

Herramientas de código abierto para Análisis por Elementos Finitos

Comparativa entre solvers Abaqus y
CalculiX/Mecway FEA

Buenos Aires, 28 de nov. 2016

Herramientas de código abierto para Análisis por Elementos Finitos

- El objetivo de esta presentación es mostrar que es posible realizar análisis por elementos finitos de mediana y alta complejidad con resultados precisos, utilizando herramientas de código abierto o comerciales de muy bajo costo.
- Por más de 20 años han existido solvers y pre-post procesadores de código abierto para análisis por elementos finitos.
- La mayoría de ellos han sido desarrollados por instituciones académicas o agencias del gobierno, y los menos han sido sponsoreados por la industria.
- Estas herramientas de código abierto pueden ser altamente accesibles y un recurso invaluable para la industria.
- Esta presentación se enfoca específicamente en una comparación entre CalculiX, un solver de código abierto, y Abaqus, uno de los solvers comerciales aceptados como referencia en el mercado, haciendo énfasis en aplicaciones industriales. Utilizaremos como preprocesador Mecway FEA, una herramienta comercial, pero de muy bajo costo y rápida curva de aprendizaje, lo que redundará en productividad, necesaria en la industria.

Acerca de 4P INGENIERÍA

- Nos especializamos en consultoría, brindando

Servicios de análisis

Capacitación

Transferencia de tecnologías

a empresas y estudios que necesiten implementar o resolver problemas de ingeniería a través del método de elementos finitos u otras herramientas de CAE

- En 4P Ingeniería, creemos que el software CAD/CAE/FEA profesional puede ser realmente asequible a las pequeñas y medianas empresas.

Acerca de Abaqus

- Abaqus se utiliza en las industrias automotriz, aeroespacial e industrial. El producto es popular entre las instituciones académicas y de investigación debido a la amplia capacidad de modelado de materiales y la capacidad del programa de ser personalizado.
- Abaqus también proporciona una buena colección de capacidades multifísicas, como las capacidades acopladas acústico-estructural, piezoeléctrico, haciéndolo atractivo para simulaciones a nivel de producción en las que es necesario acoplar múltiples campos.
- Abaqus fue diseñado inicialmente para abordar el comportamiento físico no lineal; como resultado, el paquete tiene una amplia gama de modelos de material, tales como las capacidades de material elastomérico (caucho).
- Abaqus posee un potente preprocesador, Abaqus CAE

Acerca de CalculiX

- Calculix es una aplicación de análisis de elementos finitos de código abierto y libre que utiliza un formato de entrada similar a Abaqus. Tiene un solver implícito y explícito (CCX) escrito por Guido Dhondt y un procesador de pre y post (CGX) escrito por Klaus Wittig. El software original fue escrito para el sistema operativo Linux. bConvered ha portado la aplicación al sistema operativo Windows.
- Más de 25 años de desarrollo, originado en la industria aeronáutica pero testeado en múltiples campos.
- Uno de los tres grandes jugadores de código abierto en programas de ingeniería y cálculo (CalculiX, Code_Aster y OpenFoam).
- Pese a contar con un preprocesador (CGX) muy poderoso, el mismo no sigue las convenciones de los programas del ambiente Windows, por lo que su uso puede resultar complicado o poco productivo para el recién iniciado, motivo por el cual utilizaremos Mecway FEA que nos brinda todas las herramientas de forma visual.

Acerca de Mecway FEA

- Mecway es un paquete de análisis de elementos finitos fácil de usar para Windows con un enfoque en la simulación mecánica y térmica como análisis de tensiones, vibraciones y flujo de calor. Es de bajo costo y tiene una interfaz gráfica intuitiva para la creación de mallas, aplicación de condiciones de borde y la visualización de resultados.
- Curva de aprendizaje muy rápida, información instantánea sobre los errores mientras trabaja, interfaz moderna de Windows, visualiza los modelos tanto gráficamente como en un árbol de modelo, permite trabajar con unidades de ingeniería.
- Incluye un solver propio, pero además permite resolver los modelos utilizando como solver CalculiX, lo que lo convierte en una suerte de equivalente de Abaqus CAE como preprocesador.
- Validado con ejemplos de verificación contra cálculos manuales y estándares del metier (NAFEMS), 20 años de historia de desarrollo

Capacidades

	Units aware	Linear static	Nonlinear - large displacements	Nonlinear - contact	Transient linear	Transient nonlinear	Natural frequency	Linear buckling	Acoustic	Heat transfer	Electric/magnetic	Fluid flow	Fluid structure interaction	Solid elements	Shell elements	Beam/rod/tie	Anisotropic materials	Composites	Hyperelastic/rubber	Plasticity	Viscoplastic/creep	Piezoelectric	
Abaqus	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
CalculiX	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗

- Podemos ver que son pocos y muy específicos los campos no soportados por CalculiX, estando las más habituales (lineal, no lineal, contactos, frecuencias naturales, análisis térmico...) completamente soportadas, incluso algunas características no tan comunes como materiales hiperelásticos (elastómeros) o hiperfoam (esponjas) son ampliamente soportadas.

Resumen Resultados

Análisis Estático Lineal		
	Deformacion (mm)	Tension (MPa)
Abaqus	0.223	161.9
CalculiX	0.223	161.9
Diferencia	0.00%	0.00%

Análisis Estático No Lineal			
	Deformacion (mm)	Tension (MPa)	Estiramiento (%)
Abaqus	0.760	192.3	4.12%
CalculiX	0.756	191.3	3.91%
Diferencia	-0.53%	-0.52%	-5.10%

Análisis Contacto y mat. Hiperelástico		
	Tension (Mpa)	Rigidez (N/mm)
Abaqus	1.3	170.3
CalculiX	1.3	172.7
Diferencia	0.00%	1.41%

Análisis Dinámico (Modal)						
	1er Modo (Hz)	2do Modo (Hz)	3er Modo (Hz)	4to Modo (Hz)	5to Modo (Hz)	6to Modo (Hz)
Abaqus	0.632	0.896	1.306	1.535	1.656	2.108
CalculiX	0.641	0.902	1.326	1.528	1.637	2.154
Diferencia	1.42%	0.67%	1.53%	-0.46%	-1.15%	2.18%

Análisis Térmico Estacionario		
	Temperatura (°K)	Flujo de Calor (W/m²)
Abaqus	581.639	0.3596
CalculiX	581.639	0.3531
Diferencia	0.00%	-1.81%

- Como podemos apreciar, los resultados para estos cinco tipos de análisis típicos en la industria, realizados en las mismas condiciones con los dos solvers, presentan una mínima, despreciable diferencia del 2% en el peor de los casos.
- Utilizado por analistas entrenados, CalculiX/Mecway FEA pueden ser un reemplazo para gran parte de los análisis en la industria, brindando un ahorro importante en costos de licencias.

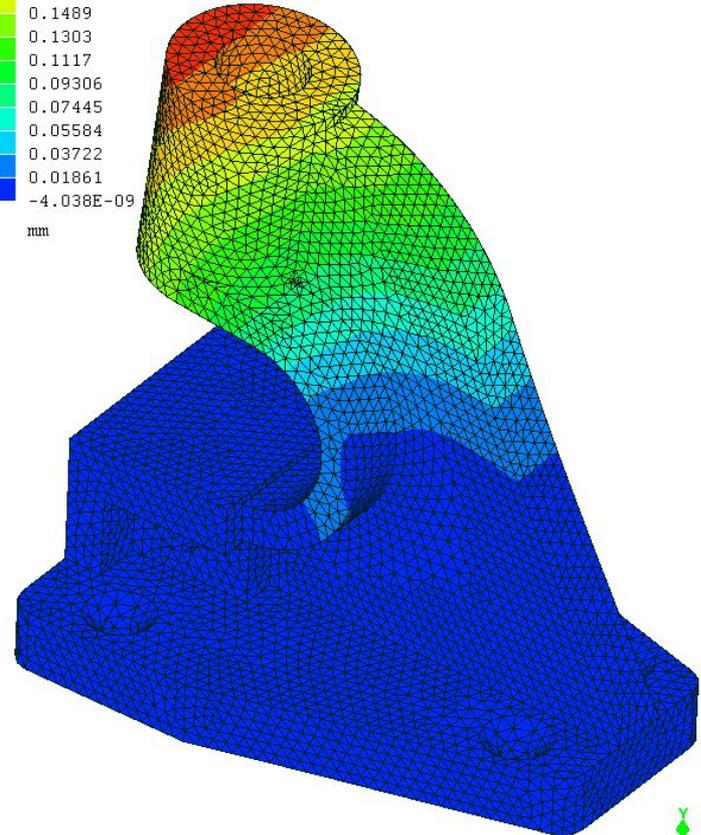
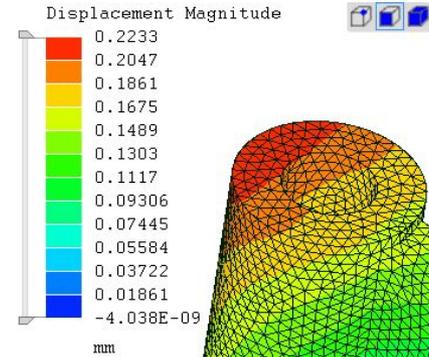
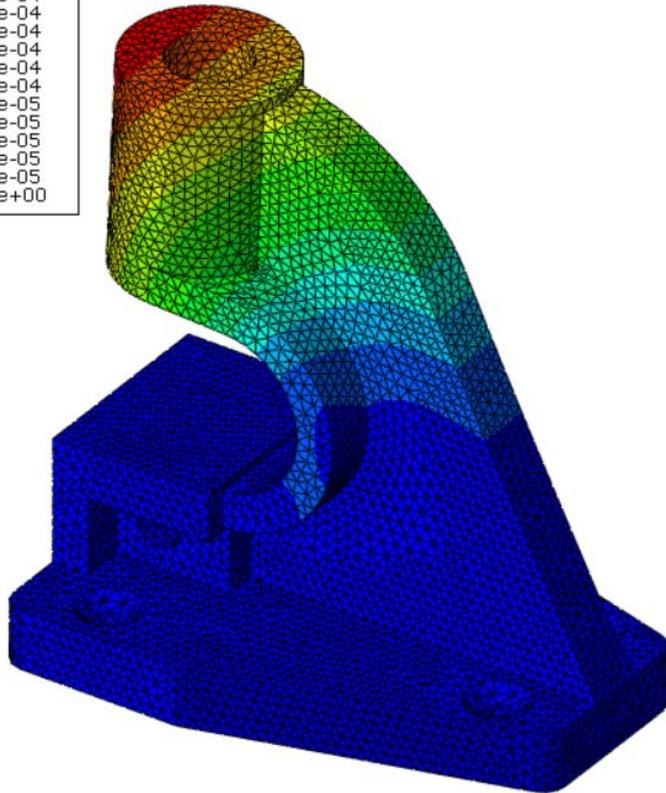
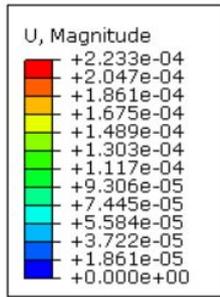
Comparativo Nro 1 - Análisis lineal

- Trabajaremos sobre un cuerpo de prensa de fundición gris nodular, con las siguientes propiedades mecánicas:

Módulo de Elasticidad	170.000 MPa
Coefficiente de Poisson	0.25

- La pieza está fija (seis grados de libertad restringidos) en las ocho superficies de contacto de los tornillos de fijación.
- Una presión de 7.42 Mpa es aplicada en la cara inferior del pistón, representando una fuerza total de 10 kN.
- El modelo es mallado en Mecway FEA, utilizando elementos tetra de segundo grado, y luego resuelto en CalculiX.
- El mismo modelo (malla, condiciones de borde y material) es exportado en Mecway FEA e importado en Abaqus y resuelto, de forma de evitar diferencias en los resultados por trabajar con diferentes mallas.

