

Elmer FEM: Elementos Finitos

David Santiago Rodriguez

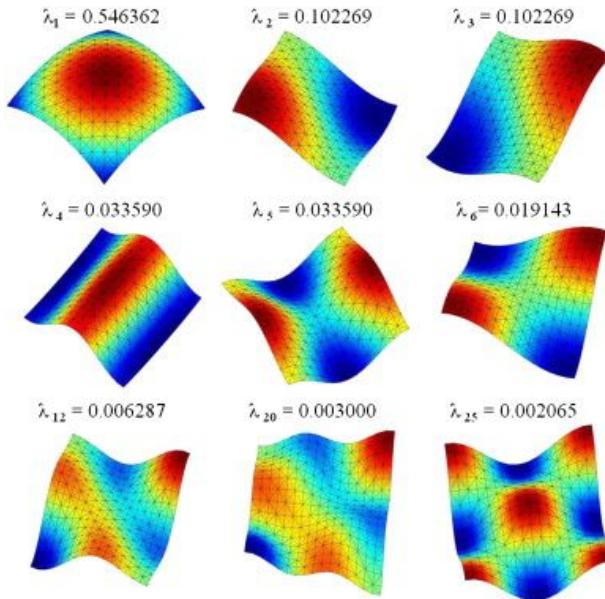
Julian Alexei Duran

Juan Esteban Neira

Índice

1. Matemática / Teoría (ALEXEI):
 - a. Elementos Finitos
2. Introducción Elmer
 - a. ¿Qué es Elmer?
 - b. Flujo de trabajo
 - c. Aplicaciones
3. Instalación
 - a. Windows
 - b. Linux
4. Elmer FEM
 - a. ElmerGrid
 - ElmerGUI
 - b. ElmerSolver
5. Pruebas Y Aplicaciones
 - a. Flujo de trabajo

1. Teoría / Matemática



Método de Elementos Finitos

Método de elementos finitos es la denominación de un conjunto de técnicas y algoritmos matemáticos que siguen un orden específico de procesos matemáticos.

El método se compone de los siguientes pasos:

- Discretización del dominio.
- Formulación de las ecuaciones de forma.
- Ensamblaje del sistema de ecuaciones.
- Aplicación de Condiciones de Contorno

Forma de la solución global

La solución global $u_h(\mathbf{x})$ se construye ensamblando estas aproximaciones locales, utilizando funciones de forma globales $\Phi_j(\mathbf{x})$ que se forman a partir de la suma de las funciones de forma locales que se solapan en los nodos compartidos:

$$u_h(\mathbf{x}) = \sum_{j=1}^{N_d} \Phi_j(\mathbf{x}) U_j$$

donde N_d es el número total de grados de libertad (valores nodales) en el dominio, y U_j son los valores de la solución aproximada en los nodos globales.

Método de Galerkin

Este método se basa en reducir las condiciones de suavidad de la función solución y es clave para crear el sistema algebraico de ecuaciones con el que se obtendrá la solución.

Forma fuerte

$$L(u) = f \quad \text{en } \Omega$$

Forma débil

$$\int_{\Omega} w(\mathbf{x}) L(u_h) d\Omega = \int_{\Omega} w(\mathbf{x}) f d\Omega$$

Sistema algebraico de ecuaciones

$$\sum_{j=1}^{N_d} U_j a(\Phi_i, \Phi_j) = F(\Phi_i) \quad \text{para } i = 1, \dots, N_d$$

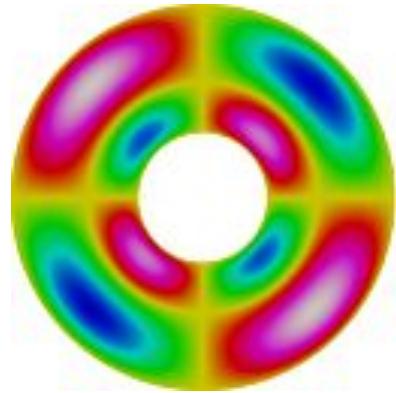
Este sistema se puede escribir en forma matricial como:

$$\mathbf{K}\mathbf{U} = \mathbf{F}$$

donde:

- \mathbf{K} es la *matriz de rigidez global*, con elementos $K_{ij} = a(\Phi_i, \Phi_j)$.
- \mathbf{U} es el *vector de incógnitas nodales* (los U_j que buscamos).
- \mathbf{F} es el de carga global, con elementos $F_i = F(\Phi_i)$.

