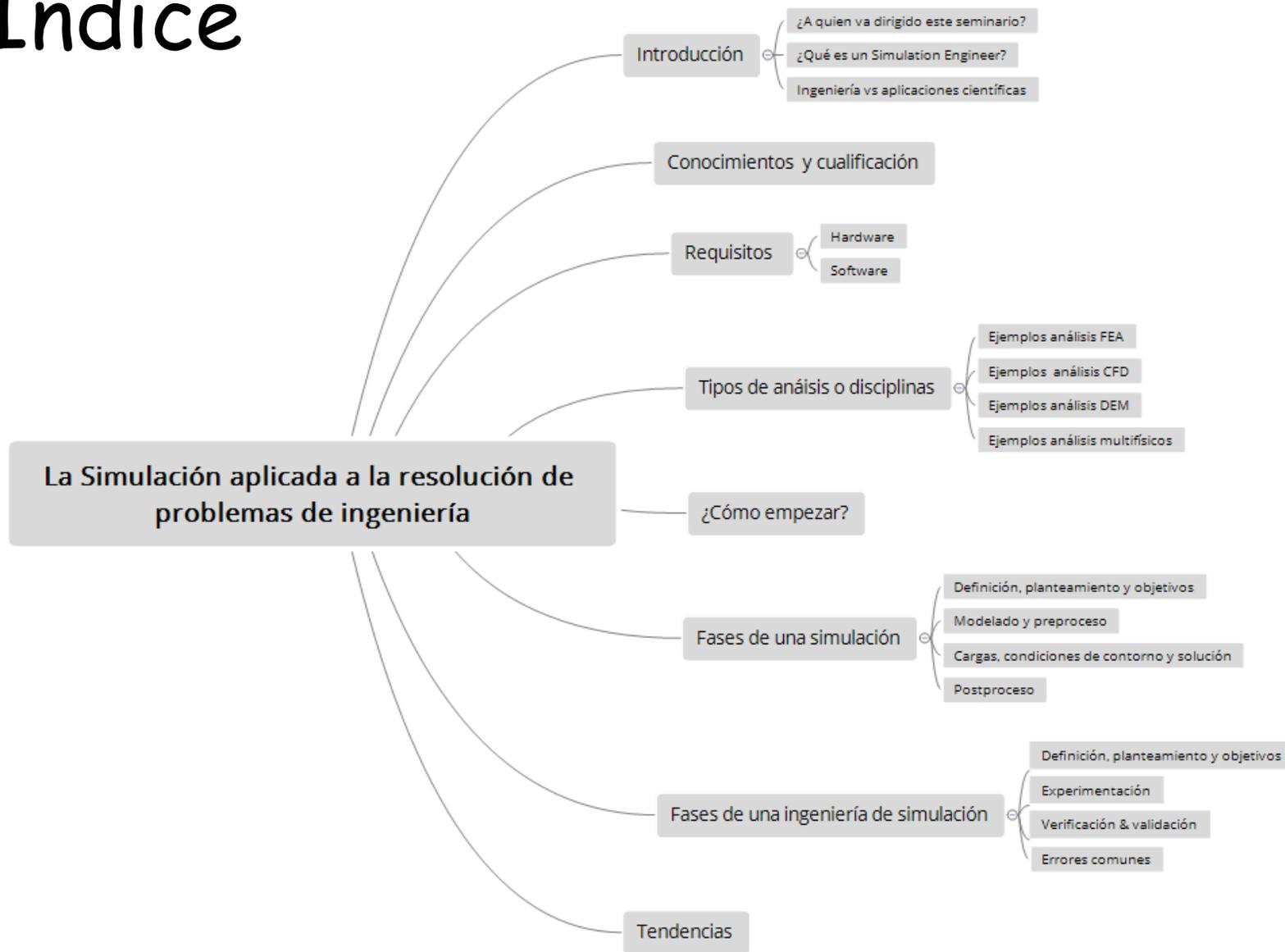
Ingeniero Industrial - Gerente

AST Ingeniería S.L.

La Simulación aplicada a la resolución de problemas de ingeniería

Un serie de seminarios organizados por NAFEMS Iberia

Índice



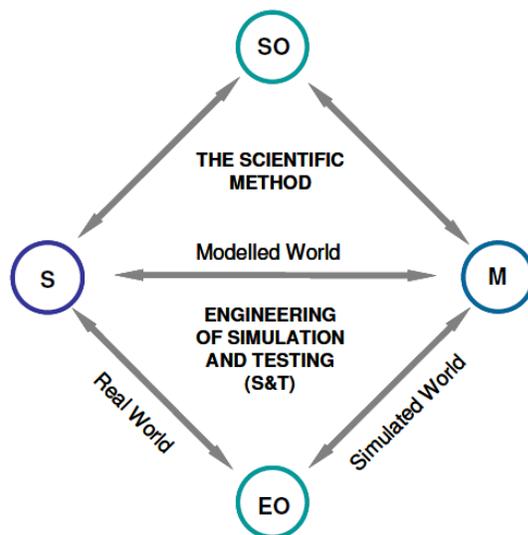
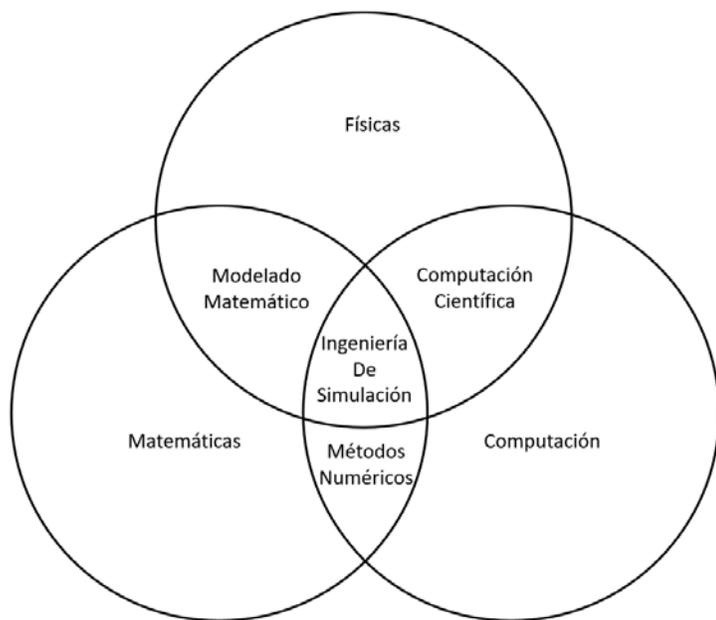
Introducción

- ¿A quién va dirigido este seminario?
 - Estudiantes a los que les llame la atención (friquis = apasionados)
 - Departamentos técnicos de empresas (microPYME, PYME, Gran Empresa) que fabriquen o desarrollen productos/procesos y que quieran empezar (También friquis)
- ¿Qué es un ingeniero de simulación?
 - Persona que utiliza herramientas de simulación como ayuda en la toma de decisiones. Es un medio no un fin.

Introducción

- ¿Qué es "Engineering Simulation"?

- La ingeniería de simulación combina físicas (disciplinas), matemáticas y computación para predecir el comportamiento físico de un producto/s o sistemas.



SO: Scientific Observer S: System M: Model EO: Engineer Observer
Figure 1: Relationship between S&T Engineering and Science

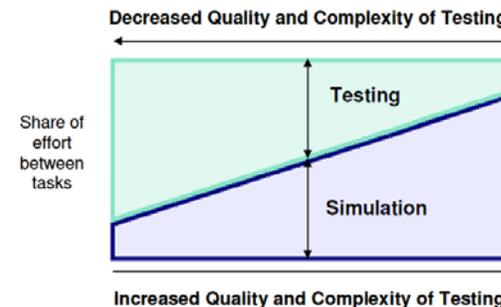


Figure 14: Integrated use of simulation and testing

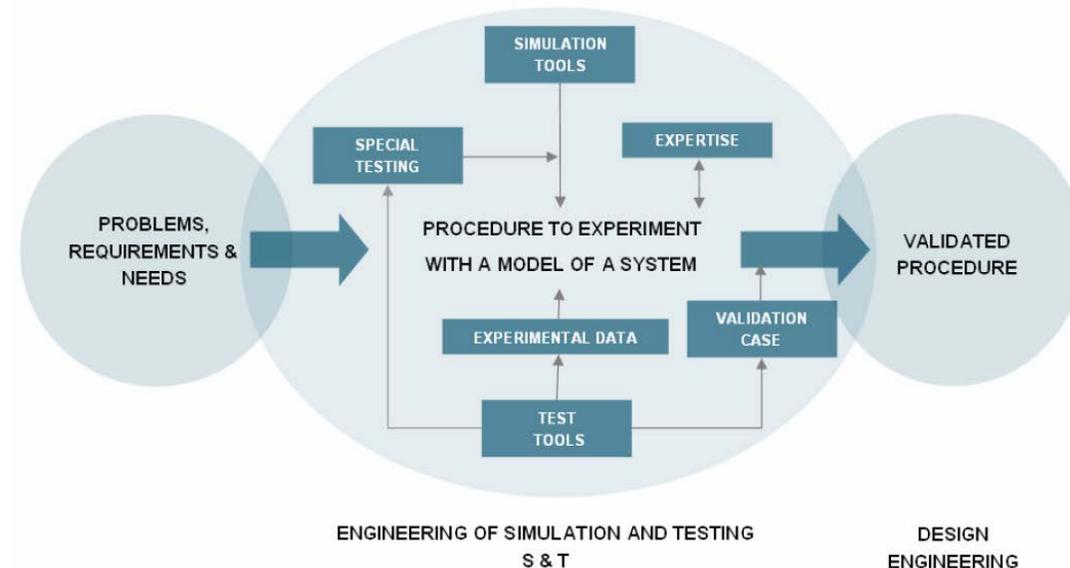
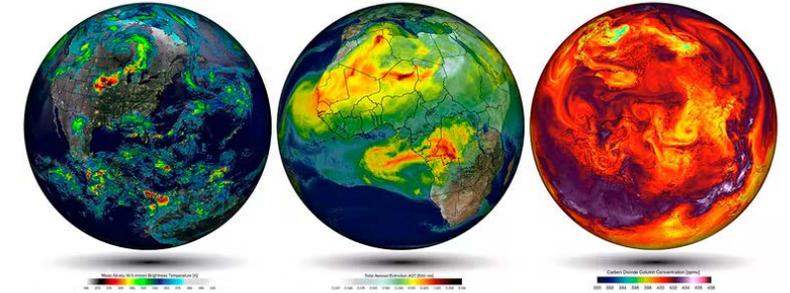


Figure 3: AST Framework: Simulation and Testing

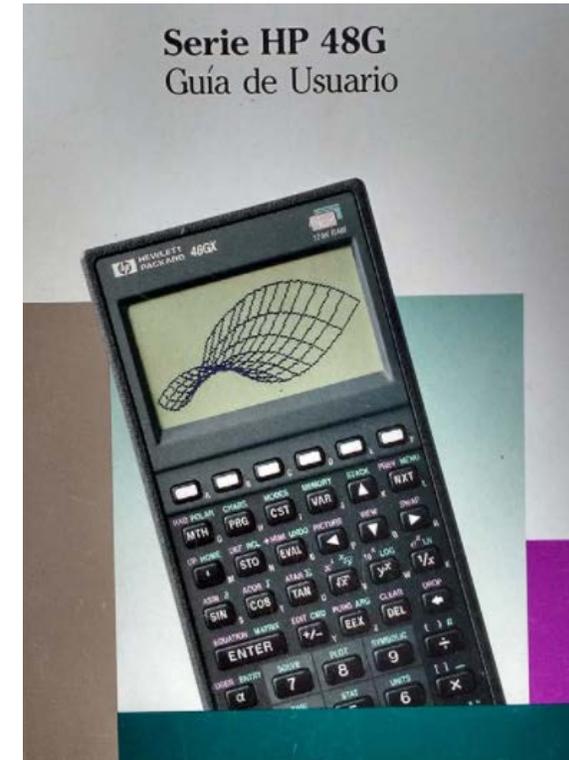
Introducción

como la [NASA](#), la [UK Met Office](#) o el [Beijing Climate Center](#).



Simulaciones empleando el modelo climático del Goddard Earth Observing System (GEOS-5) de la NASA. William Putman/NASA/Goddard

- Ingeniería vs Ciencia
 - La ingeniería aplica conocimientos científicos en la resolución de problemas.
 - Como ingenieros somos usuarios de herramientas
 - Los científicos desarrollan los algoritmos y/o teorías
 - No es estrictamente necesario ser experto en teoría de elementos finitos para poder usarlos.



Conocimientos y cualificación

- Recomendable una Carrera científico-técnica de ciclo superior
 - Con conocimientos en teoría de elementos/volúmenes finitos
 - Con conocimientos en la disciplina de cálculo que se realice (Estructural/civil, fluidodinámica, acústica, electromagnetismo, ...)
 - Persona capaz de resolver problemas sencillos de manera analítica.
 - Con capacidad y predisposición a la formación continua.