Comparativo Nro 1 - Resultados (deformaciones)

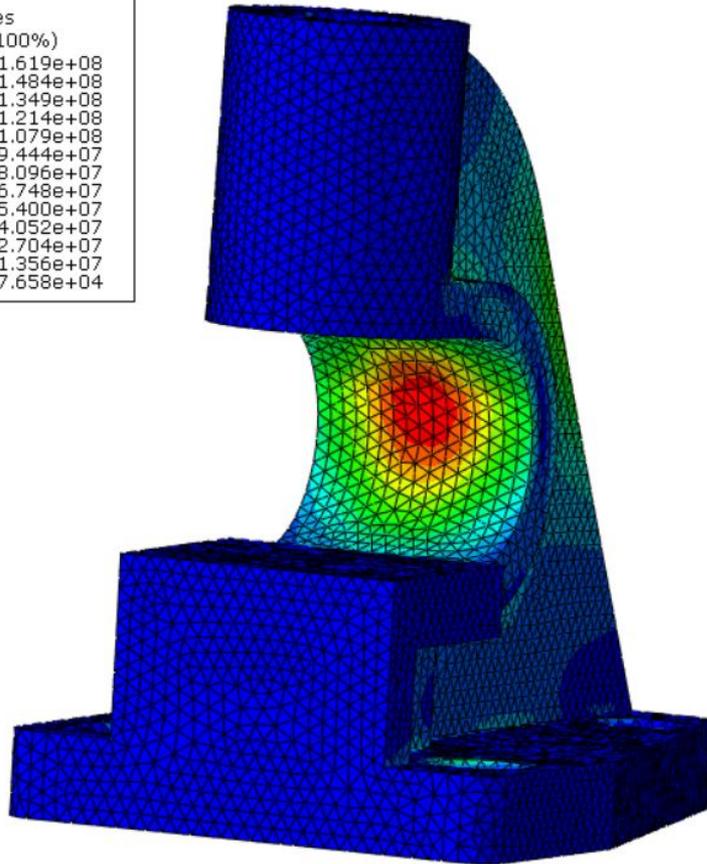
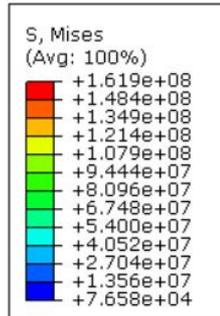


Deformation scale factor 50

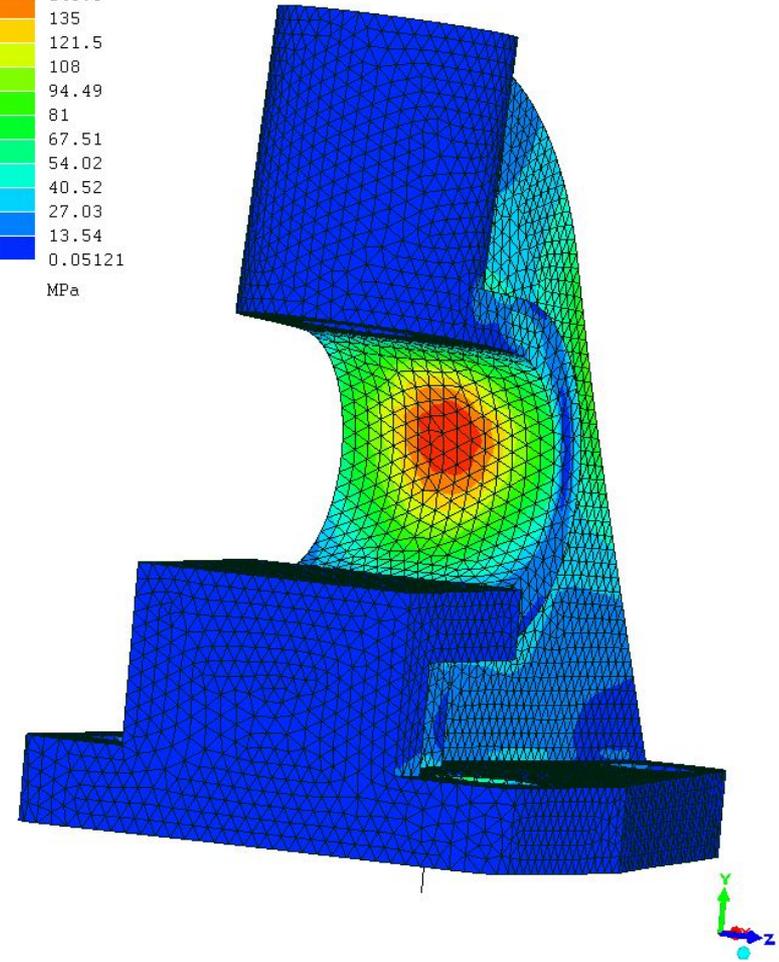
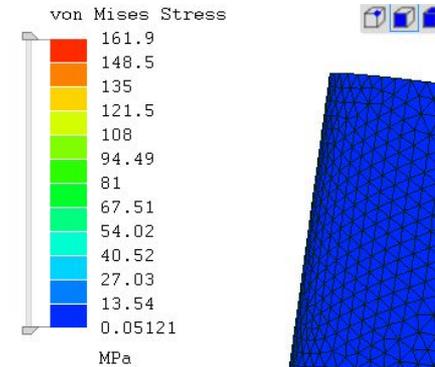
- Abaqus 0.2233 mm

- CalculiX 0.2233 mm

Comparativo Nro 1 - Resultados (tensiones)



- Abaqus 161.9 MPa



- CalculiX 161.9 MPa

Comparativo Nro 2 - Análisis no lineal

- Trabajaremos sobre un conjunto de ensayo de fatiga de una llanta de aleación de aluminio, compuesto por la llanta, tornillos de fijación y la barra de aplicación de carga, según norma SAE J328-2005 - Wheels Passenger Car and Light Truck Performance Requirements and Test Procedures.
- Los tornillos y la barra son de acero tradicional, para la llanta se definió un aluminio A356T6 con las siguientes propiedades mecánicas:

Módulo de Elasticidad	70.000 MPa
Coefficiente de Poisson	0.30

Se definió la curva de plasticidad del material (hardening rule) basado en los valores mínimos especificados para tensión de fluencia (140 MPa) y rotura (240 MPa, 3.5% de alargue) para el material.

- La pieza está fija (seis grados de libertad restringidos) en el anillo interior de la llanta, según la norma.

Comparativo Nro 2 - Análisis no lineal

- Una fuerza de 10 000 N es aplicada en el extremo de la barra de carga, en dirección radial.
- Tornillos y barra son vinculados rígidamente a la llanta por medio de relaciones TIE.
- El modelo es mallado en Mecway FEA, utilizando elementos tetra de segundo grado, y luego resuelto en CalculiX.
- El mismo modelo (malla, condiciones de borde y material) es exportado en Mecway FEA e importado en Abaqus y resuelto, de forma de evitar diferencias en los resultados por trabajar con diferentes mallas.

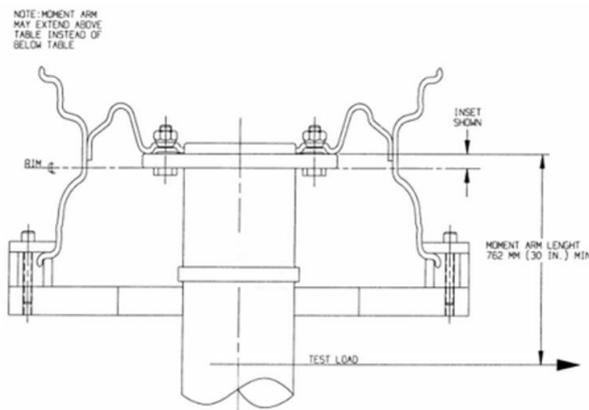
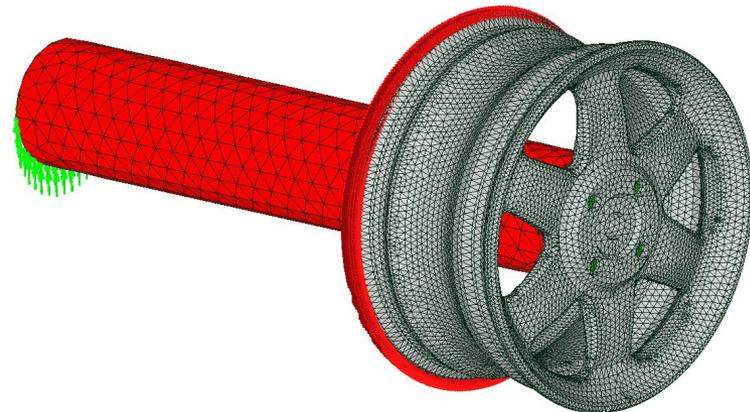
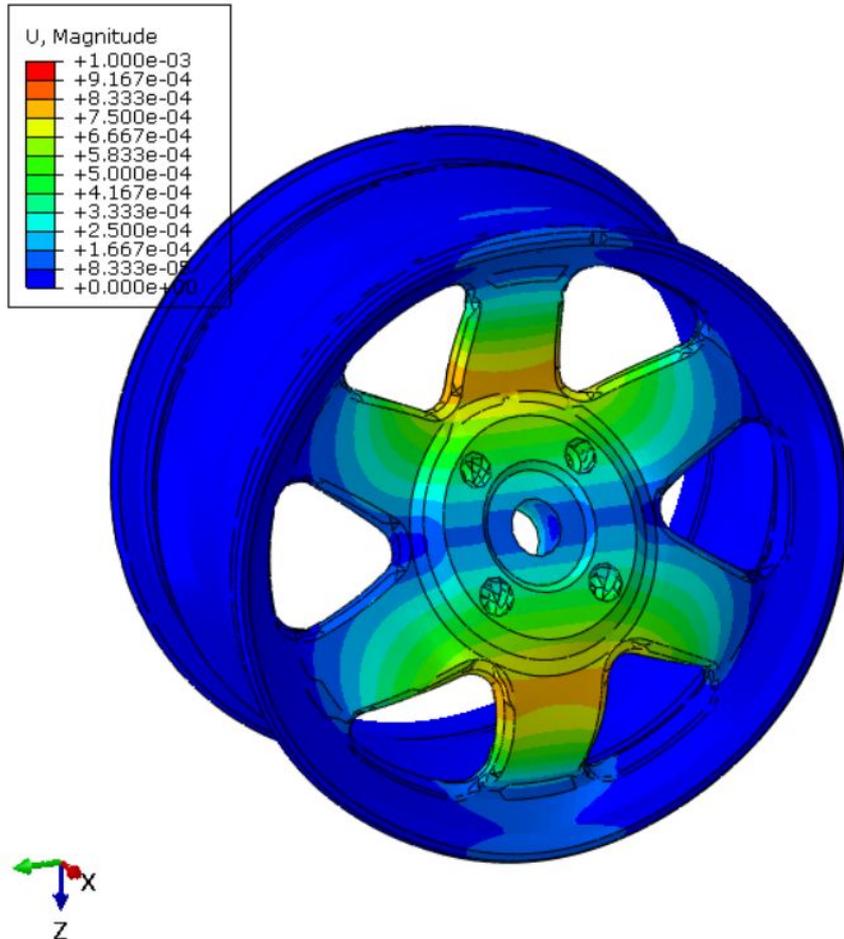


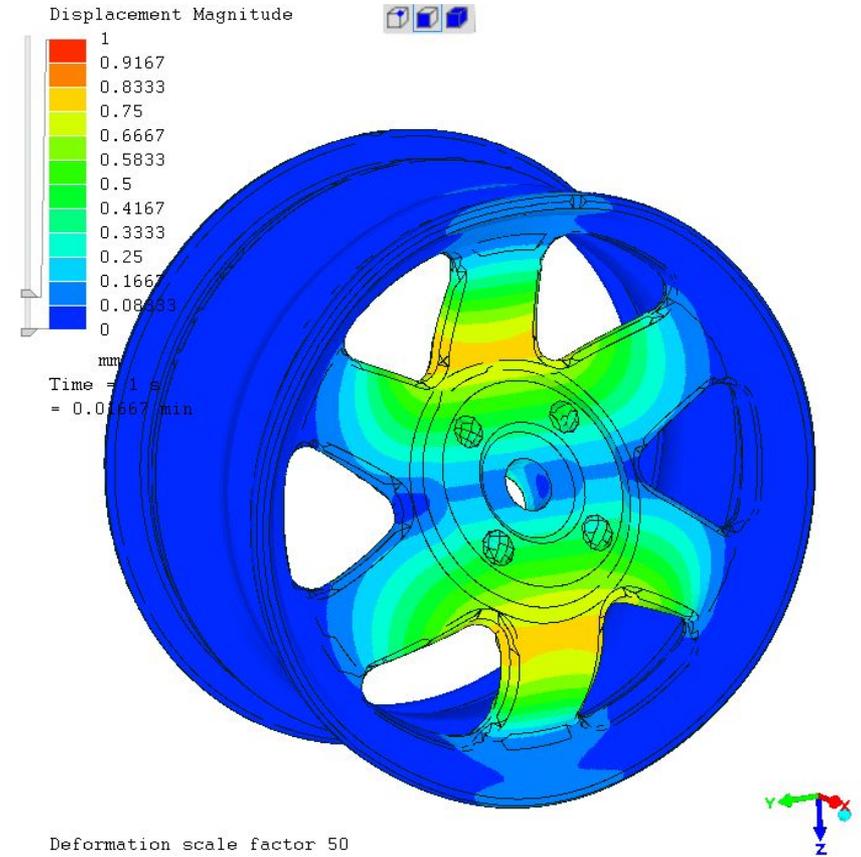
FIGURE 1—DYNAMIC CORNERING FATIGUE (TYPICAL SET-UP)



Comparativo Nro 2 - Resultados (deformaciones)