2. Introducción Elmer



¿Qué es Elmer ?

- Código Open Source de elementos finitos utilizado para resolver ED de múltiples sistemas físicos.
- 440.000 Líneas de Código ($\frac{3}{4}$ Fortran , $\frac{1}{4}$ C/C++) ,
700 Tests, 800 pags de documentación
- Proyecto nacional llevado a cabo en 1995 por el ministerio de Educación Firlandes CSC (Finnish IT center of Science)



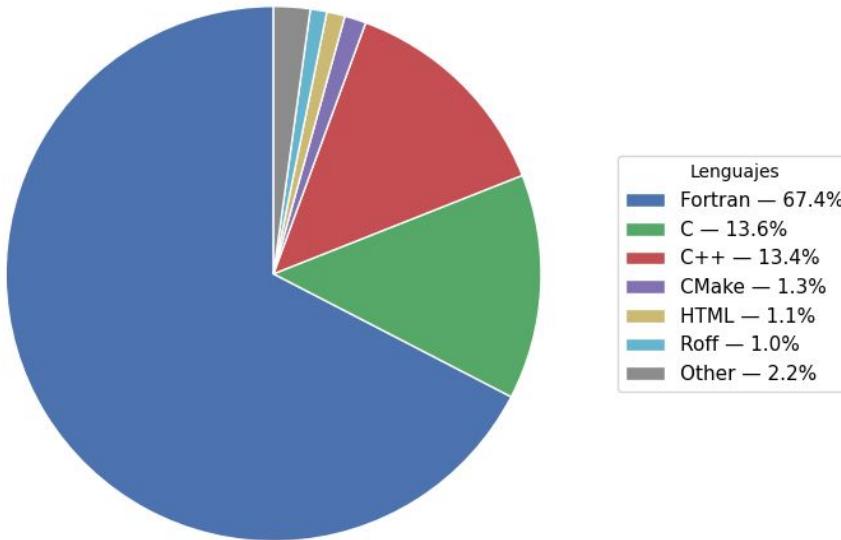
¿Qué es Elmer ?

Elmer se compone de distintos programas

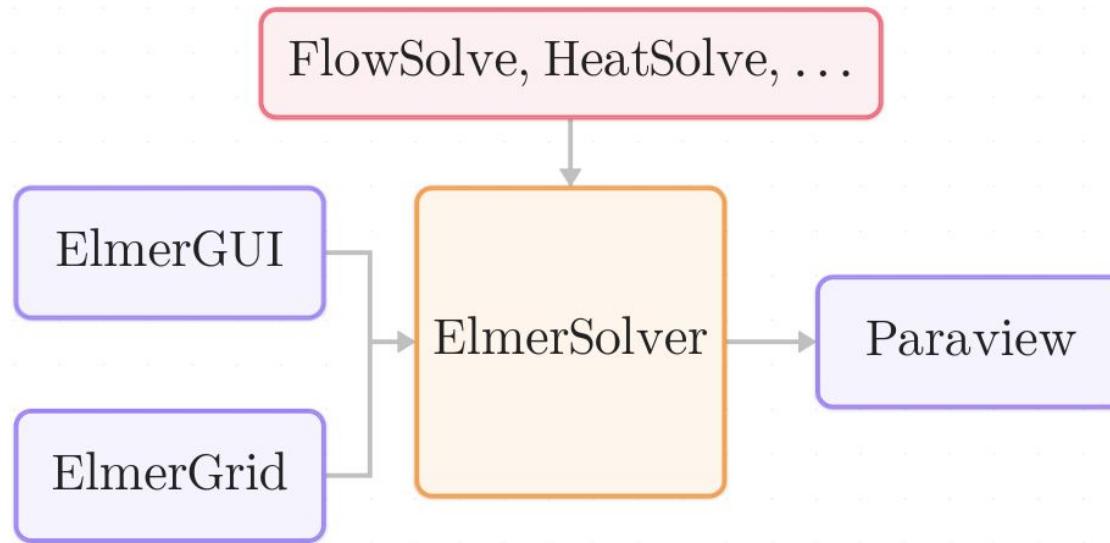
- ElmerGUI : Herramienta de Pre-Procesamiento e Interfaz (Qt, Tetgen, Netgen, OpenCascade)
- ElmerSolver : Ensambla y soluciona las ecuaciones de elementos finitos. Gran número de rutinas auxiliares (Para sistemas físicos clásicos)
- ElmerGrid : Creacion, Importacion y manipulacion de mallas