Conocimientos y cualificación

- Recomendaciones adicionales
 - Realizar másteres y cursos de formación específicos
 - Programas de postgrado (máster UNED...)
 - Cursos Nafems o similar
 - Cursos de los proveedores de software.
 - Intentar no comenzar solo (Proyecto universitario de grado y master, prácticas en empresa con gente con experiencia...)



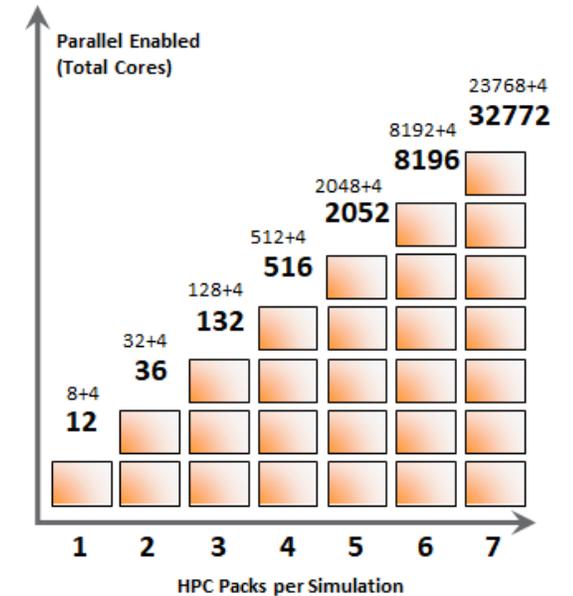
Conocimientos y cualificación



- PSE (Professional Simulation Engineer)
 - Certificación en diferentes niveles y competencias (26 áreas)
 - Entry Level (Tiene experiencia, pero necesita ser supervisado)
 - Standard Level (Trabaja de manera efectiva sin supervisión)
 - Advanced Level (Experto, independiente y puede formar)
 - Ingeniero Junior/Senior/Experto
 - Es un proceso que lleva años

Requisitos Hardware

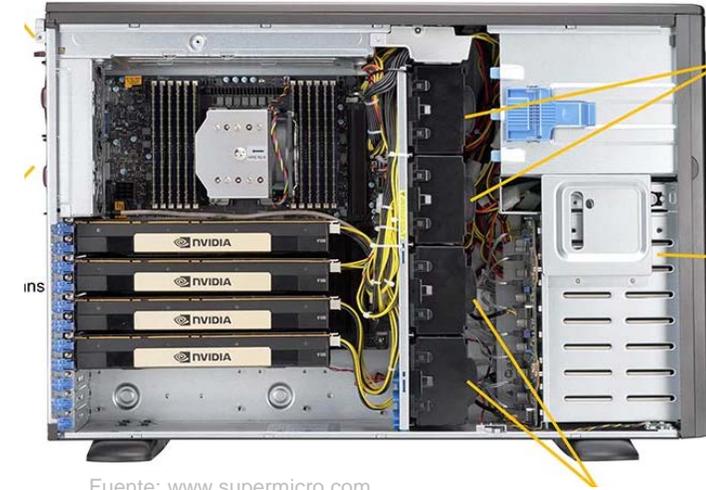
- Con la evolución de los ordenadores ha dejado de ser el principal problema.
- En el 90% de los casos no es necesario "clusterizar"
- Para comenzar una Workstation con 4 -6 cores y 32-64 Gb es suficiente.
- ¡Ojo! Los softwares comerciales limitan el número de Cores de cálculo.



Fuente: www.ansys.com

Requisitos Hardware

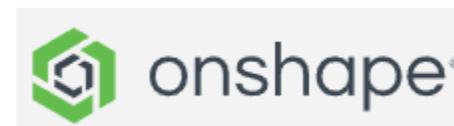
- Cuanto menos trabajes el modelo más recursos hardware vas a necesitar
- Los controles automáticos (malladores, etc..) suelen ser muy costosos desde un punto de vista computacional.
- Se están usando las GPUs para resolver
- Empieza a ser posible enviar cálculos a clusters en la nube (Azure, AWS, Gcompute o similar) con pago por uso.



Fuente: www.supermicro.com

Requisitos Software (\$)

- Se necesita un CAD 3D
 - Creación/importación de modelos
 - Preparación de modelos



NX

Nota: A nivel CAD no existen buenas alternativas de software libre



Requisitos Software (\$)

- Software CAE



Siemens Software



OpenFOAM



Ansys



Converge CFD



Ansa



XFlow



ABAQUS



Smokeview



Numeca



Comsol



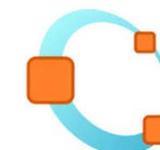
Paraview



Matlab



Netbeans
« Older Entries



GNU Octave



CAESES



Abinit



Nota: Posiblemente os venga impuesto (Por Universidad y/o empresa).

Fuente: Gcompute

Tipos de análisis o disciplinas

- FEA (“sólidos”)
 - Análisis implícitos (Estructurales, térmicos, electromagnéticos, ...)
 - Estacionarios
 - Dinámicos
 - Transitorios
 - Análisis explícitos (transitorios)
- CFD (Fluidos)
- DEM (Elementos discretos)
- Análisis acoplados o multifísicos

Tipos de análisis o disciplinas

- Ejemplos análisis FEA

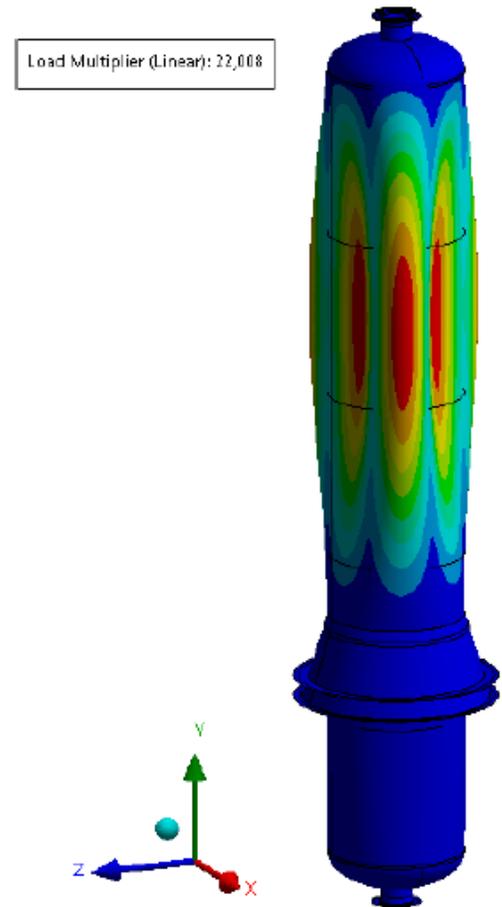
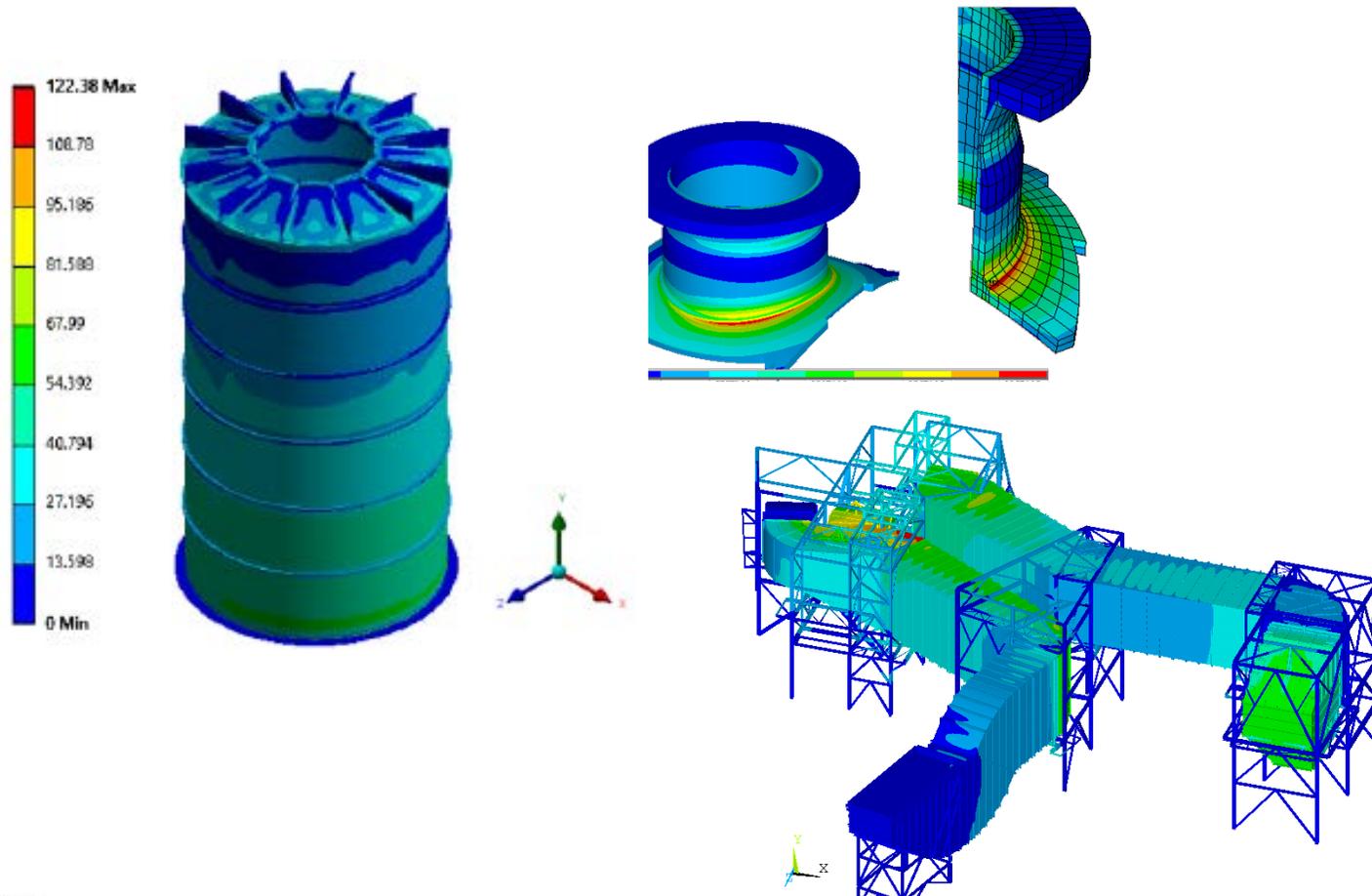
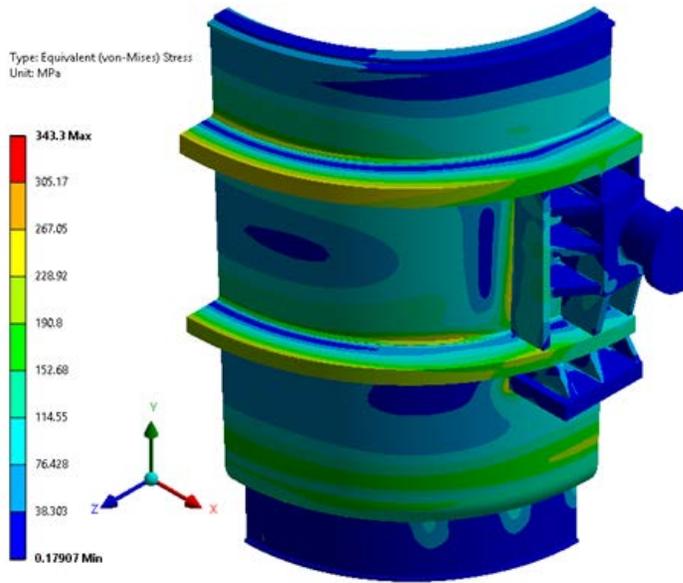


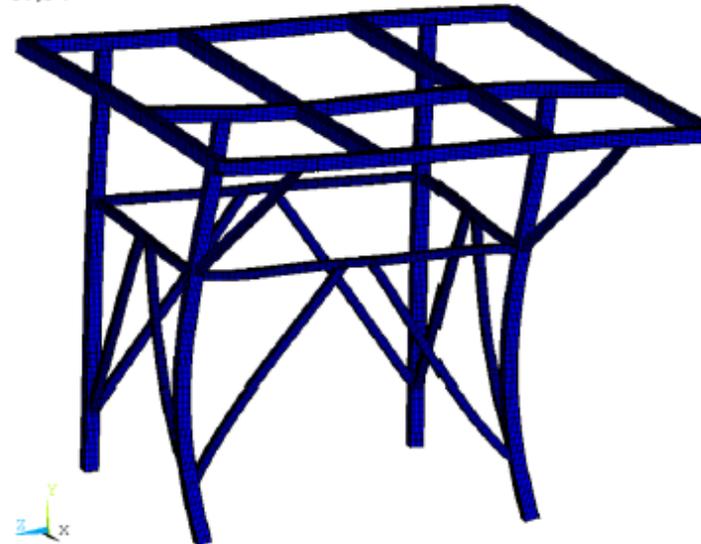
Figure A1.27: First buckling mode. LC1.2: $P_{ext} + D$