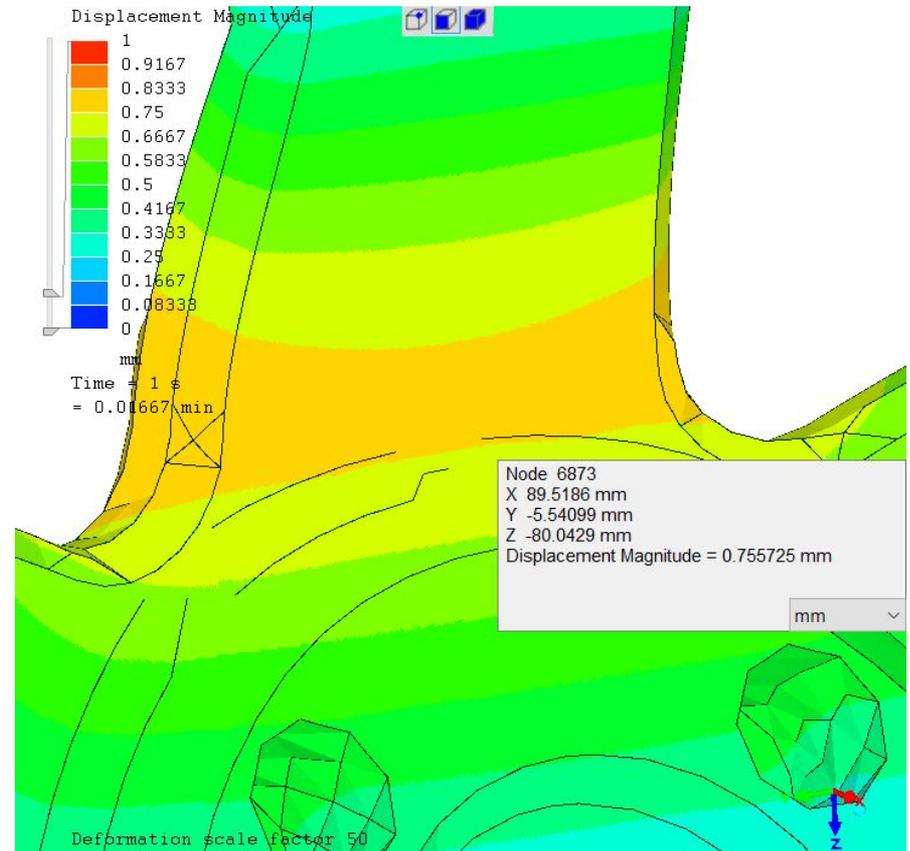
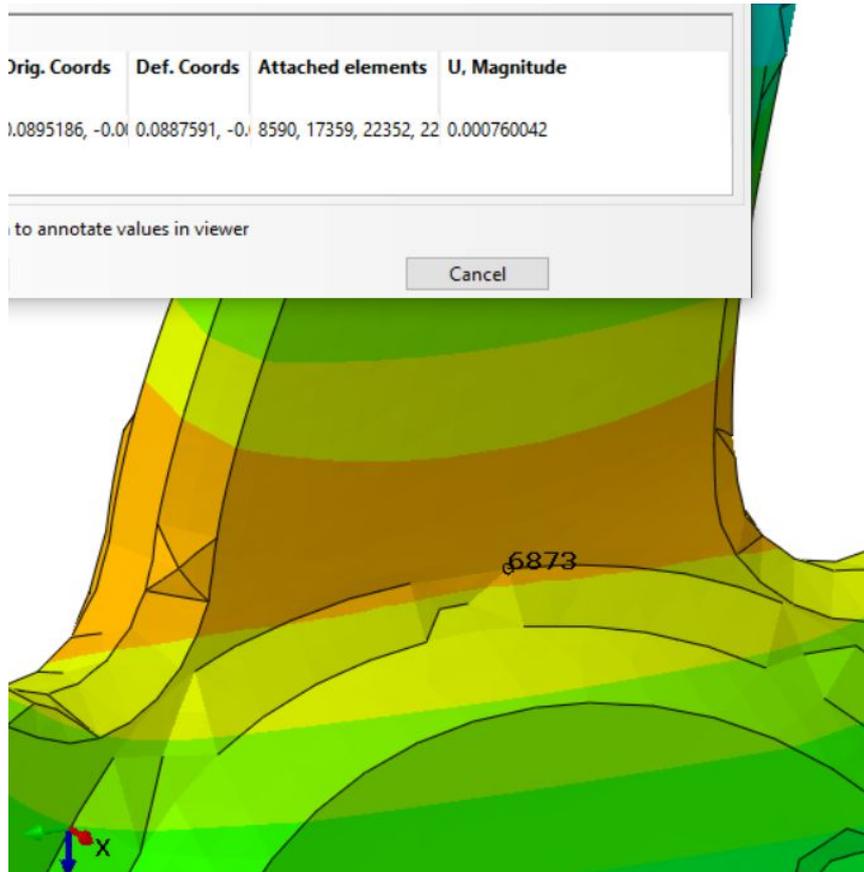


- Abaqus 0.760 mm



- CalculiX 0.756 mm

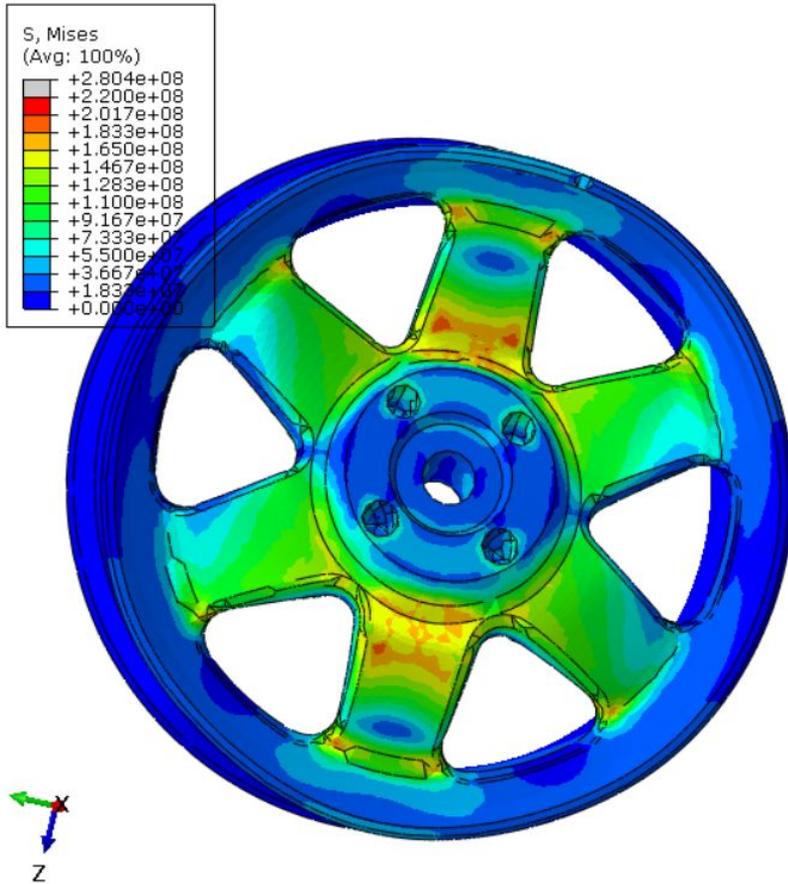
Comparativo Nro 2 - Resultados (deformaciones)



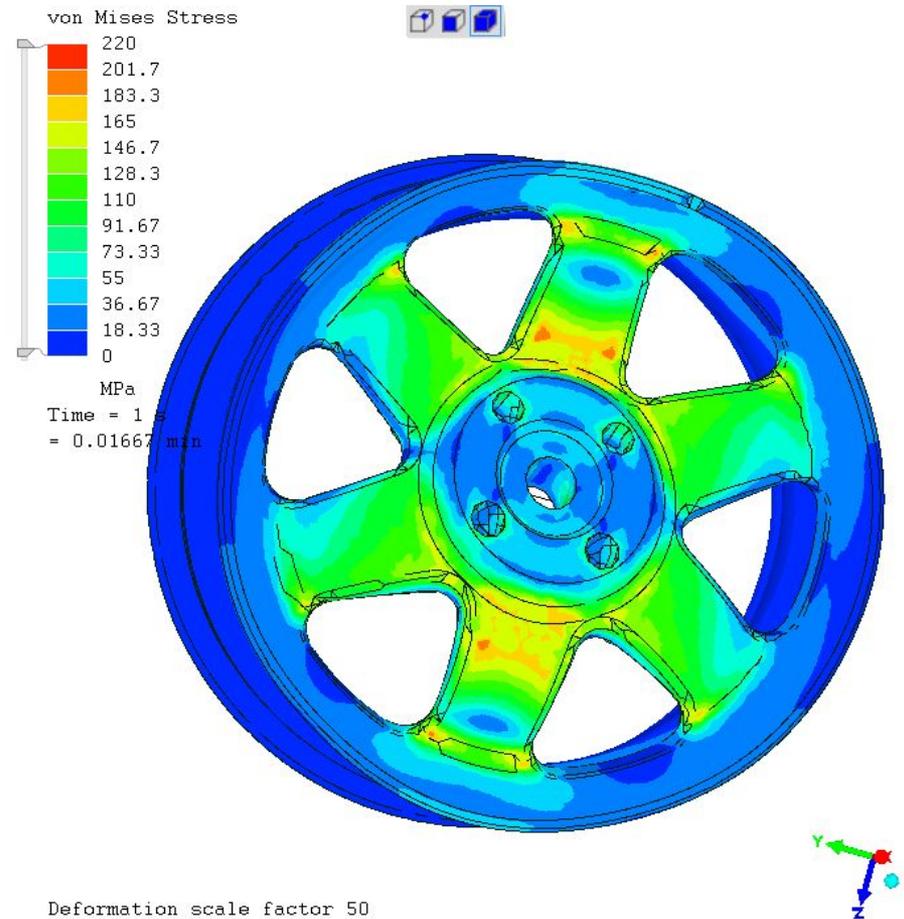
- Abaqus 0.760 mm

- CalculiX 0.756 mm

Comparativo Nro 2 - Resultados (tensiones)

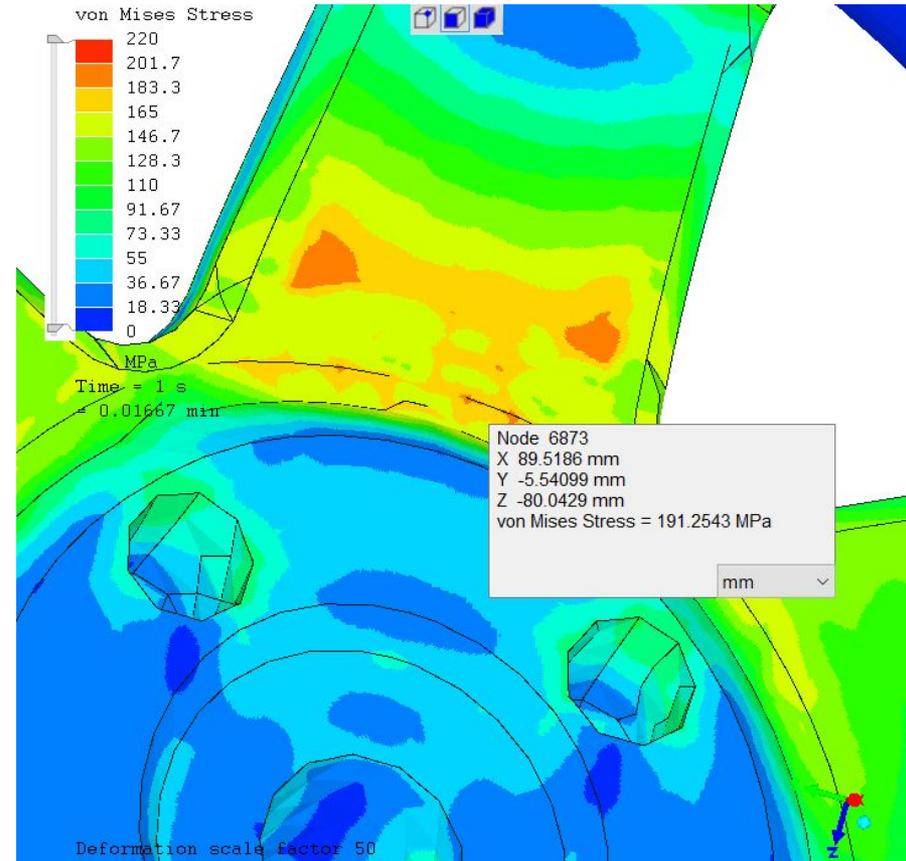
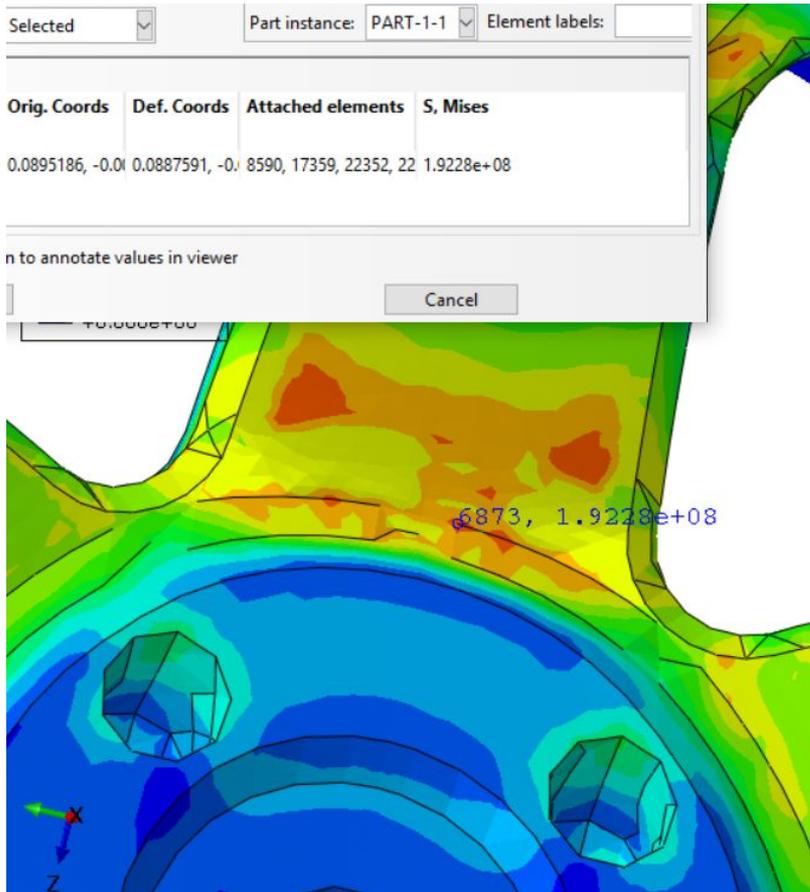