¿Qué es Elmer ?

Lenguajes de Programación usados en Elmer

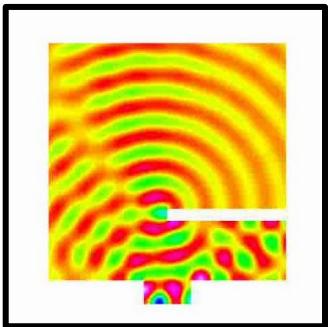


¿Cómo opera Elmer ?

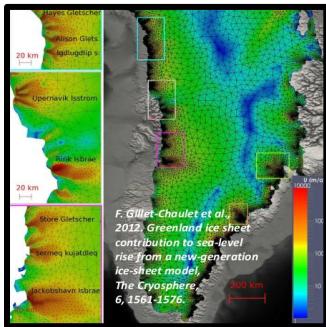


Algunas aplicaciones

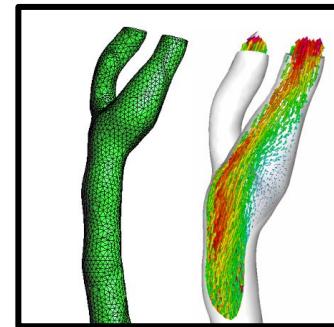
Acústica



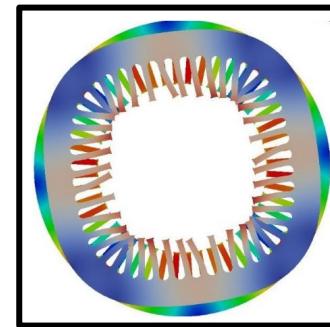
Glaciología



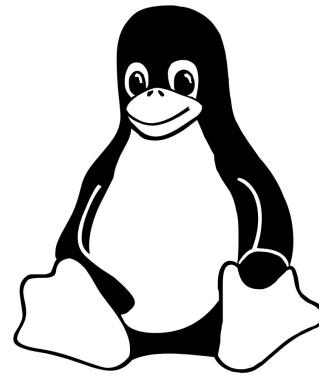
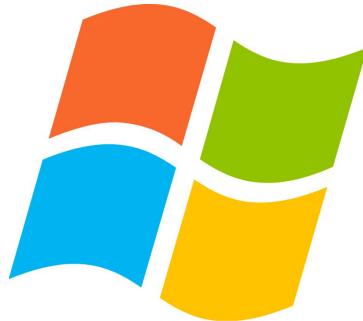
Flujos/
Estructura



Electromecánica



3. Instalación



Windows- instalación .exe

Index of /pub/sci/physics/elmer

Name	Last modified	Size	Description
Parent Directory		-	
anim/	2010-11-10 19:28	-	
bin/	2021-02-04 13:48	-	
courses/	2021-03-04 12:04	-	
doc/	2022-08-02 11:38	-	
macros/	2014-08-29 17:28	-	
slides/	2021-02-04 14:47	-	
src/	2021-02-04 13:45	-	
tests/	2021-03-07 23:57	-	
webinar/	2021-12-22 13:27	-	
Readme.txt	2021-02-04 13:53	813	
tests.part	2025-06-24 05:00	29M	

Repositorio:

Elmer tiene un repositorio completo, en el cual se puede encontrar el instalador, y la documentación oficial de todo el programa.