Tipos de análisis o disciplinas

- Ejemplos análisis FEA



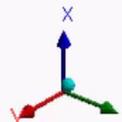
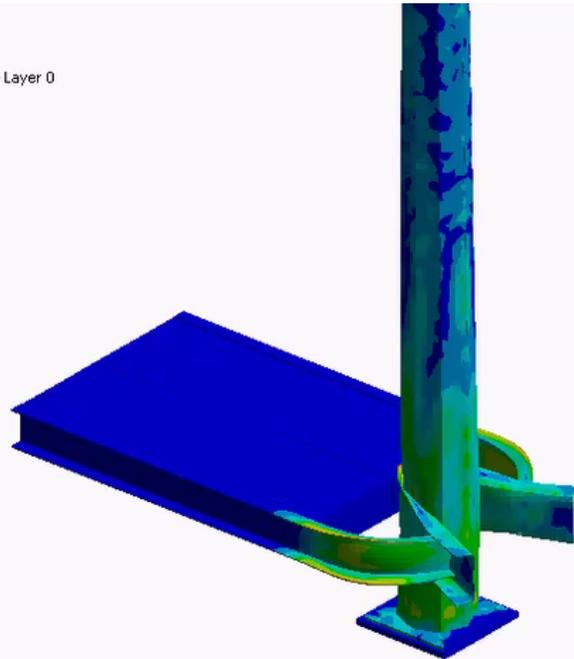
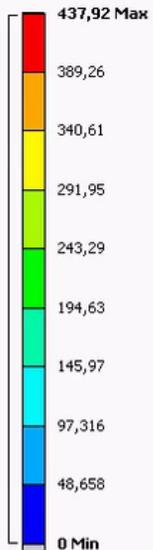
FREQ=57,94



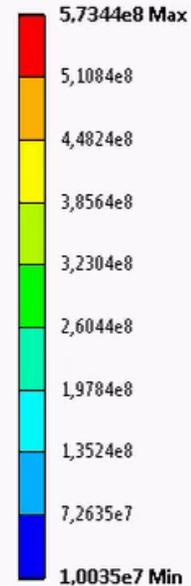
Tipos de análisis o disciplinas

- Ejemplos análisis FEA (Explícito)

D: torre optogonal
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom - Layer 0
Unit: MPa
Time: 3,e-002
23/08/2015 17:08



G: tore optogonal test2 + tiempo
Equivalent Stress 2
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom - Layer 0
Unit: Pa
Time: 7,9423e-002
24/08/2015 9:28



Tipos de análisis o disciplinas

- Ejemplos análisis FEA

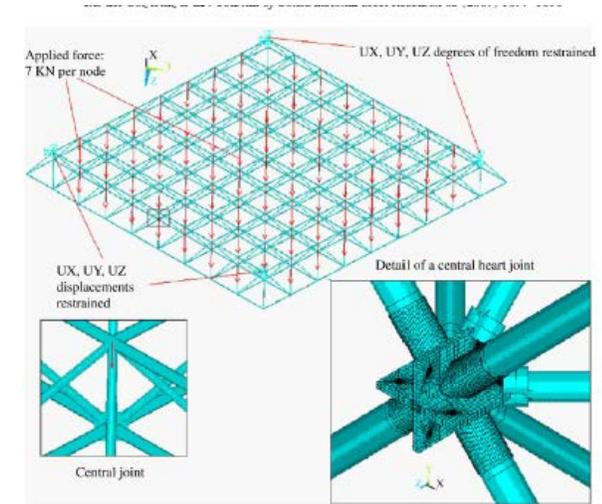
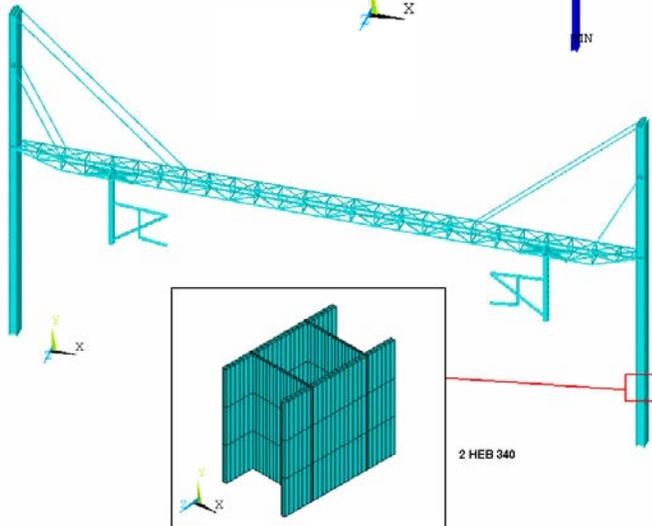
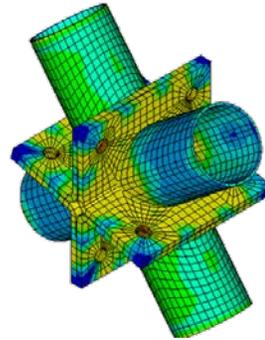
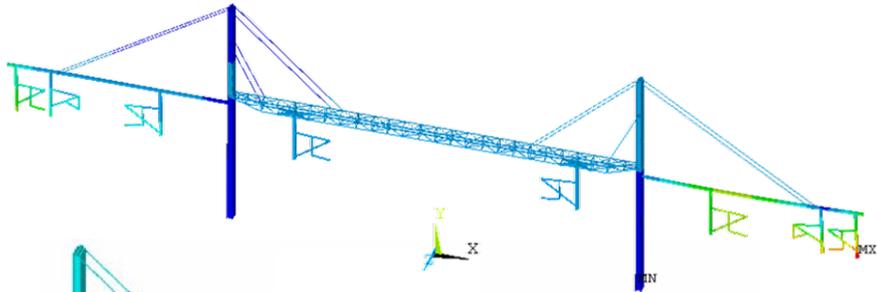


Fig. 21. Space structure's FEM model and a mesh's detail of the 'heart' joint.

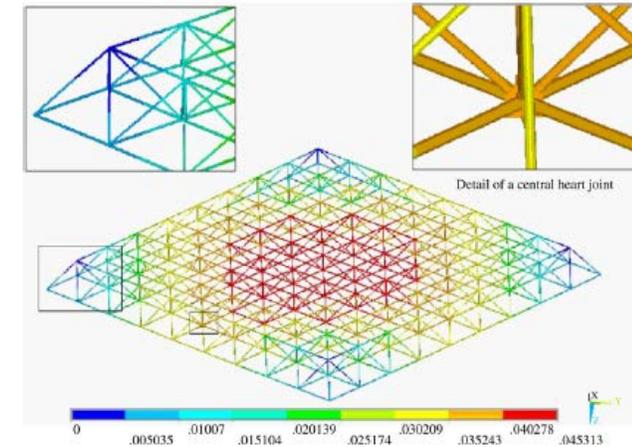
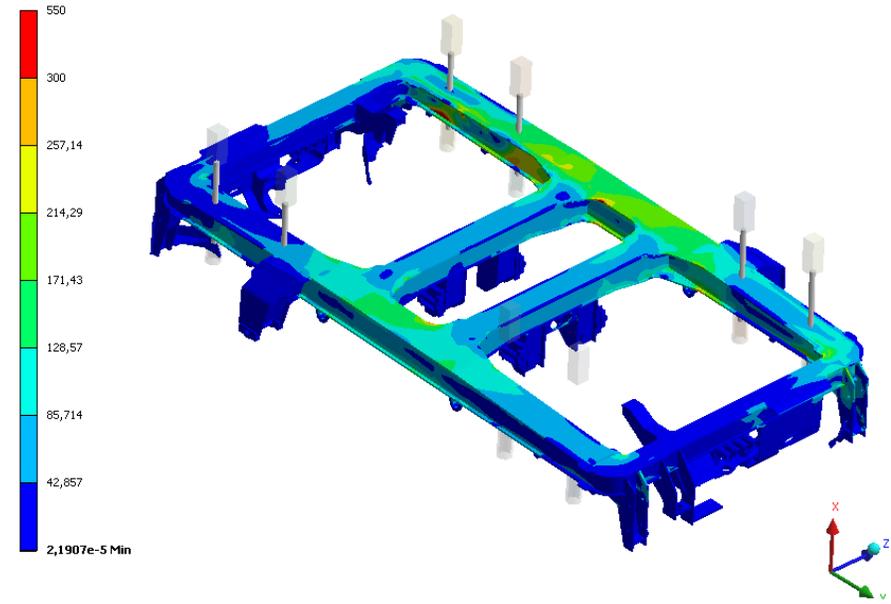
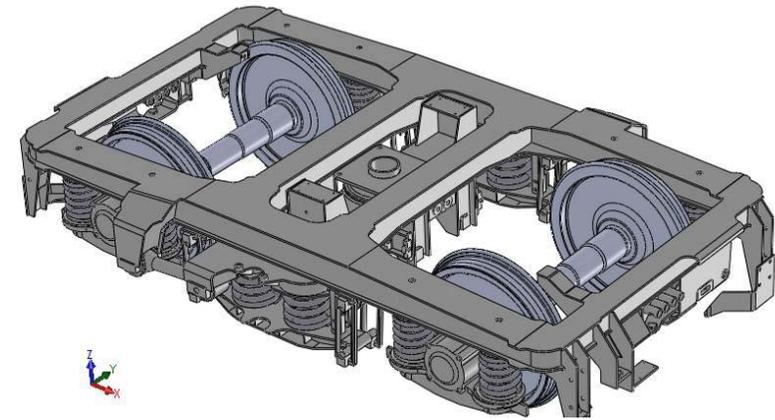
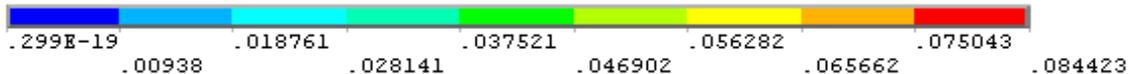
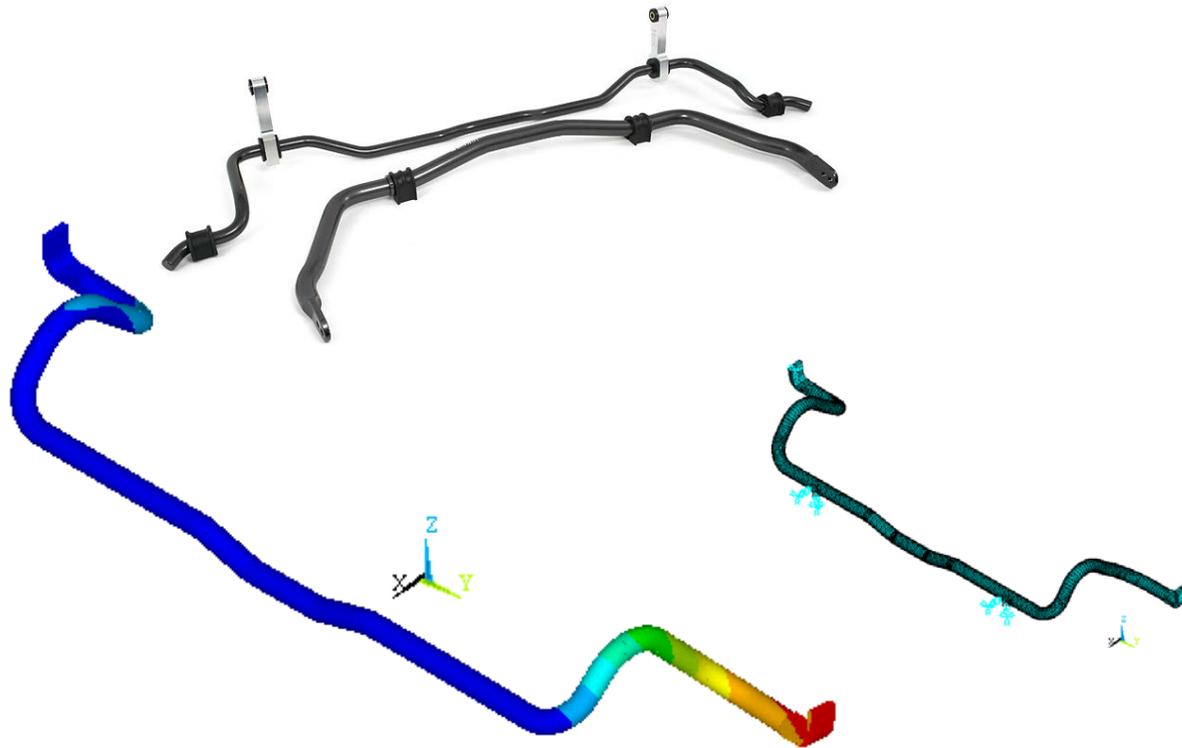


Fig. 22. Displacement's vector sum.