- Abaqus 192.3 MPa



- CalculiX 191.3 MPa

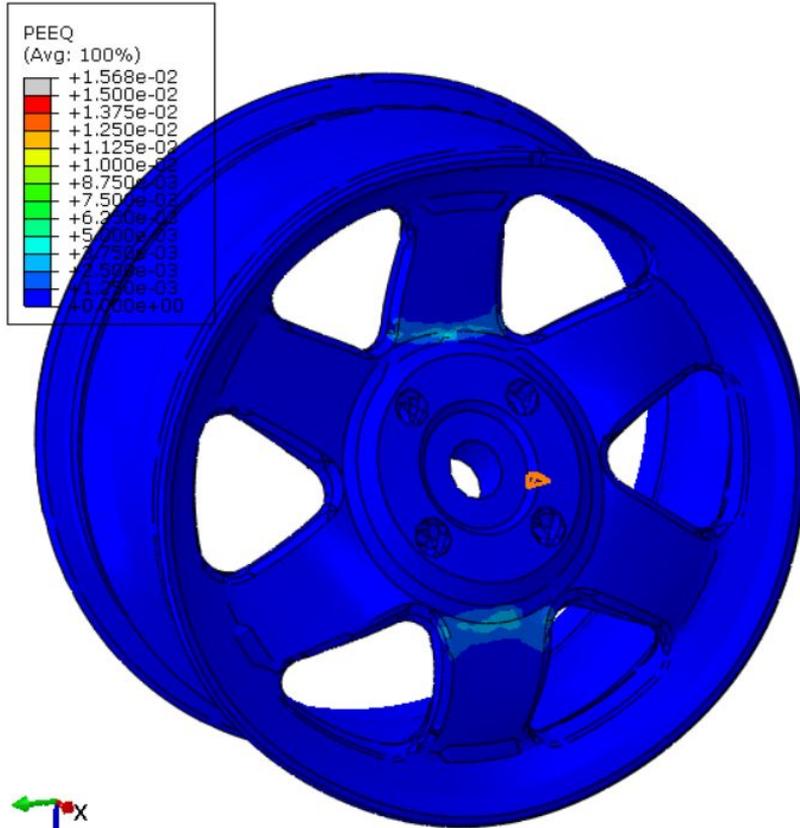
Comparativo Nro 2 - Resultados (tensiones)



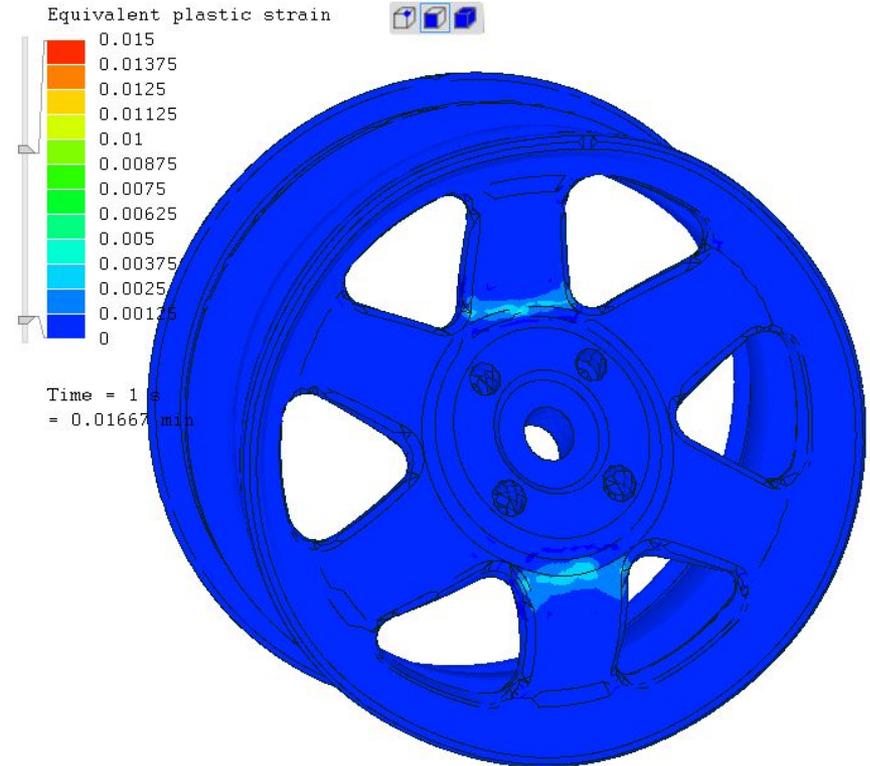
- Abaqus 192.3 MPa

- CalculiX 191.3 MPa

Comparativo Nro 2 - Resultados (estiramiento)



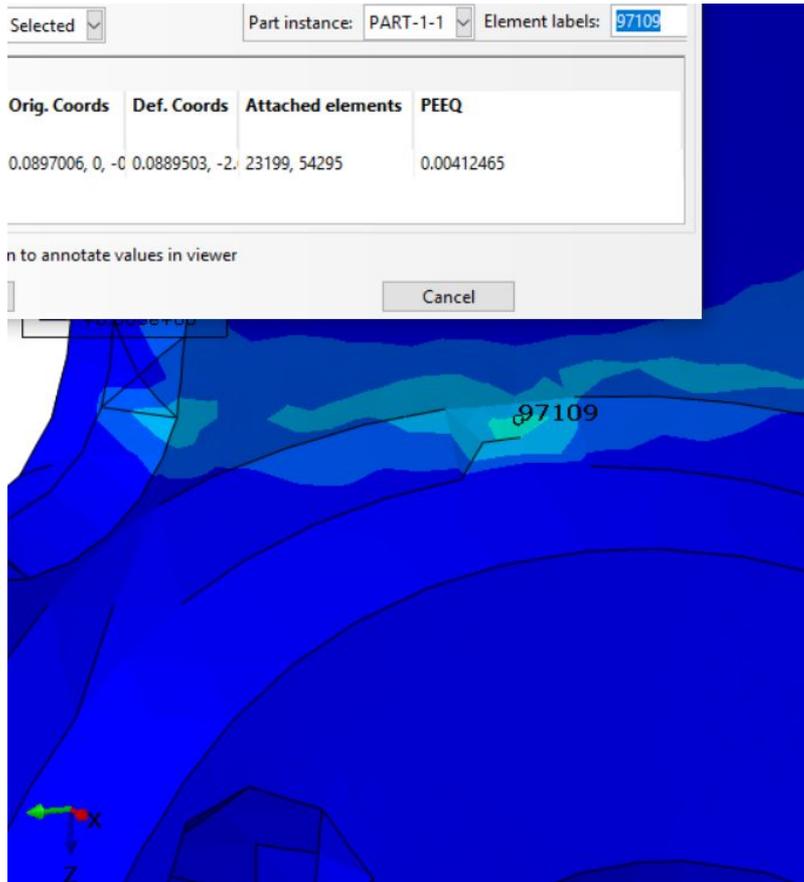
- Abaqus 0.412 %



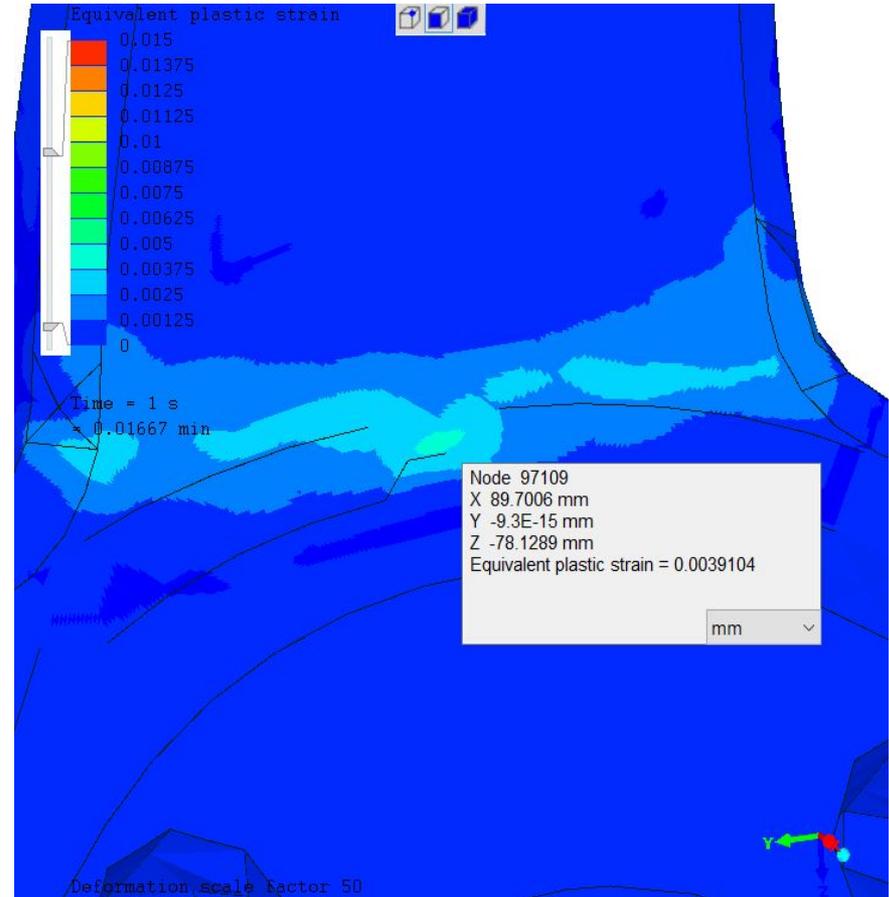
Deformation scale factor 50

- CalculiX 0.391 %

Comparativo Nro 2 - Resultados (estiramiento)



- Abaqus 0.412 %



- CalculiX 0.391 %

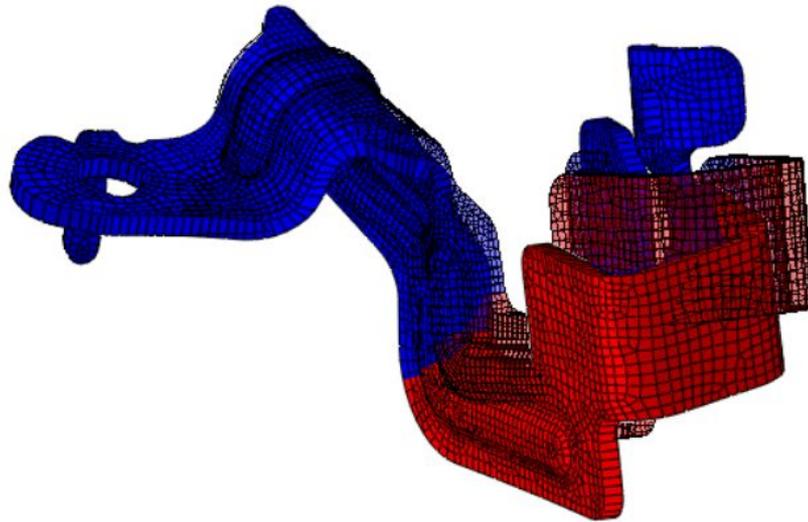
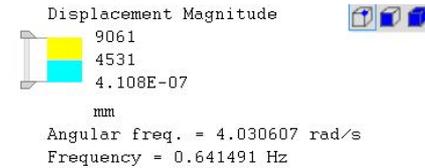
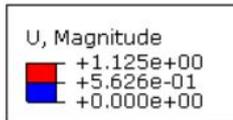
Comparativo Nro 3 - Análisis modal (shell)