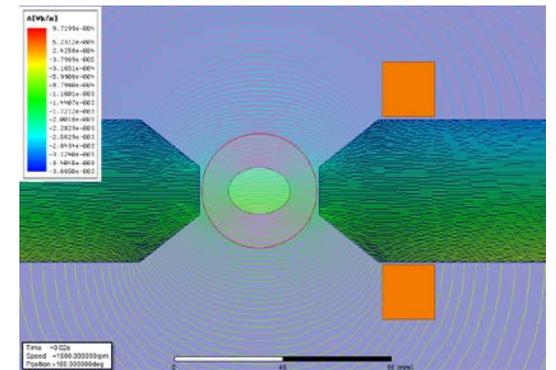
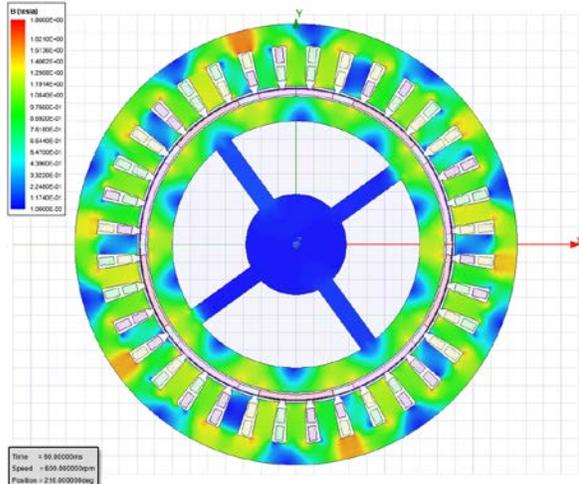
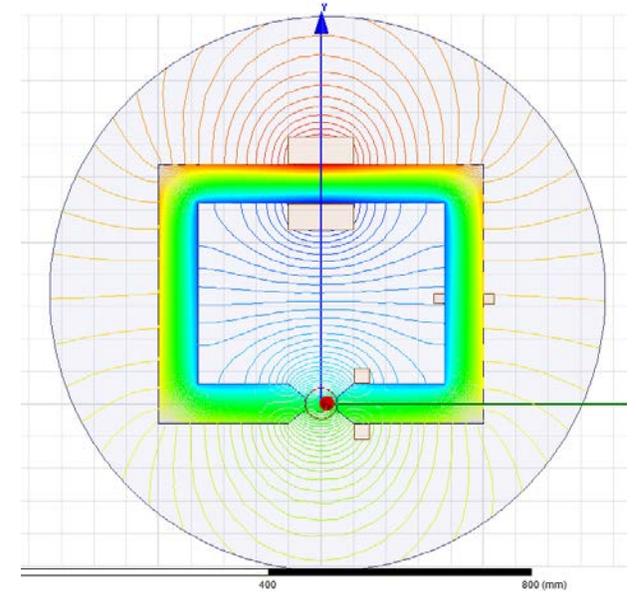
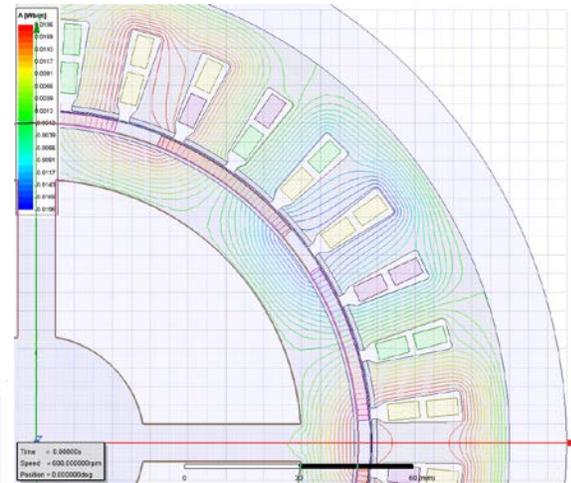
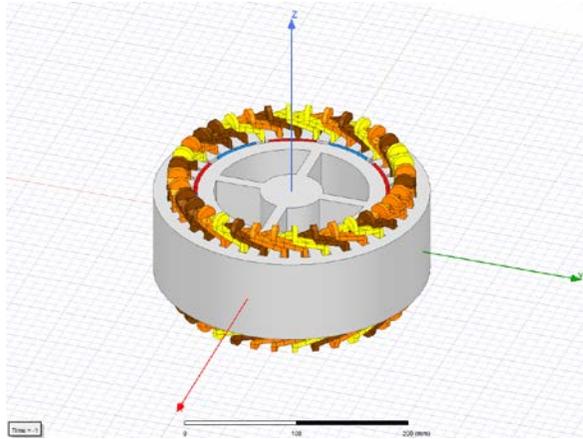
Tipos de análisis o disciplinas

- Ejemplos análisis FEA



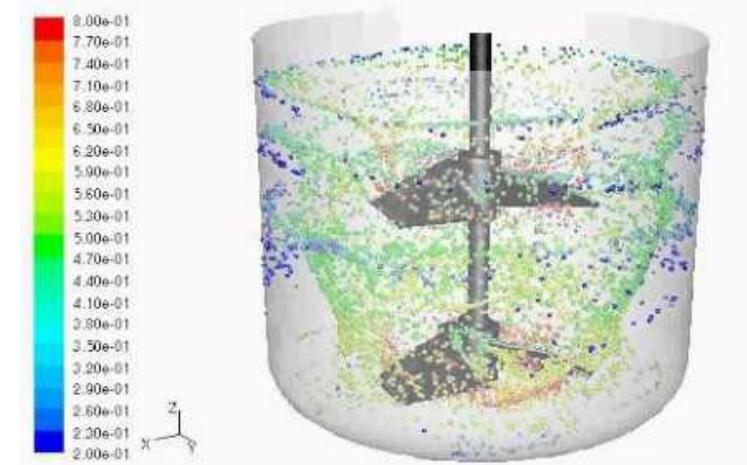
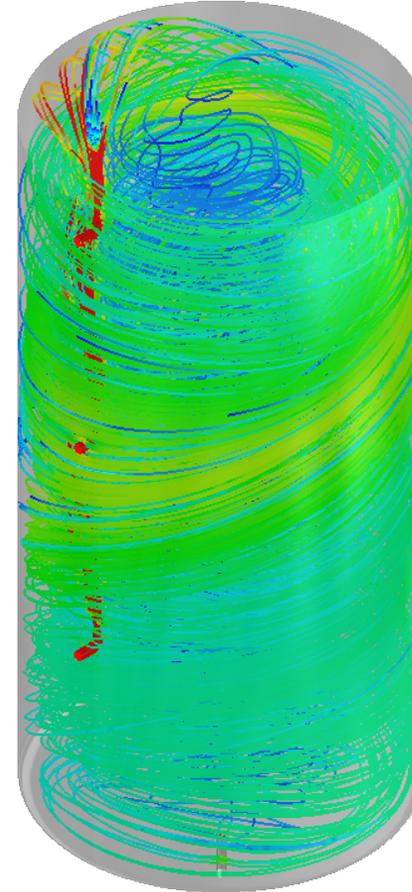
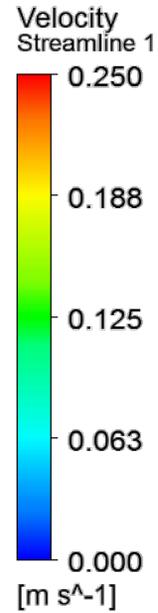
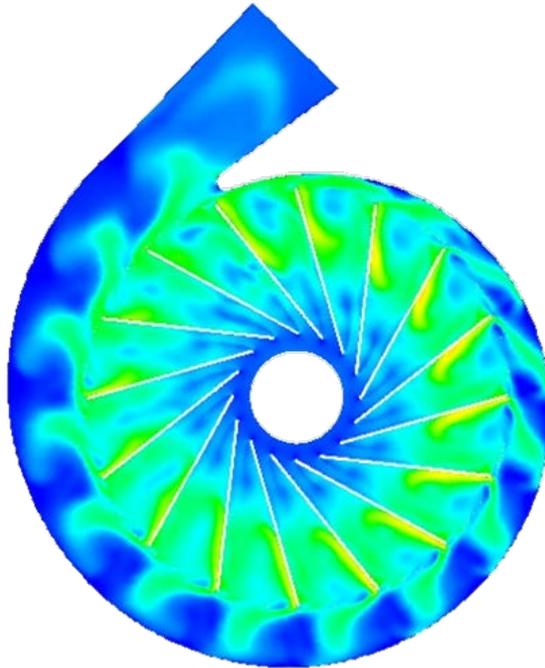
Tipos de análisis o disciplinas

- Ejemplos análisis FEA



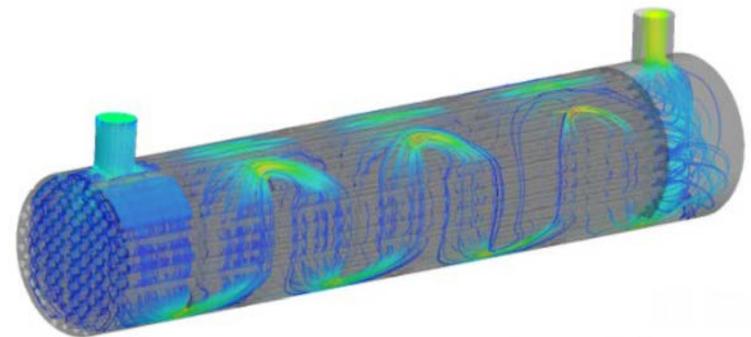
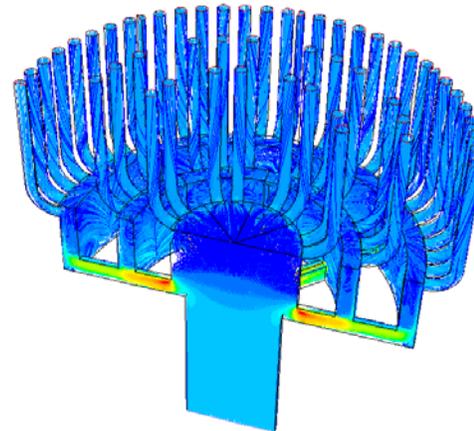
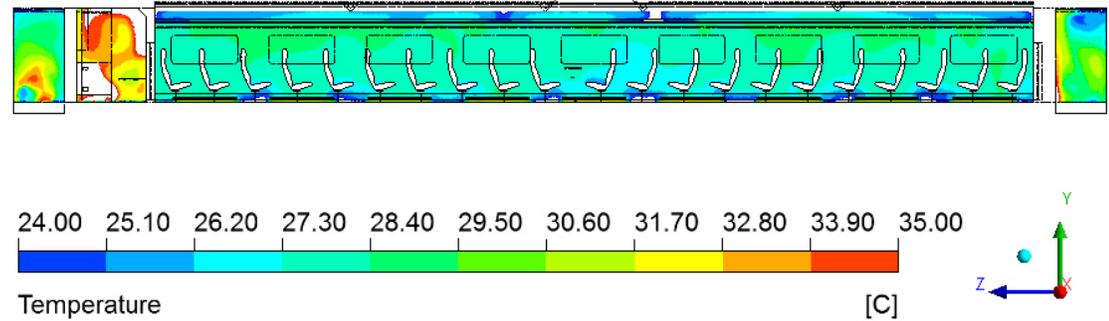
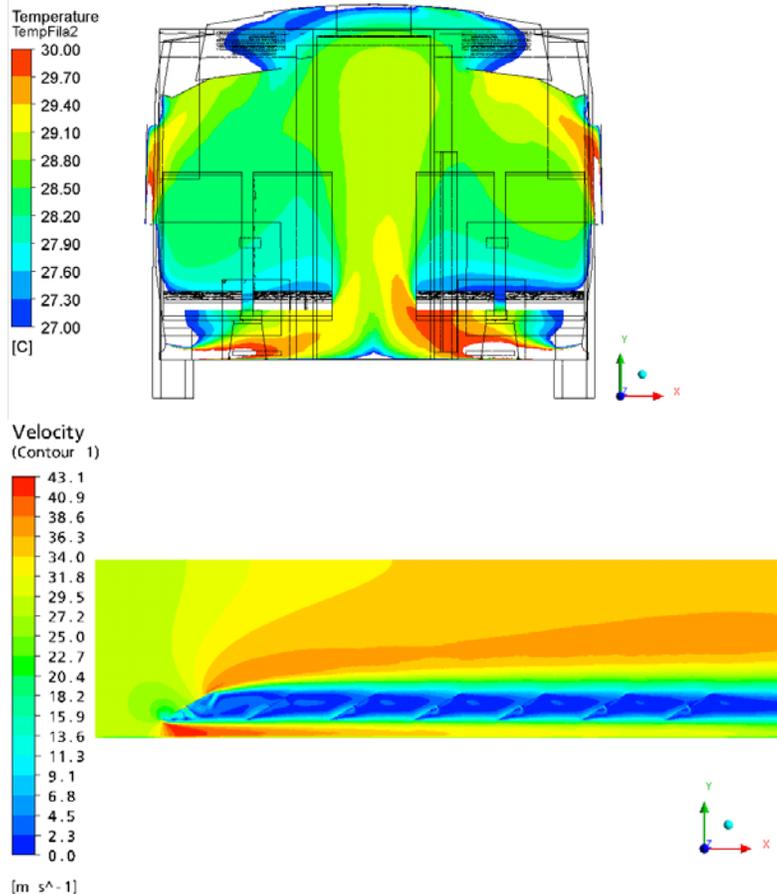
Tipos de análisis o disciplinas

- Ejemplos análisis CFD



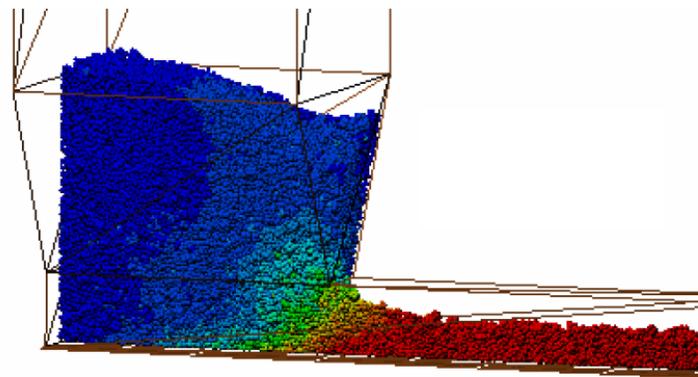
Tipos de análisis o disciplinas

- Ejemplos análisis CFD

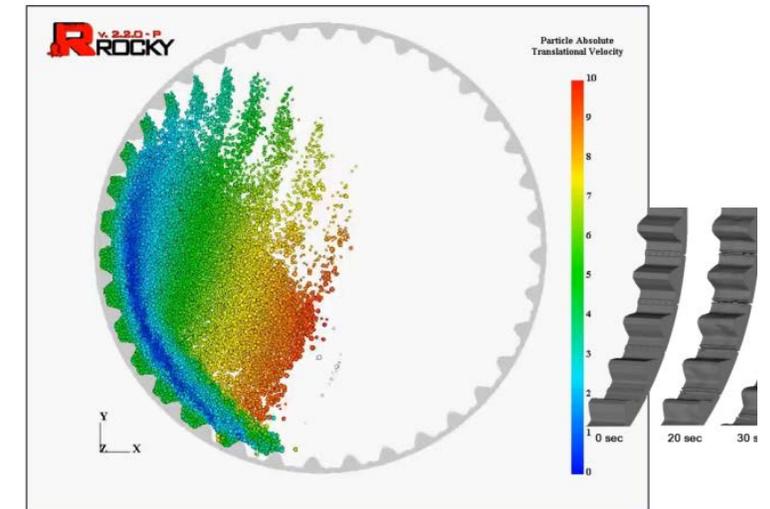
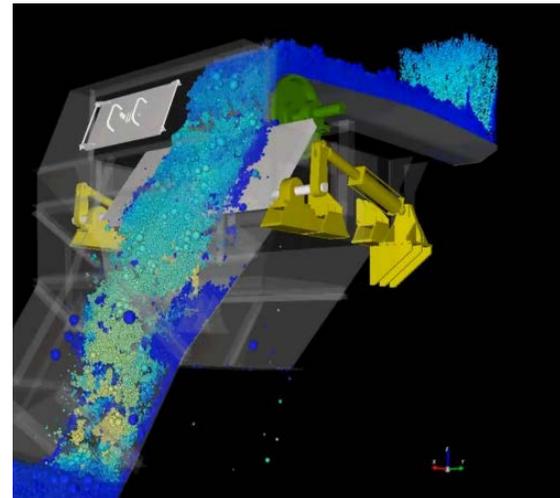


Tipos de análisis o disciplinas

- Ejemplos análisis DEM



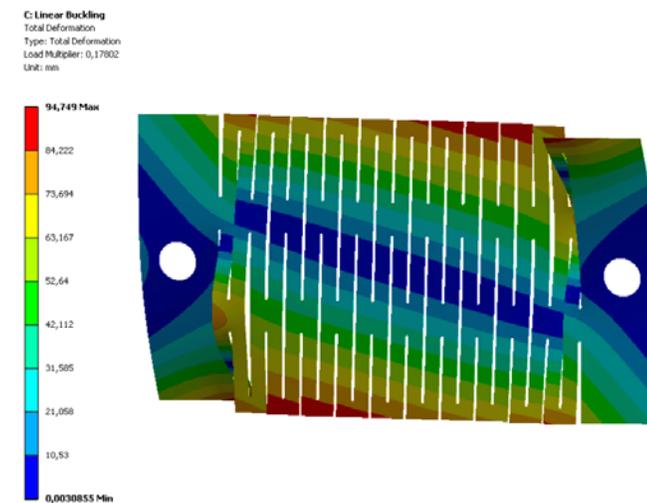
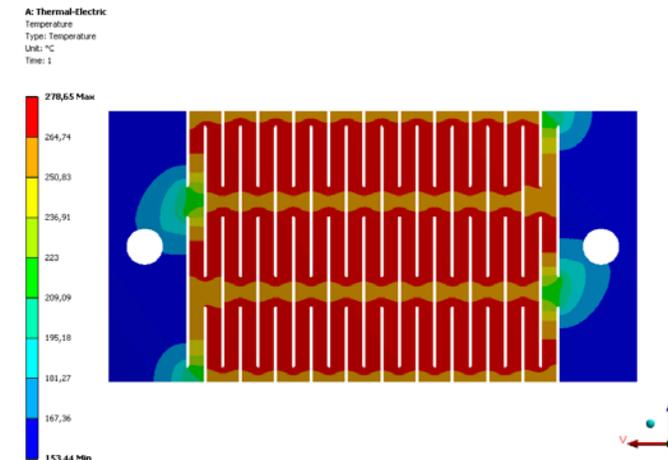
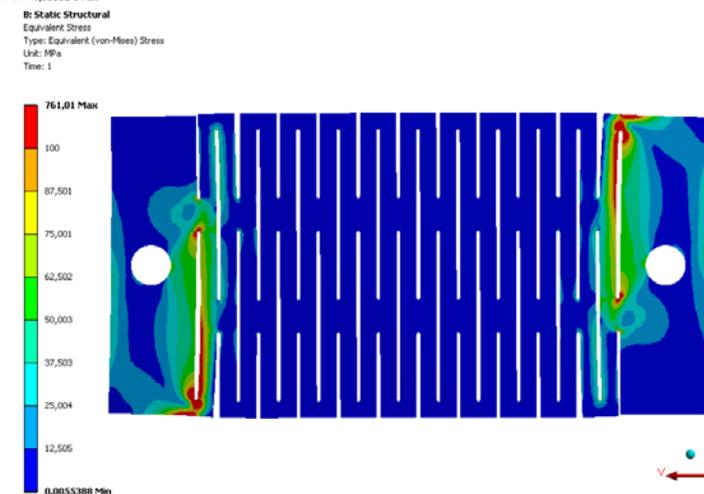
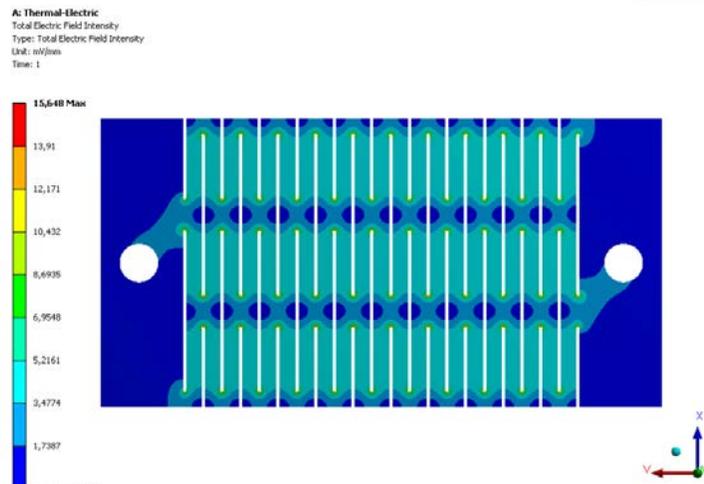
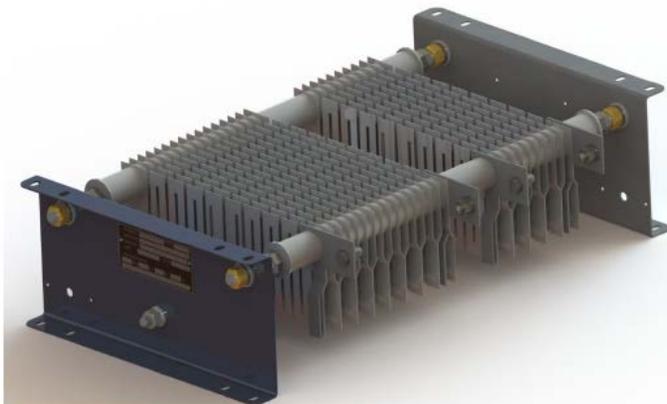
Material Velocity (m/s)



Cortesía de <https://rocky.esss.co/>

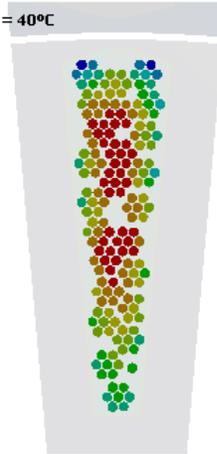
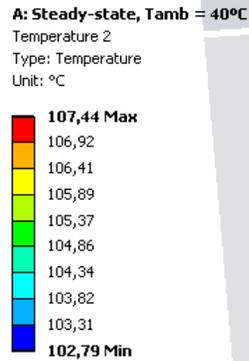
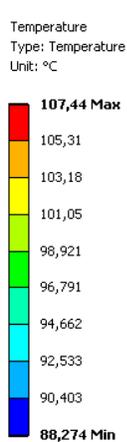
Tipos de análisis o disciplinas

- Ejemplos análisis multifísicos

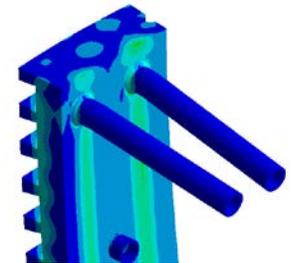
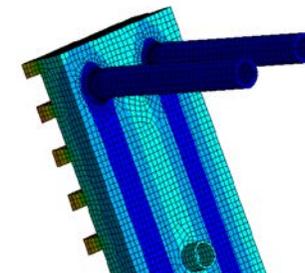
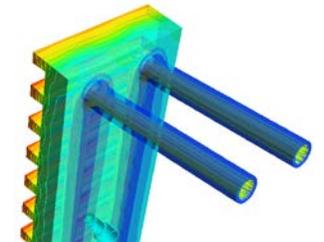
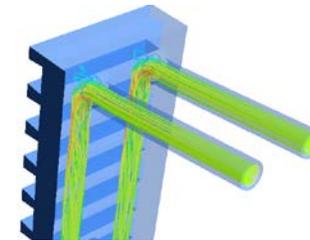
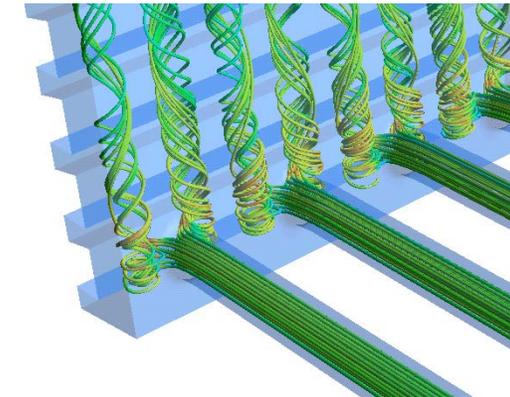
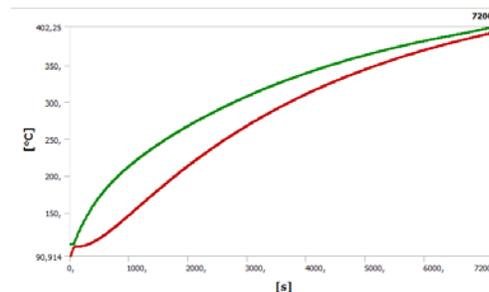
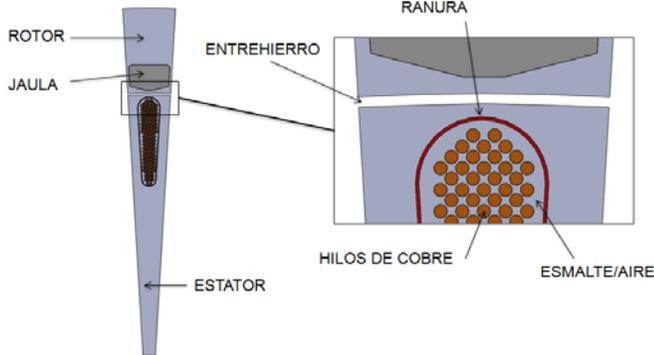


Tipos de análisis o disciplinas

- Ejemplos análisis multifísicos



HIPÓTESIS GEOMÉTRICAS:





¿Cómo empezar?