- Trabajaremos sobre una pieza de chapa embutida en chapa de acero, con las siguientes propiedades mecánicas:

Módulo de Elasticidad	210.000 MPa
Coefficiente de Poisson	0.30
Densidad	7.85 g/cm ³

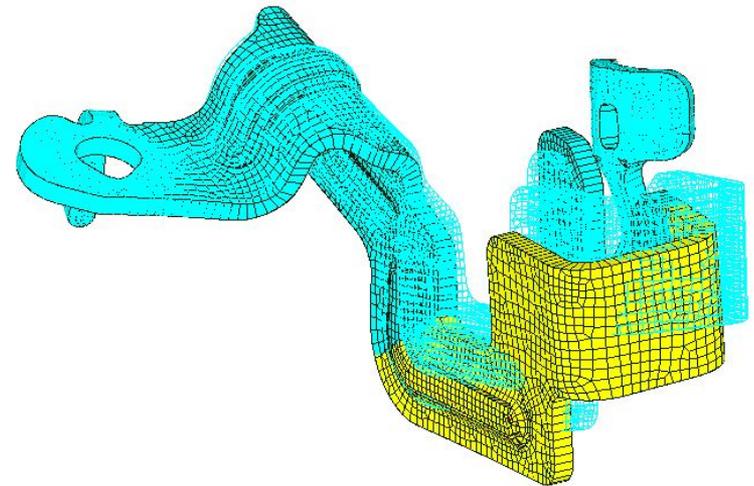
- La pieza está fija (seis grados de libertad restringidos) en las superficies de contacto de los tornillos de fijación.
- El modelo es mallado en Mecway FEA, utilizando elementos shell (2d) de primer grado, y luego resuelto en CalculiX buscando los seis primeros modos normales (Eigen Frecuencias).
- El mismo modelo (malla, condiciones de borde y material) es exportado en Mecway FEA e importado en Abaqus y resuelto, de forma de evitar diferencias en los resultados por trabajar con diferentes mallas.

Comparativo Nro 3 - Resultados (1er Modo)



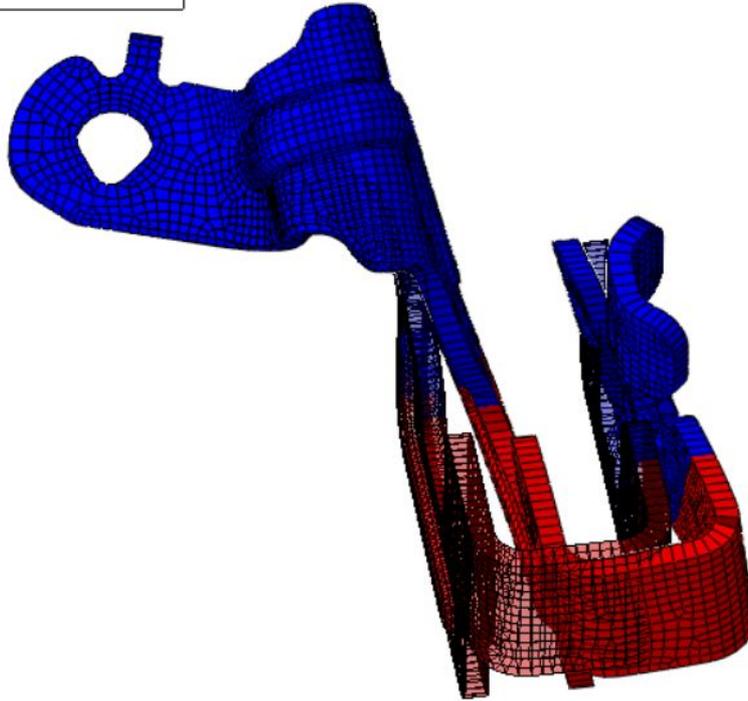
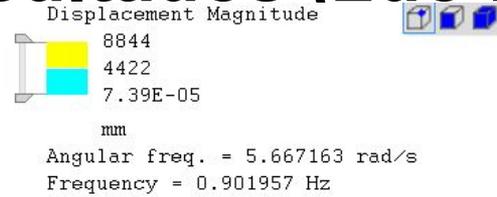
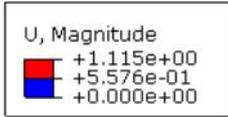
Step: Step-1
Mode 1: Value = 15.790 Freq = 0.63243 (cycles/time)
Primary Var: U, Magnitude
Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +1.000e-02

- Abaqus 0.632 Hz

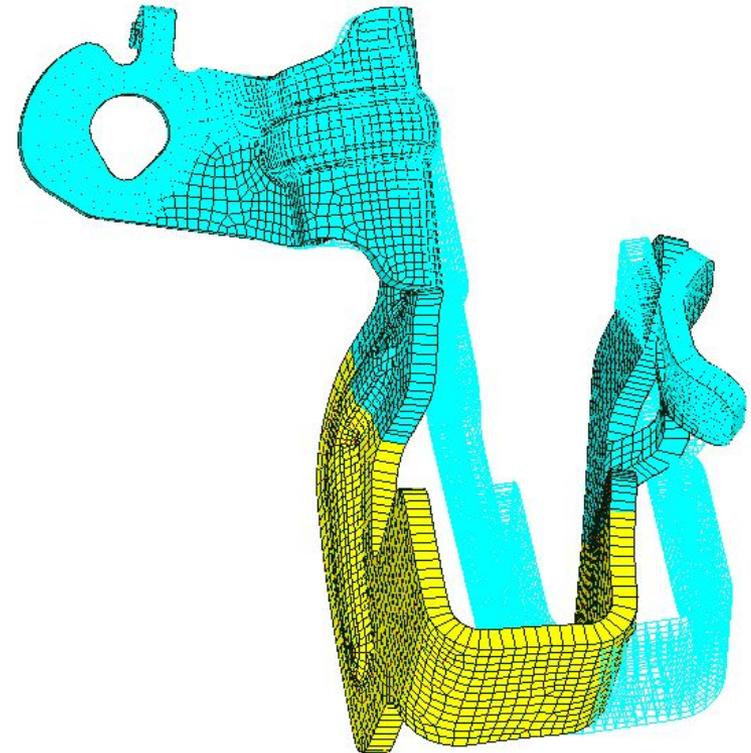


- CalculiX 0.641 Hz

Comparativo Nro 3 - Resultados (2do Modo)



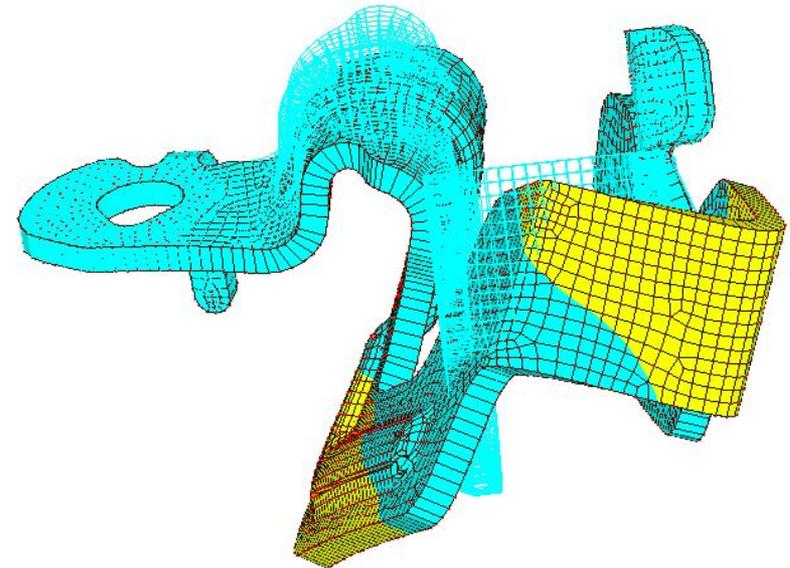
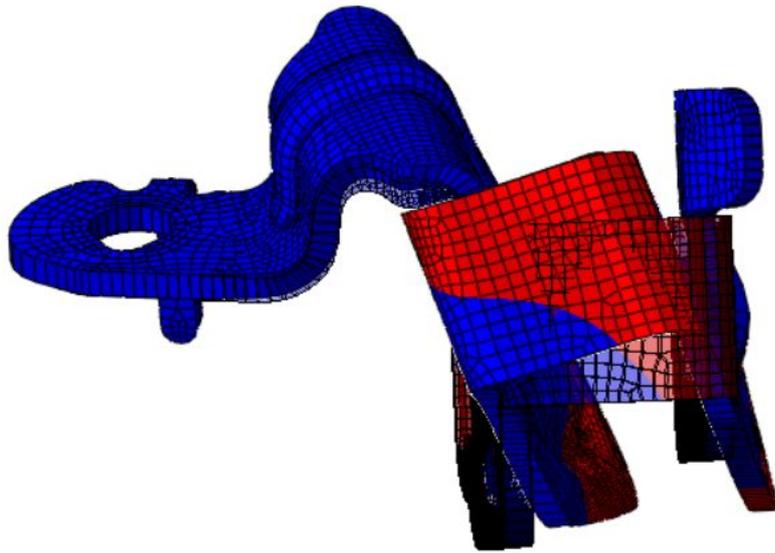
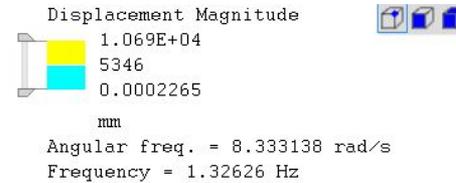
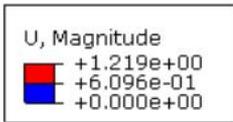
Step: Step-1
Mode 2: Value = 31.694 Freq = 0.89601 (cycles/time)
Primary Var: U, Magnitude
Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +1.000e-02



- Abaqus 0.896 Hz

- CalculiX 0.902 Hz

Comparativo Nro 3 - Resultados (3er Modo)



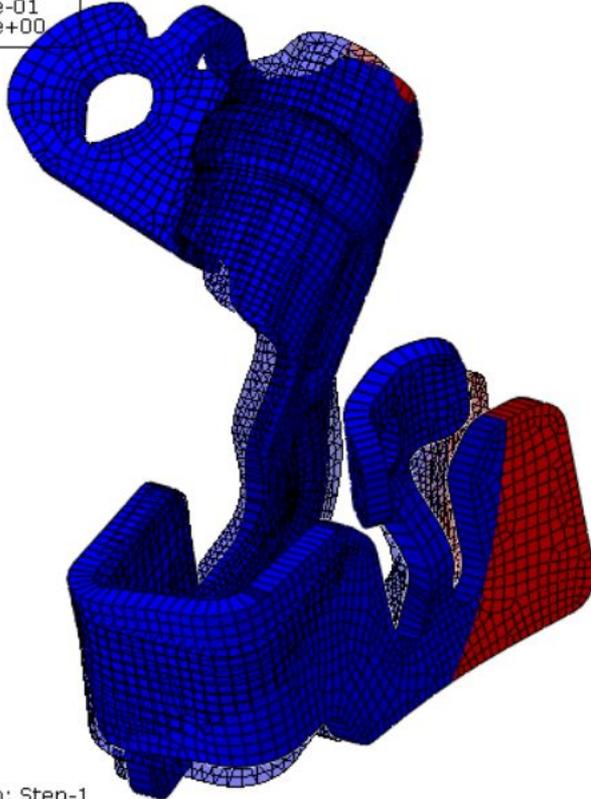
Step: Step-1
Mode 3: Value = 67.350 Freq = 1.3061 (cycles/time)
Primary Var: U, Magnitude
Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +1.000e-02

- Abaqus 1.306 Hz

- CalculiX 1.326 Hz

Comparativo Nro 3 - Resultados (4to Modo)

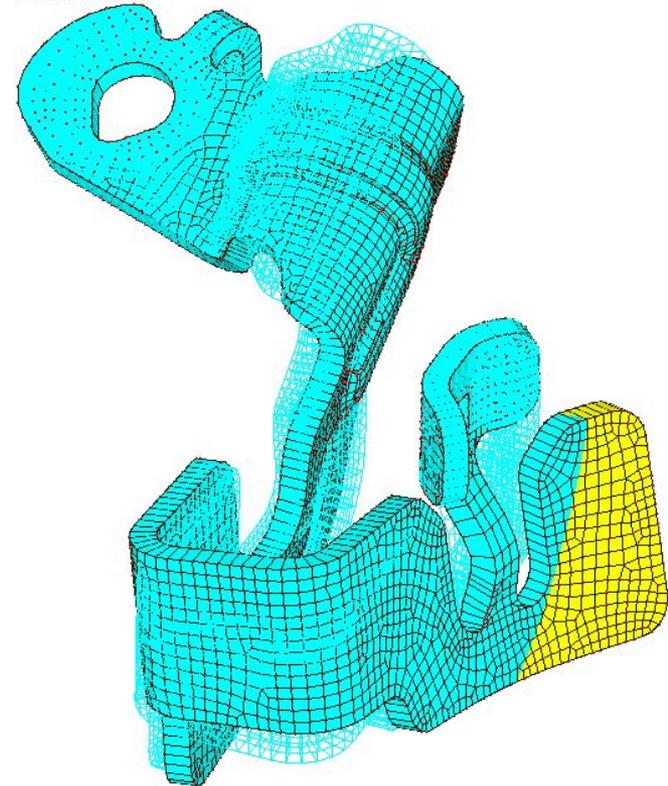
U, Magnitude
 +1.029e+00
 +5.147e-01
 +0.000e+00