- Partiendo de la base comentada
- Seleccionando un software y hardware
- Realizando los tutoriales del software para familiarizarse con la GUI (interfaz de usuario)

¿Cómo empezar?

- Revisando el "Verification Manual"



THREE-BAR TRUSS

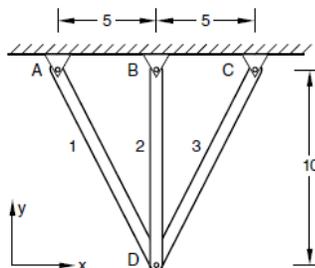
1.3.32 THREE-BAR TRUSS

Product: Abaqus/Standard

Elements tested

T2D2 T2D2H T2D3 T2D3H T3D2 T3D2H T3D3 T3D3H
FRAME2D FRAME3D

Problem description



Material: Linear elastic, Young's modulus = 30.0×10^6 .

Boundary conditions: Nodes A, B, and C are pinned.

Loading: $F_y^D = -10000.0$.

Reference solution

$v_y^D = -1.3711 \times 10^{-2}$, $\sigma = 32907$ in elements 1 and 3, $\sigma = 41134$ in element 2.

Results and discussion

All elements yield exact solutions. Multi-point constraints are required to eliminate singularities in the three-node element tests using truss elements; e.g., T3D3.

The frame elements tested have rectangular cross-sections with the same cross-sectional area as the truss elements tested. The PINNED parameter is used on the *FRAME SECTION option to indicate that the frame elements have pinned connections at the joints. Since the frame elements are formulated

1.3.32-1



THREE-BAR TRUSS

in terms of section properties, stress output is not available; instead, the section forces are available. Stresses calculated from the axial force and the cross-sectional area match the stresses obtained from the truss element tests.

Input files

et22s.fse.inp
et22shse.inp
et23s.fse.inp
et23shse.inp
et32s.fse.inp
et32shse.inp
et33s.fse.inp
et33shse.inp
frame2d_3bar_pinned.inp
frame3d_3bar_pinned.inp

T2D2 elements.
T2D2H elements.
T2D3 elements.
T2D3H elements.
T3D2 elements.
T3D2H elements.
T3D3 elements.
T3D3H elements.
FRAME2D elements.
FRAME3D elements.

1.3.32-2

¿Cómo empezar?

- Revisando el "Verification Manual"

VMC5: Simply-Supported Solid Square Plate

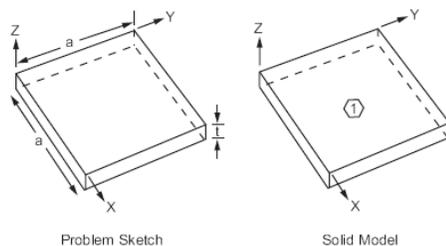
Overview

Reference:	NAFEMS, "The Standard NAFEMS Benchmarks", Rev. No. TSNB, National Engineering Laboratory, E. Kilbride, Glasgow, UK, August, 1989, Test No. FV52 (modified).
Analysis Type(s):	Mode-frequency Analysis (ANTYPE = 2)
Element Type(s):	3-D 8-Node Structural Solid Elements (SOLID185) 3-D 10-Node Tetrahedral Structural Solid Elements (SOLID187)
Input Listing:	vmc5.dat

Test Case

A simply-supported rectangular solid of thickness t is analyzed to determine the first $P = 10$ natural frequencies (the first three of which are rigid body modes). Determine the natural frequencies and mode shapes using the Block Lanczos eigenvalue extraction method for both element types.

Figure C5.1: Solid Square Plate Problem Sketch



Material Properties	Geometric Properties	Parameter Definitions
$E = 200 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ $\nu = 0.3$ $\rho = 8000 \text{ kg/m}^3$	$a = 10.0 \text{ m}$ $t = 1.0 \text{ m}$ Loading At $Z = 0$ $U_Z = 0$ along 4 edges	$N1 =$ No. elements along edges $N2 =$ No. elements through thickness

Target Solution

Modes 1-3 are rigid body modes (zero frequency).

Mode	4	5	6	7	8	9	10
Frequency (Hz)	45.897	109.44	109.44	167.89	193.59	206.19	206.19

Benchmark C5

Results Comparison

ETYP	N1	N2	Frequency Ratio						
			4	5	6	7	8	9	10
185	8	3	0.987	1.041	1.041	1.032	1.016	1.016	1.016
187	6	1	0.970	0.992	0.992	0.988	1.000	1.000	1.000

Figure C5.2: Representative Mesh Options

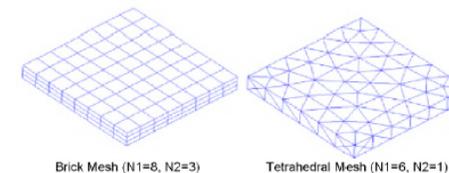
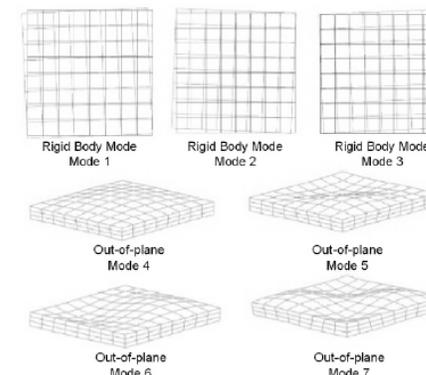
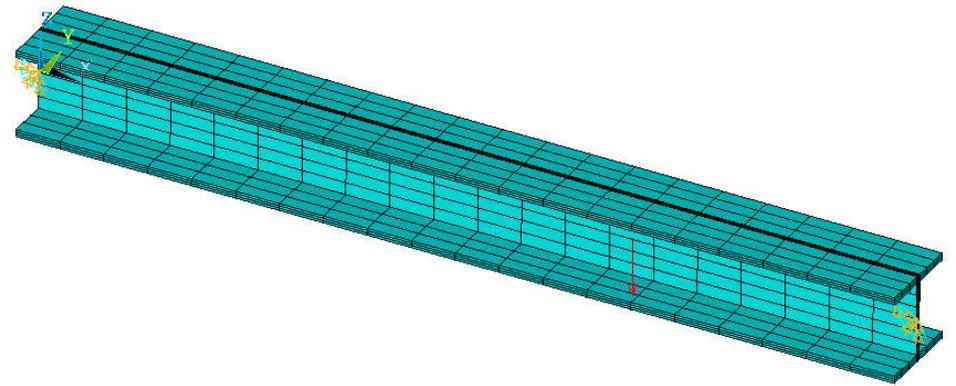


Figure C5.3: Graphical Results - Mode Shapes



¿Cómo empezar?

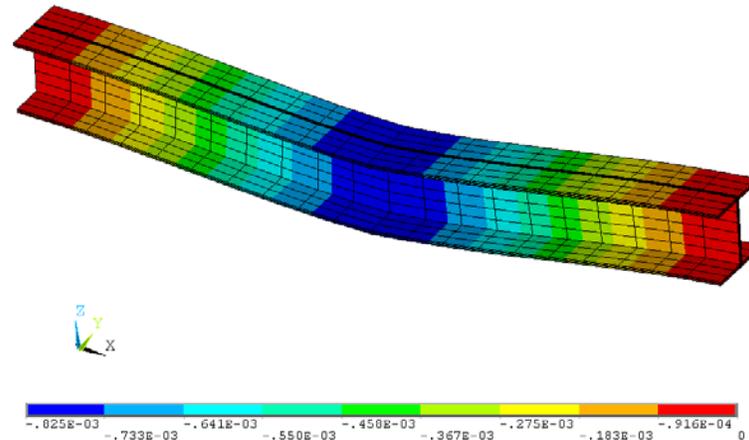
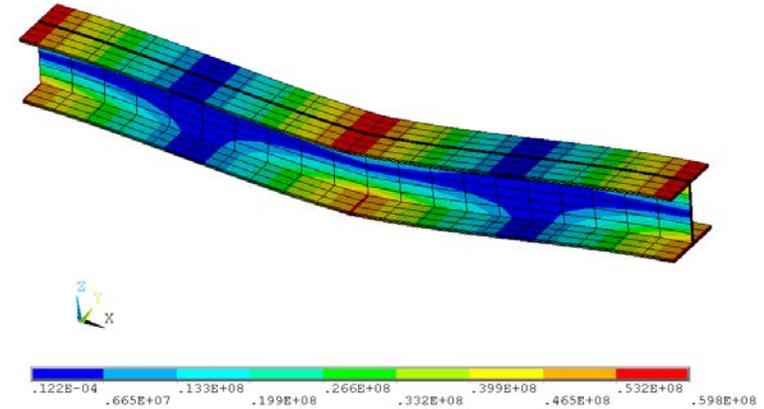


- Realizando problemas sencillos

VIGA SIMPLE EMPOTRADA: carga puntual F genérica.

Reacciones y solicitaciones	
Reacciones:	$R_A = \frac{Fb^2}{L^3}(L+2a)$ $R_B = \frac{Fa^2}{L^3}(L+2b)$
Cortantes:	$V_{AC} = \frac{Fb^2}{L^3}(L+2a)$ $V_{CB} = -\frac{Fa^2}{L^3}(L+2b)$
Flectores:	$M_A = -\frac{Fab^2}{L^2}$ $M_B = -\frac{Fa^2b}{L^2}$ $M_C = \frac{2Fa^2b^2}{L^3}$
	$M_{AC} = \frac{Fb^2}{L^3}(Lx+2ax-aL)$ $M_{CB} = \frac{Fa^2}{L^3}(Lb+L^2-Lx-2bx)$

Deformaciones	
Elástica:	$y_{AC} = \frac{Fb^2}{6EI} \left(3a-x - \frac{2ax}{L} \right) \frac{x^2}{L^2}$
	$y_{CB} = \frac{Fa^2}{6EI} \left(3b-(L-x) - 2b \frac{L-x}{L} \right) \frac{(L-x)^2}{L^2}$
Flechas:	$y_C = \frac{Fb^3a^3}{3EIL^3}$ $y_{\max} = \frac{2Fb^2a^3}{3EI(L+2a)^2}$ para $x = \frac{2aL}{L+2a}$

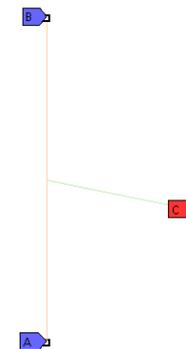


¿Cómo empezar? What if??

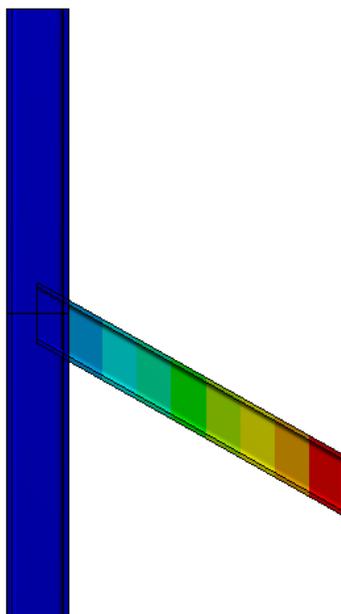
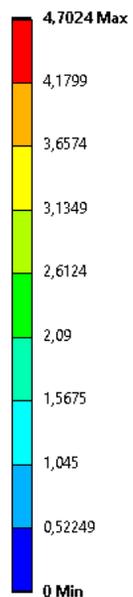
- Modificar condiciones de contorno
- Modificar tamaño de malla

B: Static Structural
Static Structural
Time: 1, s

A Fixed Support
B Fixed Support 2
C Force: 10000 N

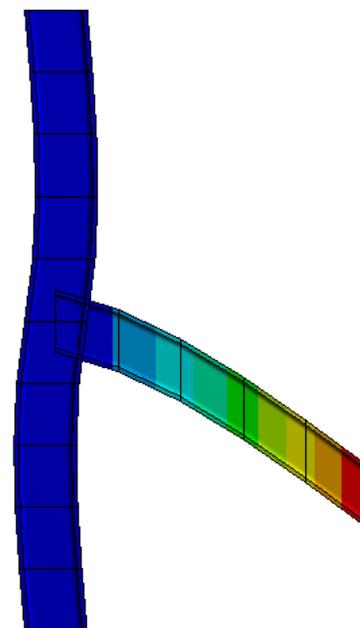
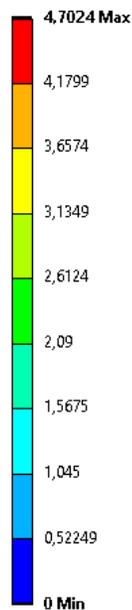


B: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1



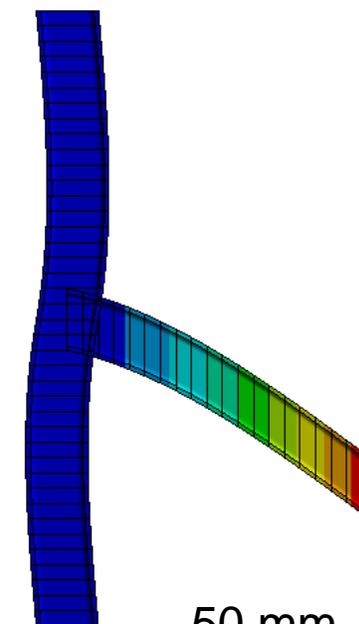
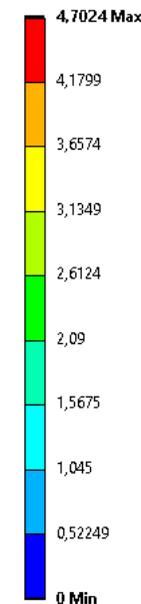
1 metro

B: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1



200 mm

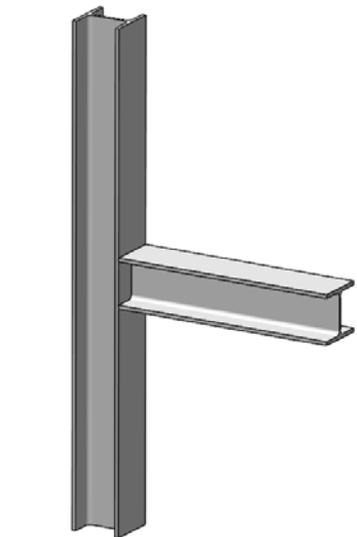
B: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1



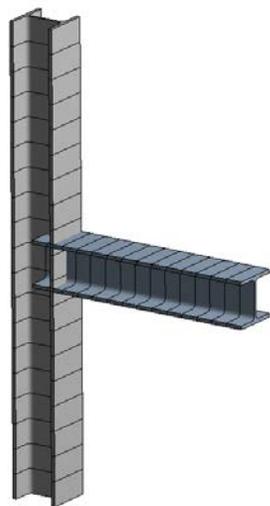
50 mm

¿Cómo empezar? What if??

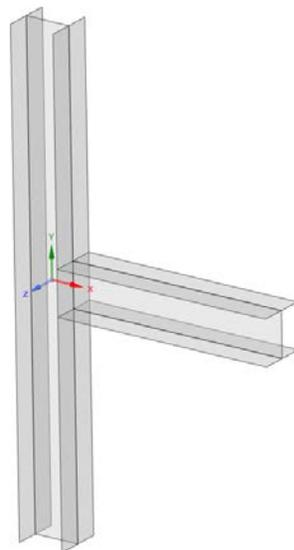
- Trabajar con diferentes tipos de idealizaciones y elementos



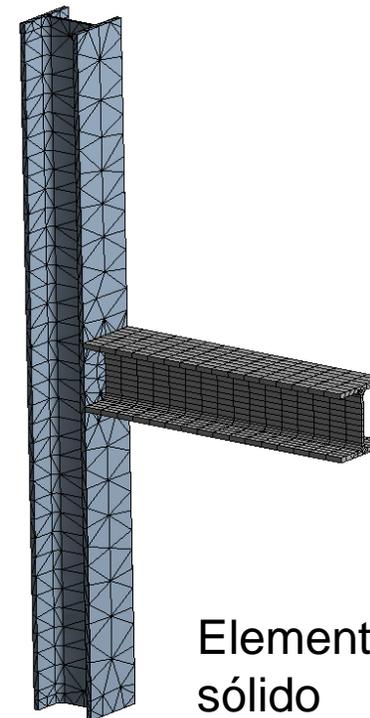
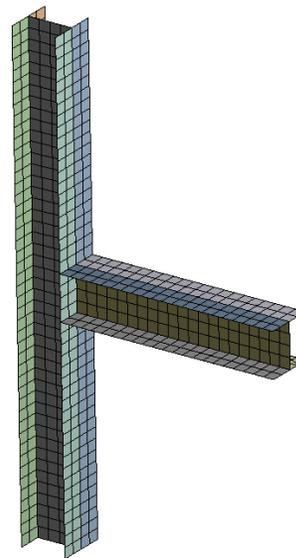
Modelo CAD



Elementos tipo
Viga



Elementos tipo
placa



Elementos tipo
sólido

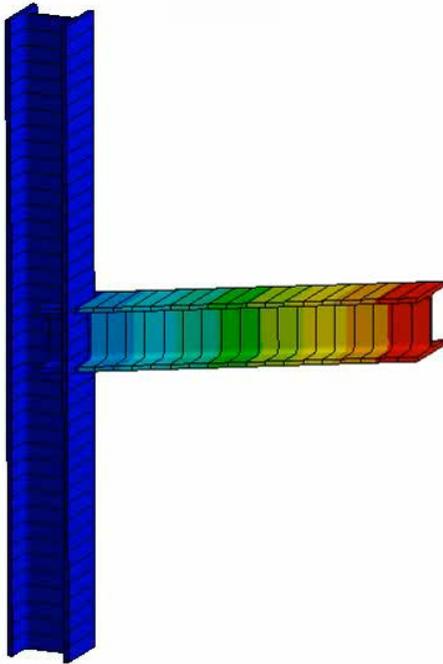
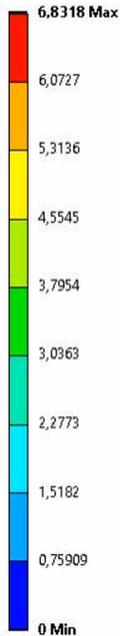
Modelos más complejos y costosos computacionalmente
Más precisos, en función de lo que se esté analizando

Nota: Se pueden hacer modelos híbridos

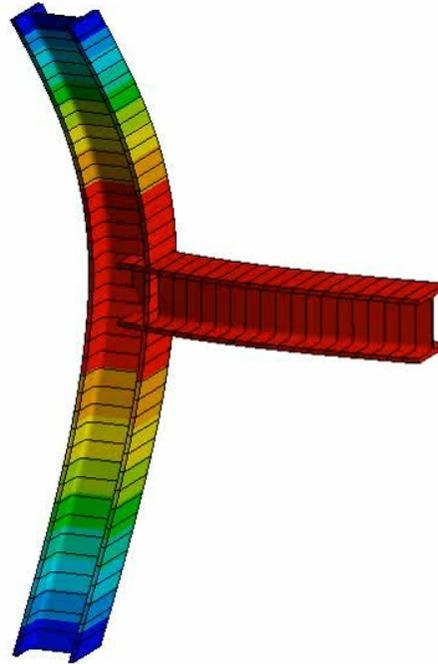
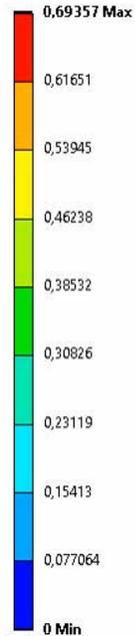
¿Cómo empezar? What if??

– Experimentar con diferentes análisis

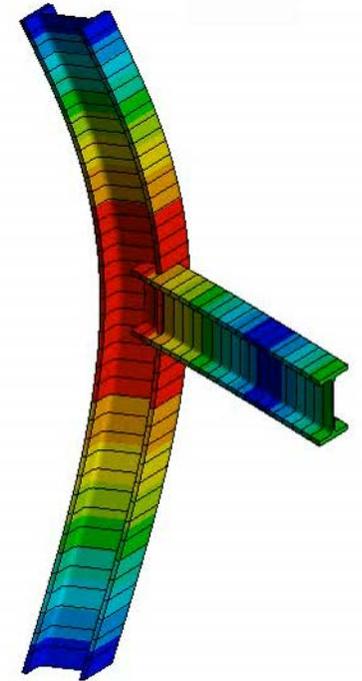
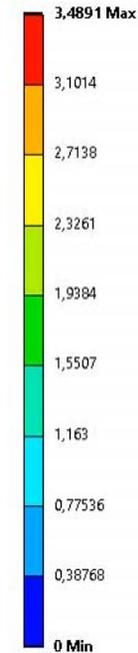
C: Modal
Total Deformation
Type: Total Deformation
Frequency: 7,3586 Hz
Unit: mm



C: Modal
Total Deformation 2
Type: Total Deformation
Frequency: 69,207 Hz
Unit: mm



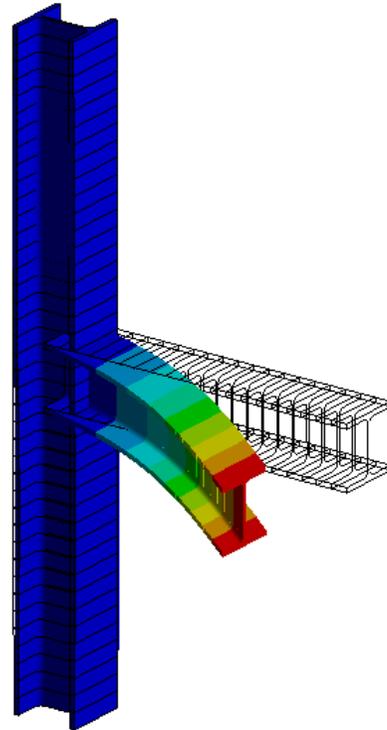
C: Modal
Total Deformation 3
Type: Total Deformation
Frequency: 89,215 Hz
Unit: mm



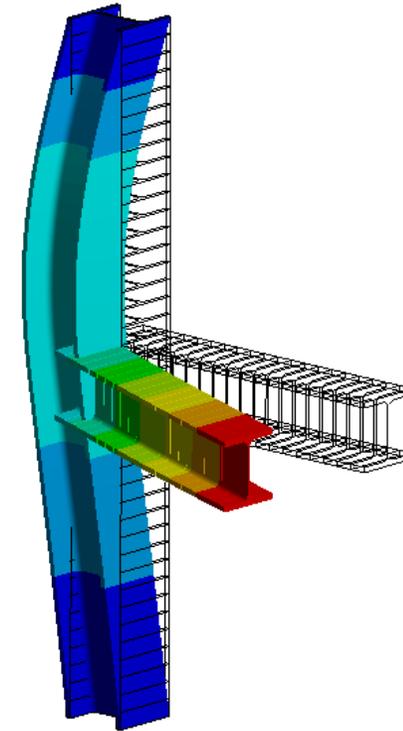
¿Cómo empezar? What if??

- Experimentar con diferentes análisis

D: Eigenvalue Buckling
Total Deformation
Type: Total Deformation
Load Multiplier (Linear): 17,001
Unit: mm



D: Eigenvalue Buckling
Total Deformation 3
Type: Total Deformation
Load Multiplier (Linear): 33,213
Unit: mm



¿Cómo empezar?

- Añadir no linealidades
 - Materiales
 - Geométricas (contactos, joints, couplings,...)
- Submodelado
- Fatiga
- Térmicos (Estacionarios y transitorios)
- Dinámicos (Armónicos, espectrales,...)
- Interacción entre análisis
- La misma filosofía para CFD, etc.