Step: Step-1
 Mode 4: Value = 93.119 Freq = 1.5358 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +1.000e-02

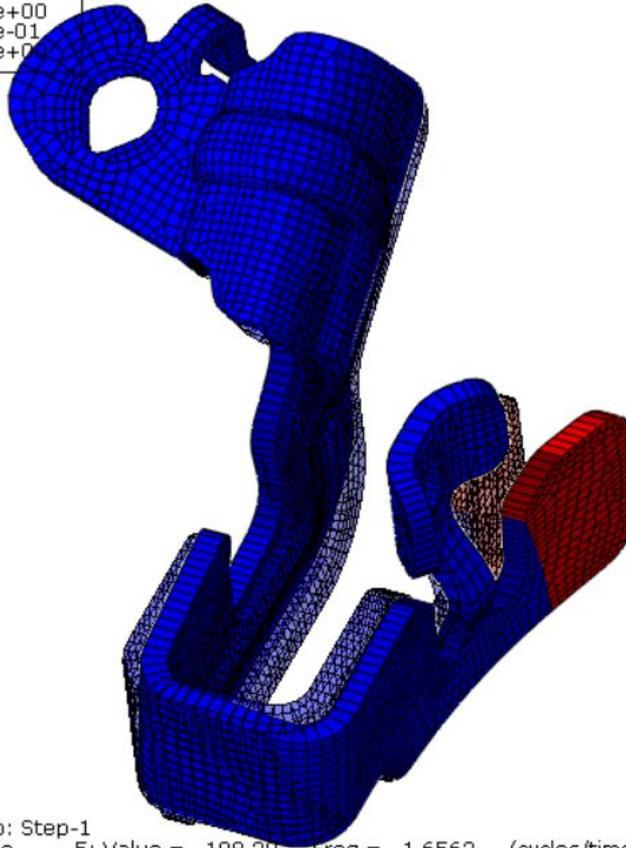
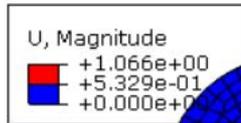
- Abaqus 1.535 Hz

Displacement Magnitude
 1.491E+04
 7457
 0.0002386
 mm
 Angular freq. = 9.603095 rad/s
 Frequency = 1.52838 Hz



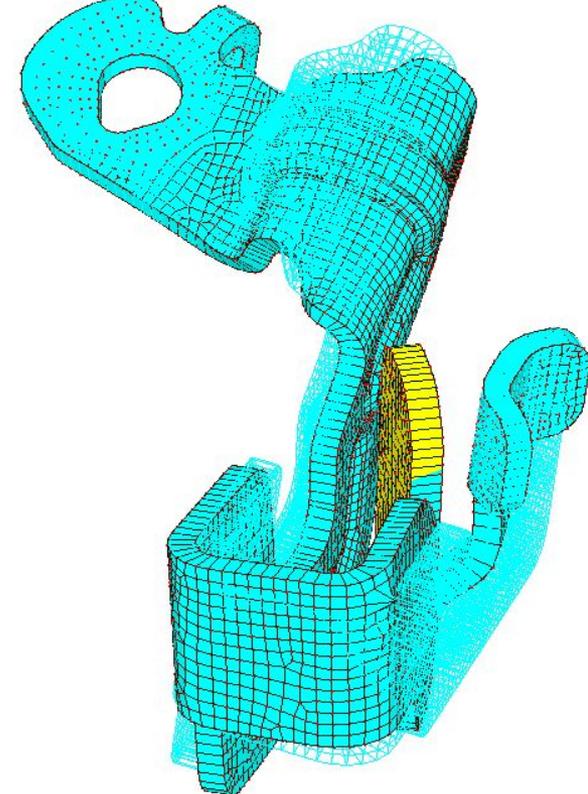
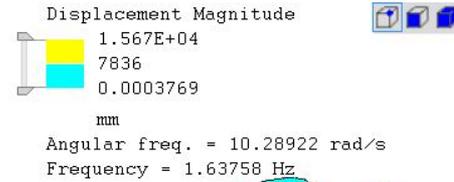
- CalculiX 1.528 Hz

Comparativo Nro 3 - Resultados (5to Modo)



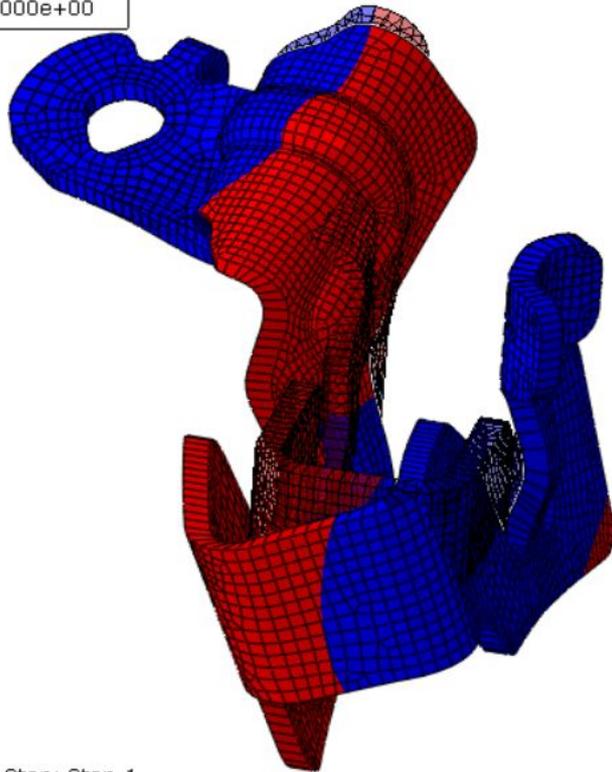
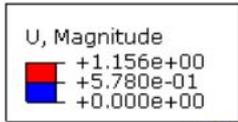
Step: Step-1
 Mode 5: Value = 108.29 Freq = 1.6562 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +1.000e-02

- Abaqus 1.656 Hz

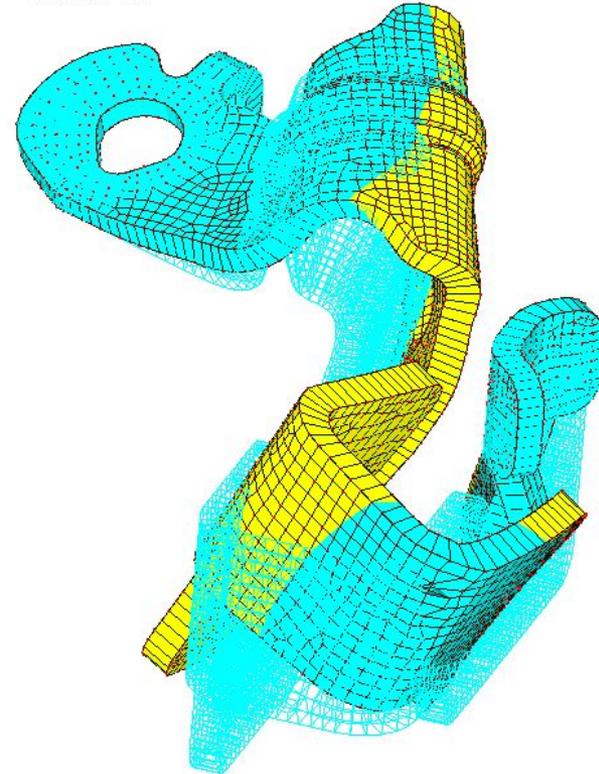
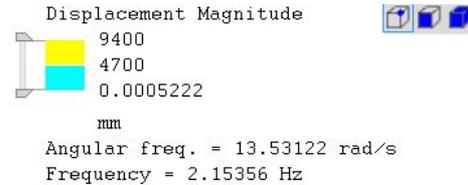


- CalculiX 1.637 Hz

Comparativo Nro 3 - Resultados (6to Modo)



Step: Step-1
 Mode 6: Value = 175.48 Freq = 2.1083 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +1.000e-02



- Abaqus 2.108 Hz

- CalculiX 2.154 Hz

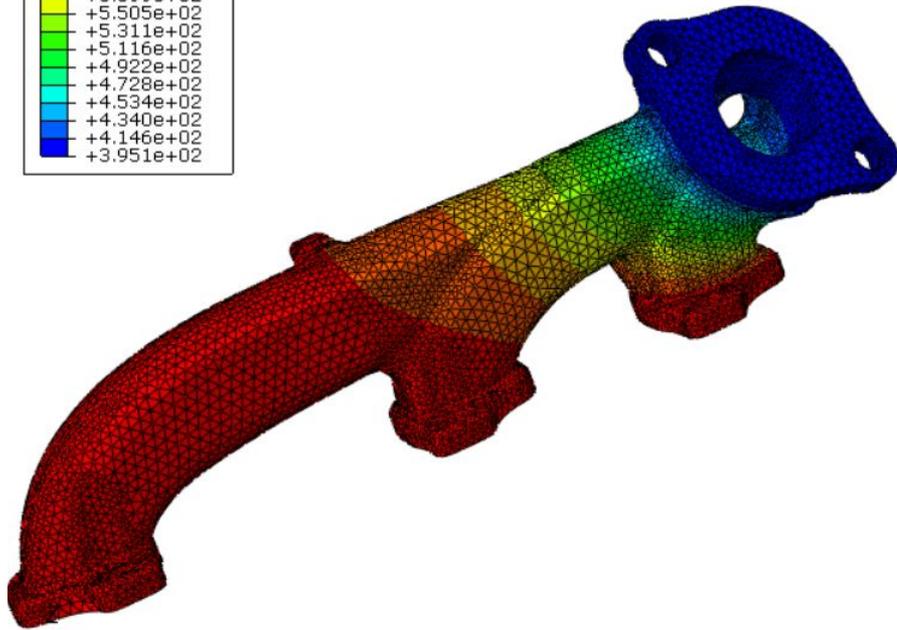
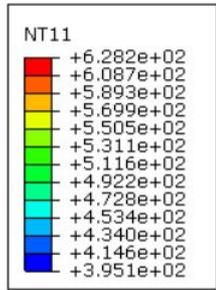
Comparativo Nro 4 - Análisis térmico estacionario

- Trabajaremos sobre un multiple de escape de fundición gris nodular, con las siguientes propiedades:

Densidad	7.85 g/cm ³
Conductividad térmica	0.045 W/m/K

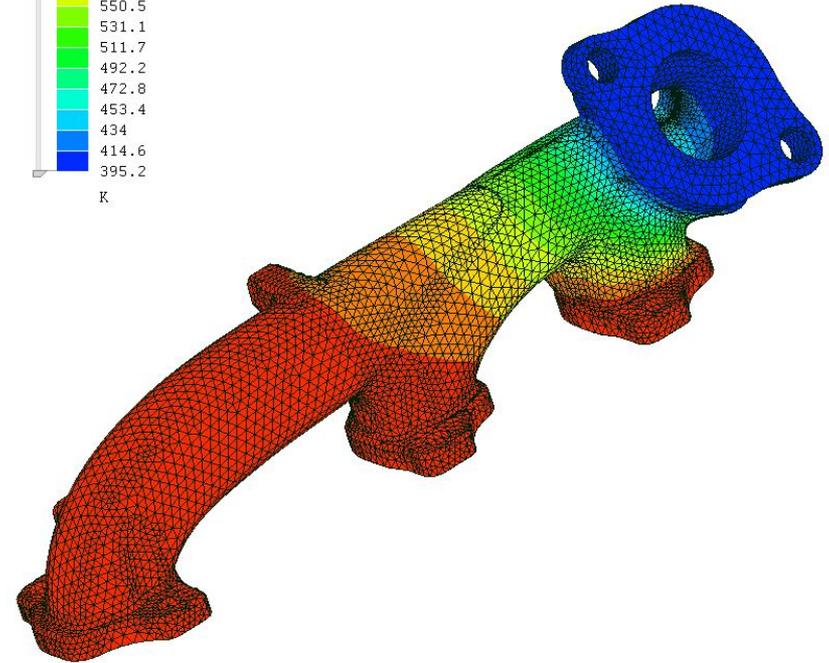
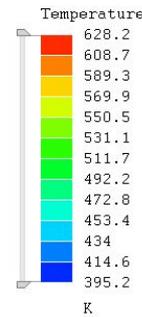
- Se fijó una temperatura de 355°C sobre las las caras en contacto con el block, y 122°C en la cara en contacto con el escape.
- El modelo es mallado en Mecway FEA, utilizando elementos tetra de primer grado, y luego resuelto en CalculiX.
- El mismo modelo (malla, condiciones de borde y material) es exportado en Mecway FEA e importado en Abaqus y resuelto, de forma de evitar diferencias en los resultados por trabajar con diferentes mallas.
- Se tomó un nodo en la zona media del modelo para realizar la comparación de los dos solvers.