Fases de una Simulación

- Preproceso (Tratamiento de geometría y preparación de modelo)
- Aplicación de cargas y condiciones de contorno
- Solución, con el algoritmo numérico que proceda
- Post proceso de resultados
- Repetición del proceso

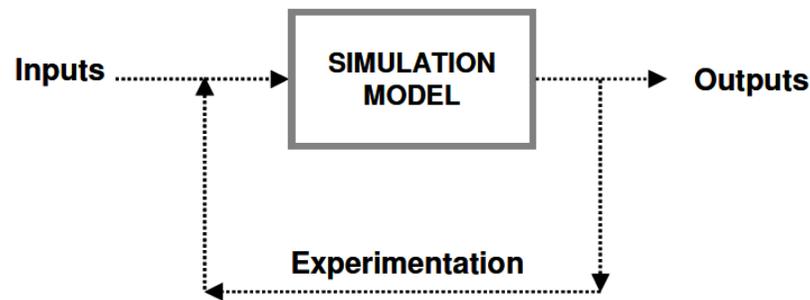


Figure 2: Scheme of the experimental process of simulation

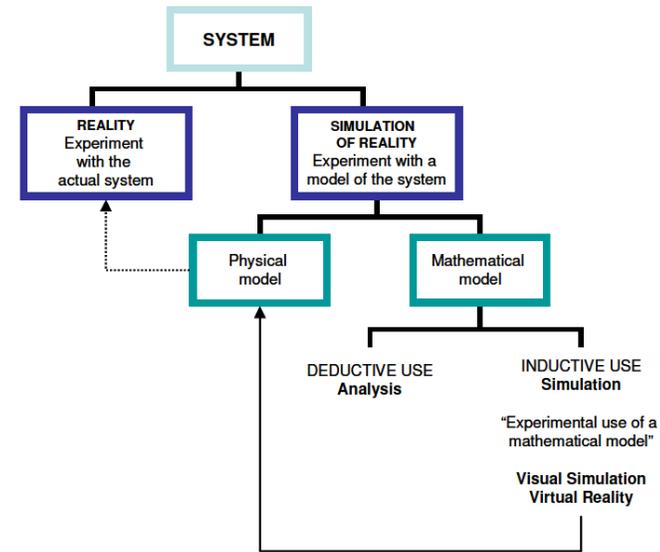
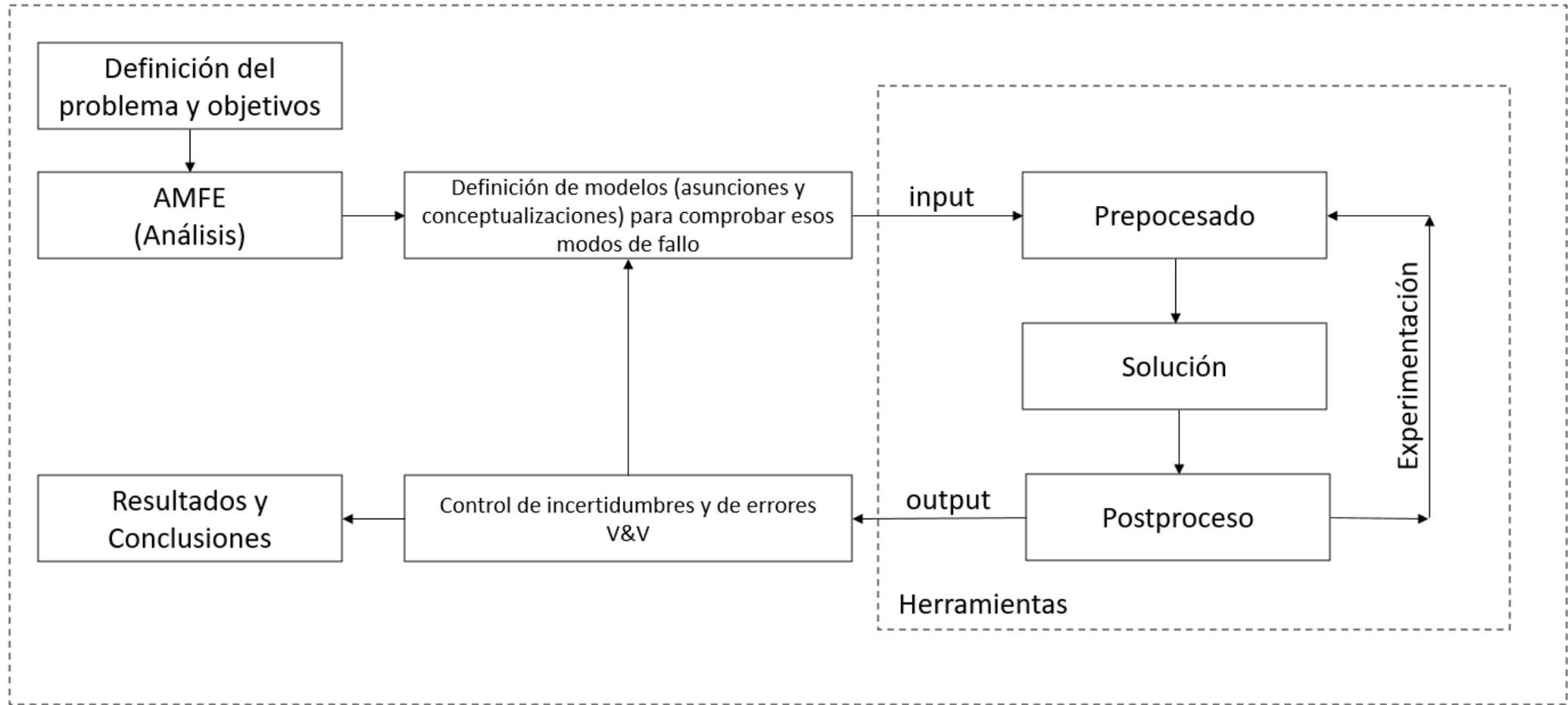


Figure 16: Ways to study a system: Visual Simulation (Torrón Durán [7])

Fases de una ingeniería de simulación

Ingeniería de Simulación

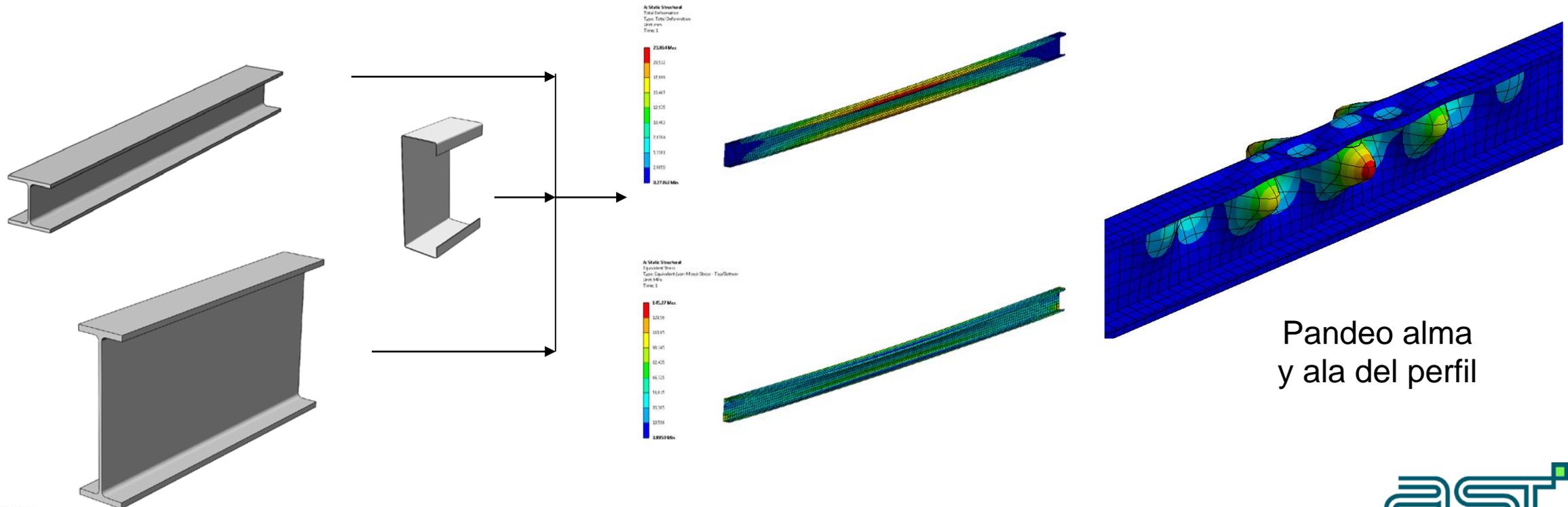


Fases de una Simulación

- AMFE
 - Física o físicas aplicables
 - Modos de fallo:
 - ELU: Resistencia, estabilidad elástica, fatiga
 - ELS: Deformaciones, vibración...
 - ...
 - Simplificaciones (Simetrías, etc.)
 - Submodelos, análisis por fases...

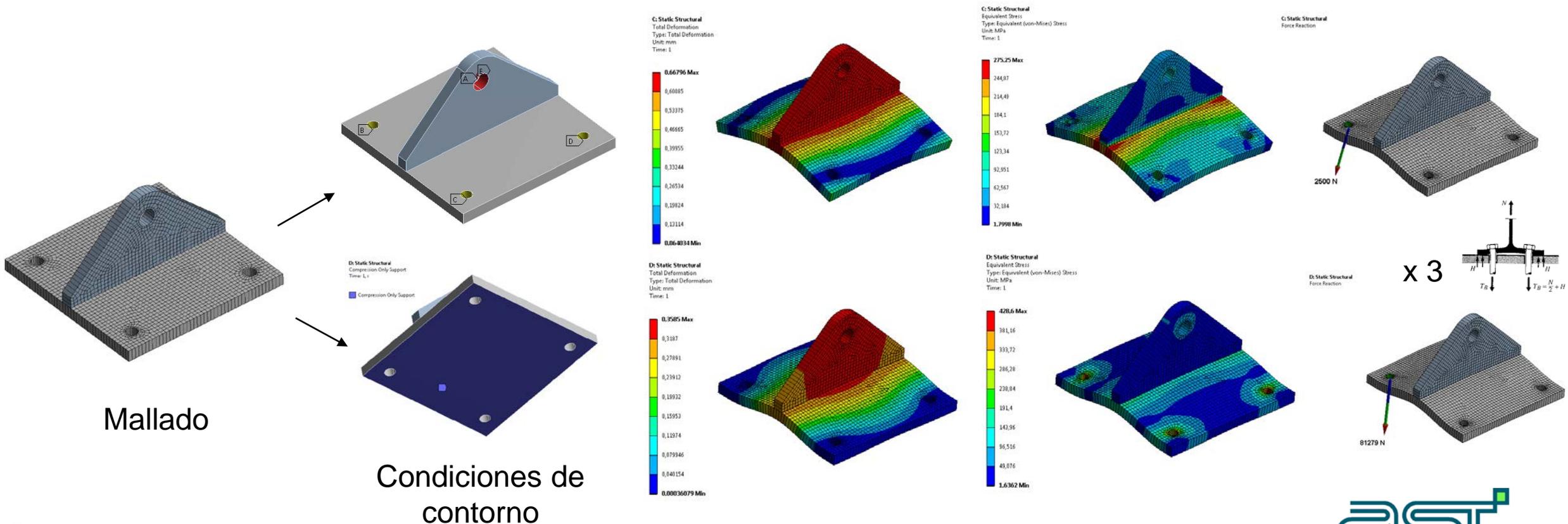
Fases de una Simulación

- Definición de modelos
 - Importante: Seleccionar un modelo que permita analizar (validar/refutar) el modo de fallo en estudio



Fases de una Simulación

- Definición de modelos
 - Importante: Seleccionar las condiciones de contorno adecuadas.



Fases de una Simulación

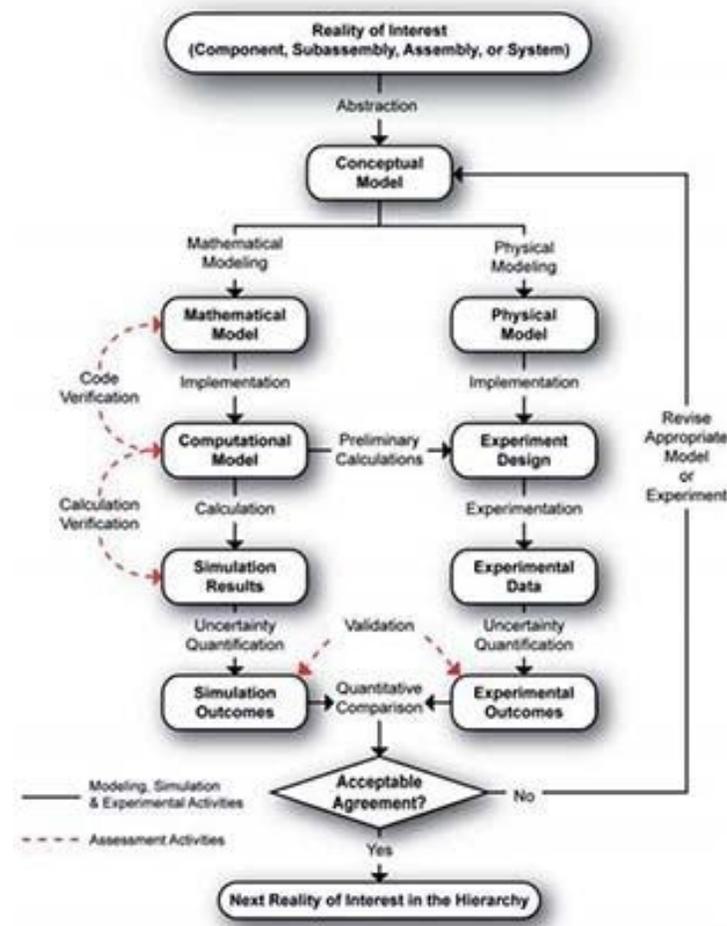
- Verificación y Validación
 - Validación: Cómo de preciso es tu modelo para representar tu aplicación particular
 - Verificación: La precisión del modelo matemático.

Tip: Análisis de sensibilidad de variables

Tip: Ensayos de validación

QUALITY SYSTEM SUPPLEMENT NAFEMS QSS:2015

Engineering simulation – Quality management systems – Requirements



Fuente: www.nafems.org



Muchas Gracias
Q&A