Comparativo Nro 4 - Resultados (temperaturas)



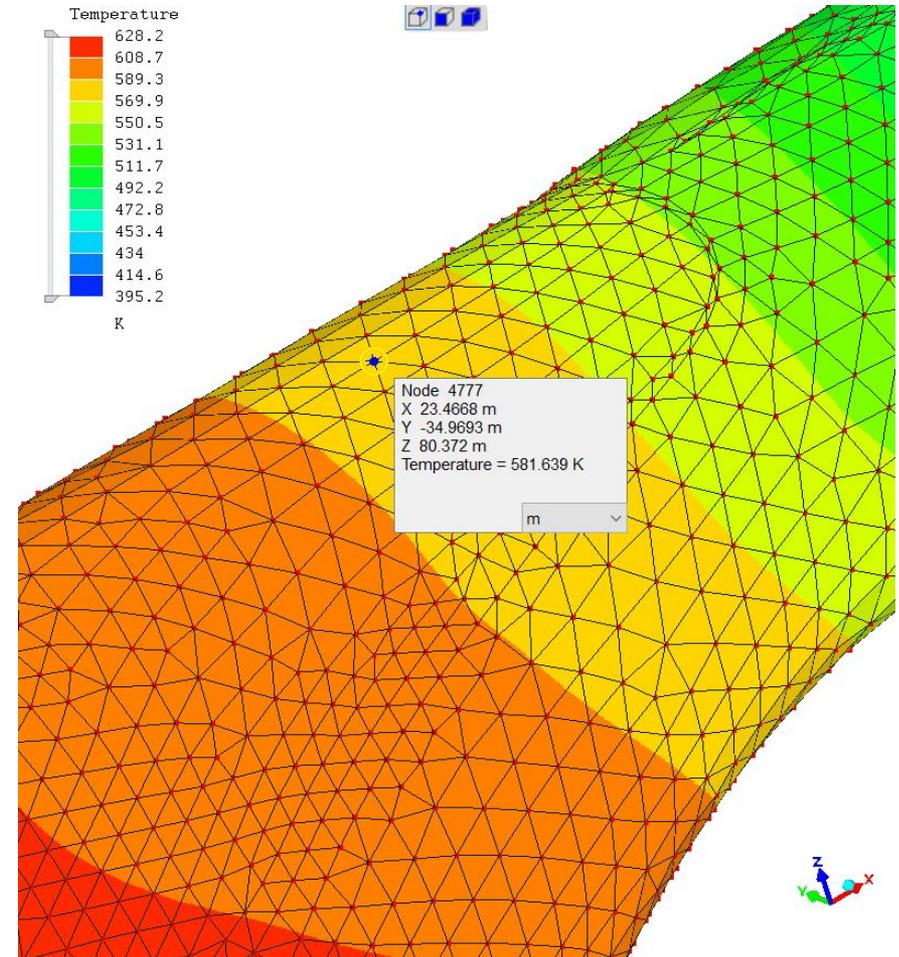
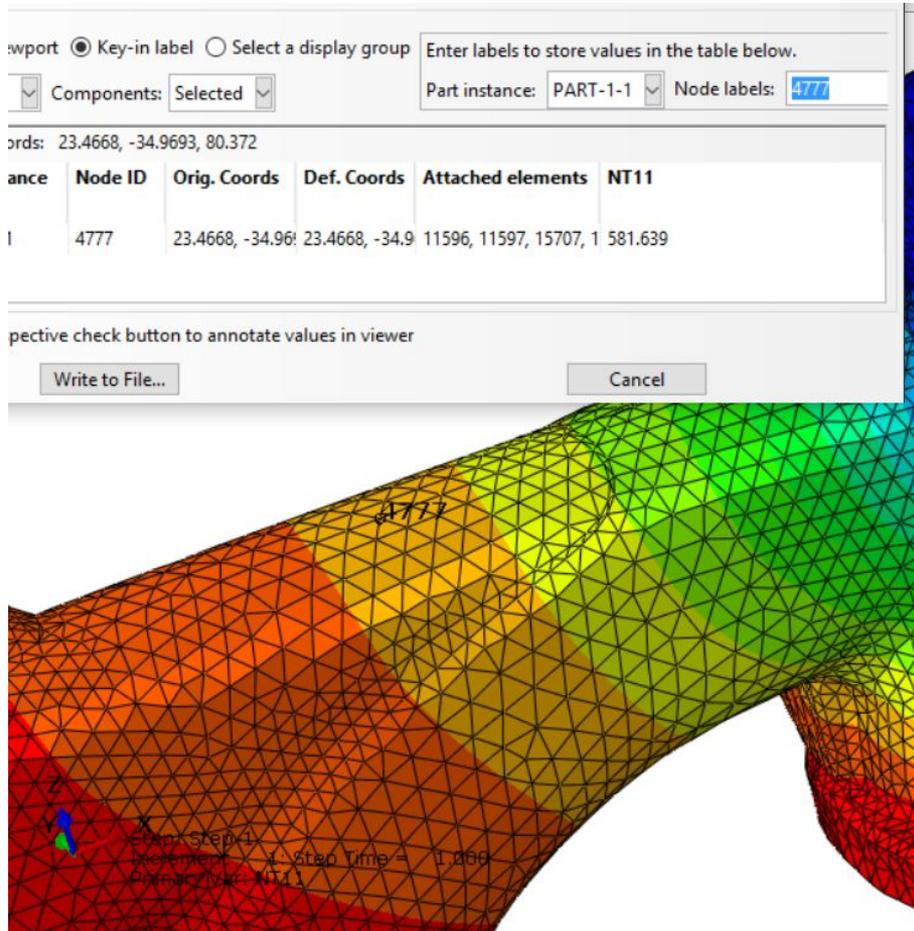

 Step: Step-1
 Increment 1: Step Time = 1.000
 Primary Var: NT11
 Deformed Var: not set Deformation Scale Factor: not set

- Abaqus 581.639° K



- CalculiX 581.639° K

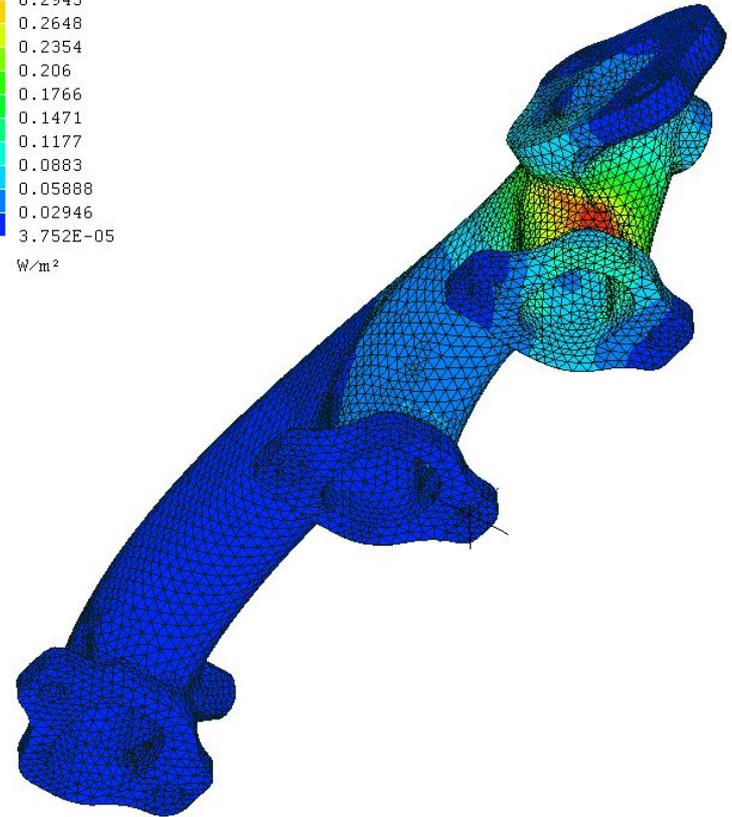
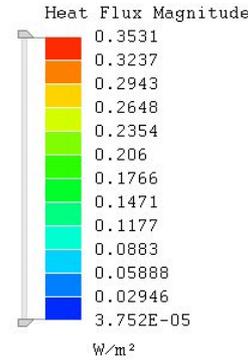
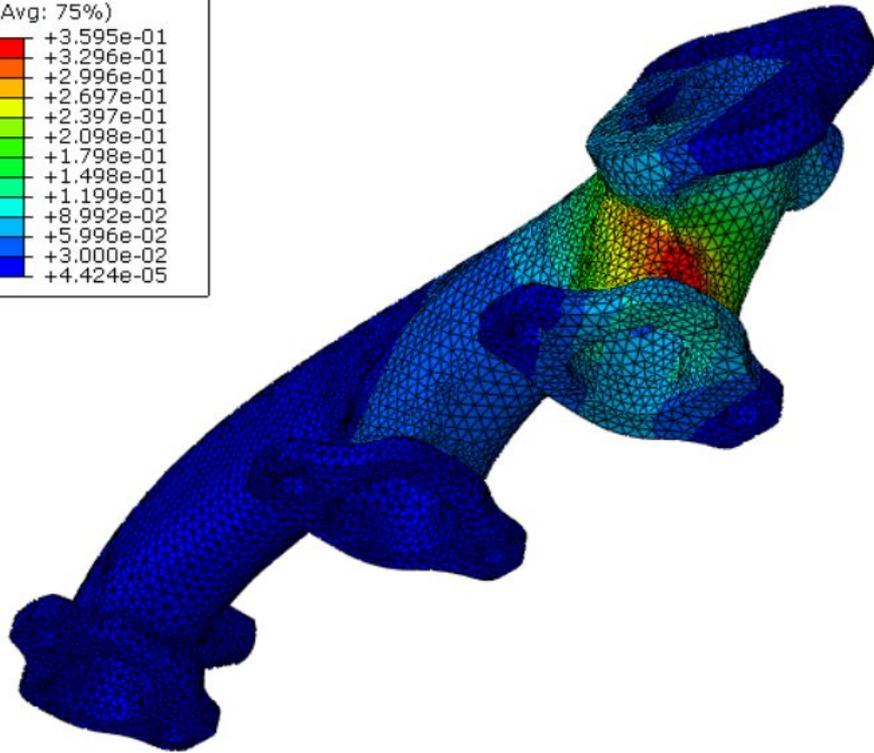
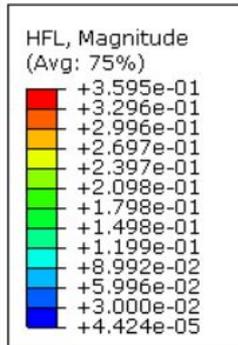
Comparativo Nro 4 - Resultados (temperaturas)



- Abaqus 581.639° K

- CalculiX 581.639° K

Comparativo Nro 4 - Resultados (flujo de calor)



Z
X
Y

Step: Step-1
Increment 1: Step Time = 1.000
Primary Var: HFL, Magnitude
Deformed Var: not set Deformation Scale Factor: not set

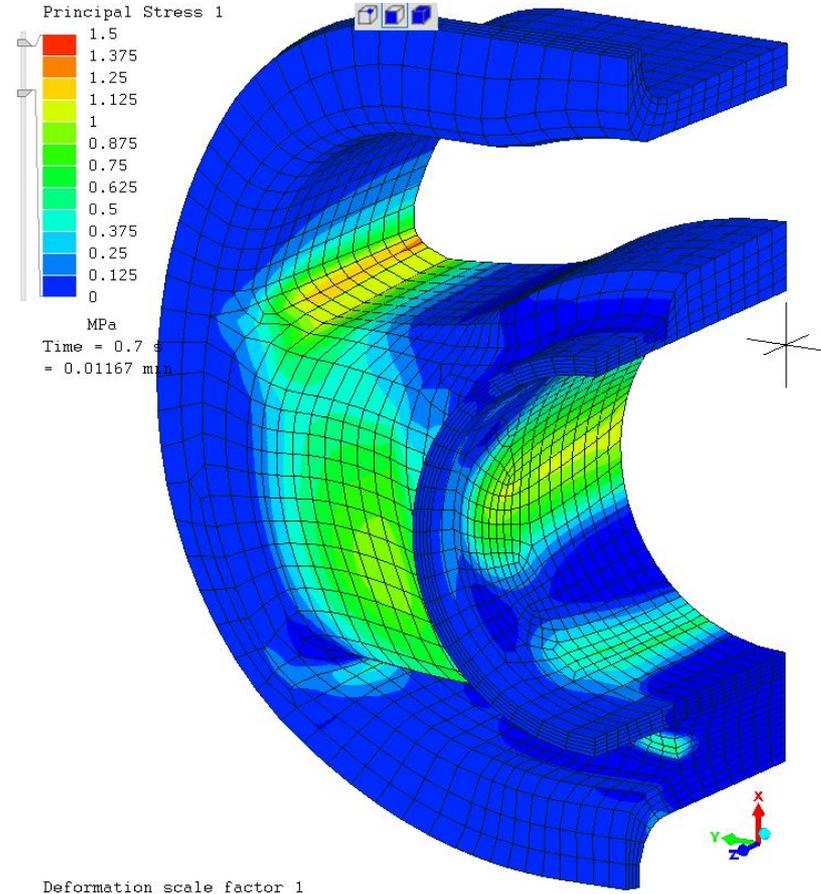
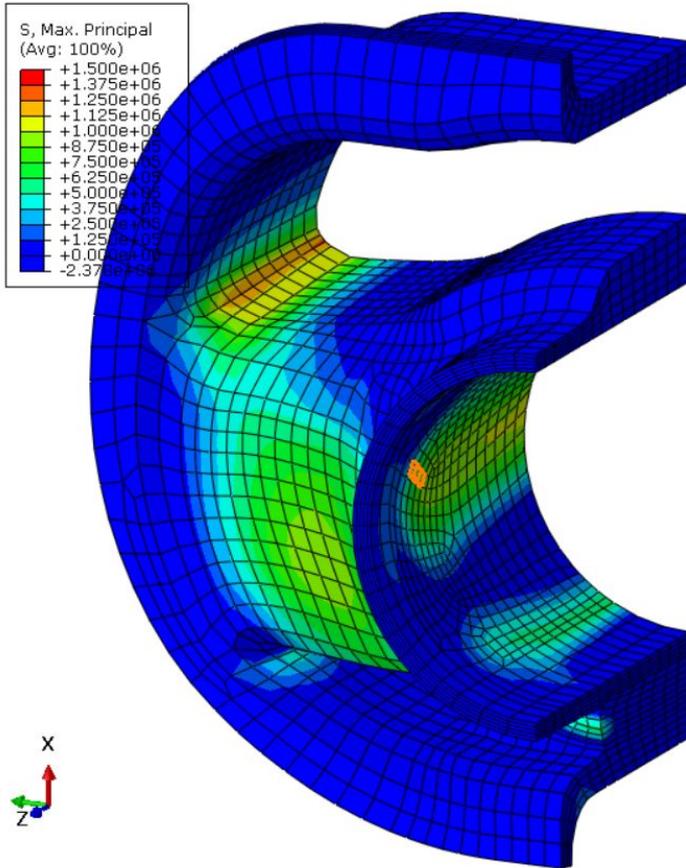
● Abaqus 0.3596 W/m²

● CalculiX 0.3531 W/m²

Comparativo Nro 5 - Contactos y material hyperelastico

- Trabajaremos sobre un soporte de motor de goma, las propiedades mecánicas han sido extraídas de los ejemplos presentados en la documentación de Calculix para materiales hyperelásticos (Neo Hooke).
- La pieza está fija (seis grados de libertad restringidos) en las superficie exterior, se ha especificado simetría en dos planos y múltiples pares de contacto han sido definidos
- El modelo fue mallado en NX Unigraphics, luego importado en Mecway FEA para aplicar las condiciones de borde, y posteriormente resuelto en CalculiX.
- El mismo modelo (malla, condiciones de borde y material) es exportado en Mecway FEA e importado en Abaqus y resuelto, de forma de evitar diferencias en los resultados por trabajar con diferentes mallas.
- Para el postprocesado no solo se muestran tensiones sino que también se han trazado las curvas de rigidez (solicitadas habitualmente para piezas técnicas de goma)

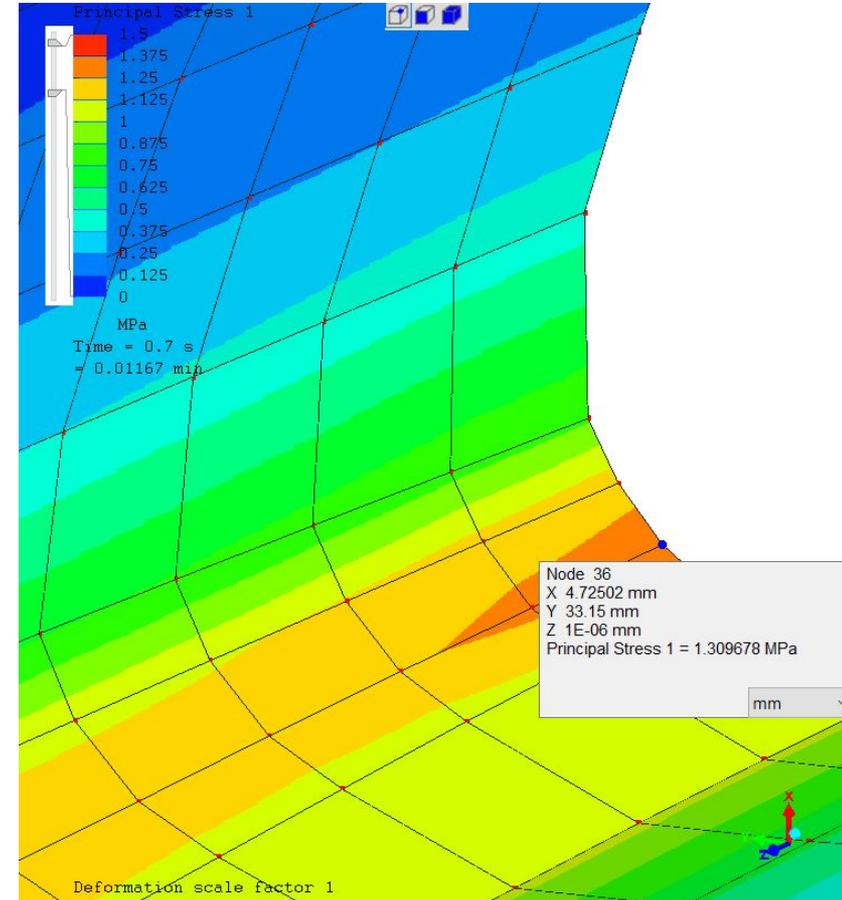
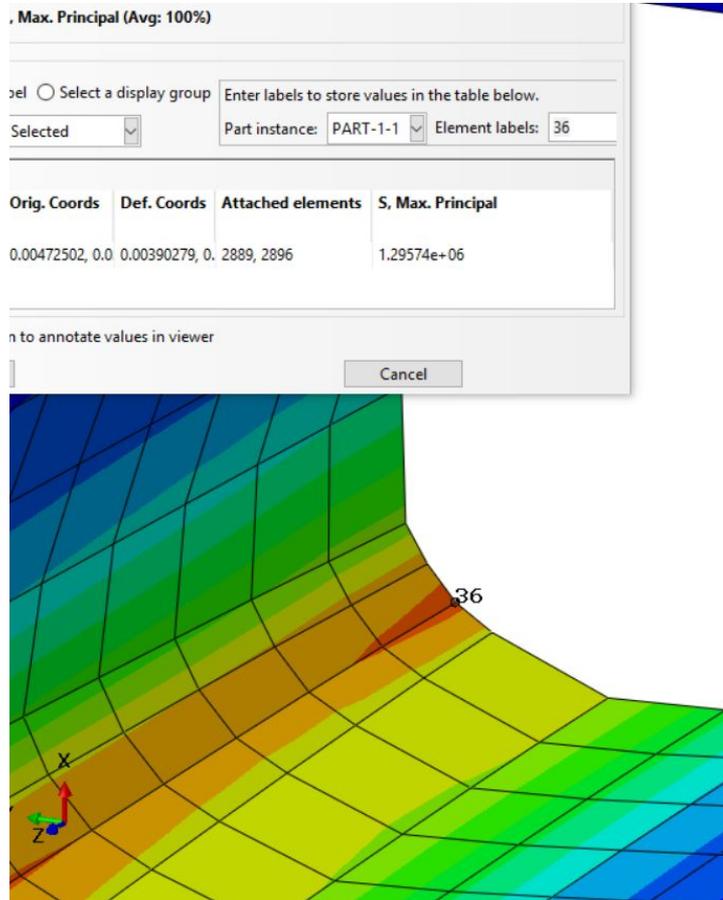
Comparativo Nro 5 - Resultados (tensiones)



- Abaqus 1.30 MPa

- CalculiX 1.30 MPa

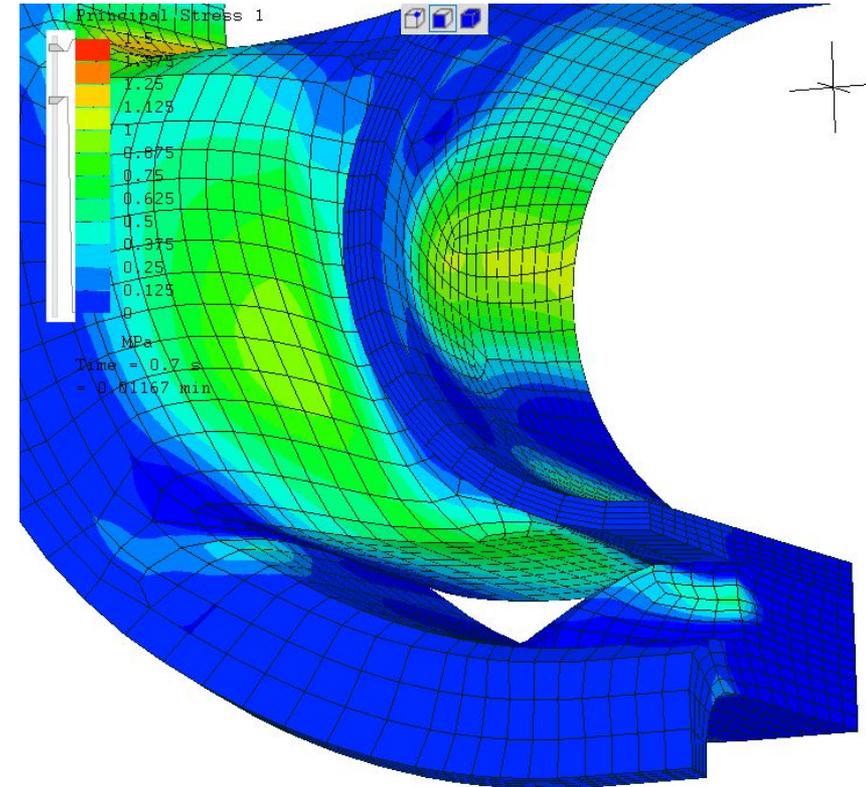
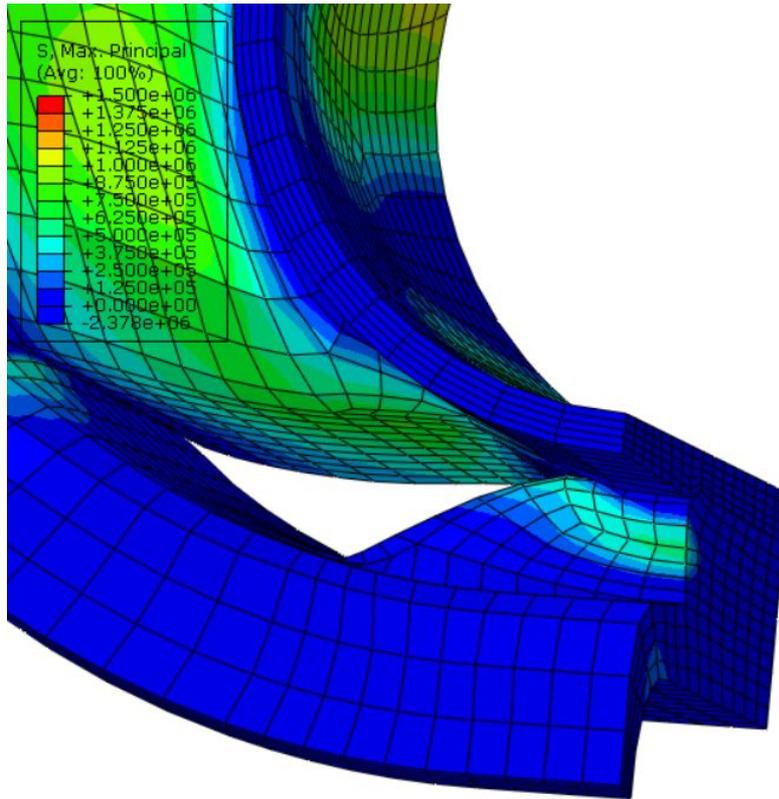
Comparativo Nro 5 - Resultados (tensiones)



- Abaqus 1.30 MPa

- CalculiX 1.30 MPa

Comparativo Nro 5 - Detalle contactos



Comparativo Nro 5 - Curva rigidez