- En la carpeta “bin”-/ Windows



Windows- instalación .exe

Index of /pub/sci/physics/elmer/bin/windows

Name	Last modified	Size	Description
Parent Directory		-	
old-gcc9/	2021-04-06 15:07	-	
rel9.0/	2022-08-02 11:45	-	
scripts/	2023-12-18 09:21	-	
ElmerFEM-gui-mpi-Windows-AMD64.exe	2025-06-24 02:09	159M	
ElmerFEM-gui-mpi-Windows-AMD64.zip	2025-06-24 02:09	219M	
ElmerFEM-gui-nompi-Windows-AMD64.exe	2025-06-24 02:08	150M	
ElmerFEM-gui-nompi-Windows-AMD64.zip	2025-06-24 02:08	210M	
ElmerFEM-nogui-mpi-Windows-AMD64.exe	2025-04-23 06:22	94M	
ElmerFEM-nogui-mpi-Windows-AMD64.zip	2025-04-23 06:21	130M	
ElmerFEM-nogui-nompi-Windows-AMD64.exe	2025-04-22 20:12	89M	
ElmerFEM-nogui-nompi-Windows-AMD64.zip	2025-04-22 20:12	124M	
ElmerFEM-tests.tar.gz	2021-04-06 14:46	25M	
Readme1st.txt	2021-03-08 21:26	2.6K	
RunElmer.bat	2021-12-01 21:32	164	

Se tienen 4 tipos de instalación:

- **gui-mpi:** interfaz gráfica de usuario e interfaz de paso de mensaje (computación en paralelo).
- **gui-nompi:** Software en una sola máquina.
- **nogui-mpi:** No incluye interfaz gráfica (se maneja a través de comandos) clústeres.
- **nogui-nompi**



Windows- instalación .exe

Index of /pub/sci/physics/elmer/bin/windows

Name	Last modified	Size	Description
Parent Directory		-	
old-gcc9/	2021-04-06 15:07	-	
rel9.0/	2022-08-02 11:45	-	
scripts/	2023-12-18 09:21	-	
ElmerFEM-gui-mpi-Windows-AMD64.exe	2025-06-24 02:09	159M	
ElmerFEM-gui-mpi-Windows-AMD64.zip	2025-06-24 02:09	219M	
ElmerFEM-gui-nompi-Windows-AMD64.exe	2025-06-24 02:08	150M	
ElmerFEM-gui-nompi-Windows-AMD64.zip	2025-06-24 02:08	210M	
ElmerFEM-nogui-mpi-Windows-AMD64.exe	2025-04-23 06:22	94M	
ElmerFEM-nogui-mpi-Windows-AMD64.zip	2025-04-23 06:21	130M	
ElmerFEM-nogui-nompi-Windows-AMD64.exe	2025-04-22 20:12	89M	
ElmerFEM-nogui-nompi-Windows-AMD64.zip	2025-04-22 20:12	124M	
ElmerFEM-tests.tar.gz	2021-04-06 14:46	25M	
Readme1st.txt	2021-03-08 21:26	2.6K	
RunElmer.bat	2021-12-01 21:32	164	

2 tipos de compilaciones

- **rel9.0:** versión oficial más reciente y estable.
- **norel9.0 (nightly builds):** Representan las versiones más recientes del software, incorporando los cambios y mejoras más recientes (igual mantienen altos niveles de calidad).



Windows- documentación

Index of /pub/sci/physics/elmer

Name	Last modified	Size	Description
Parent Directory		-	
anim/	2010-11-10 19:28	-	
bin/	2021-02-04 13:48	-	
courses/	2021-03-04 12:04	-	
doc/	2022-08-02 11:38	-	
macros/	2014-08-29 17:28	-	
slides/	2021-02-04 14:47	-	
src/	2021-02-04 13:45	-	
tests/	2021-03-07 23:57	-	
webinar/	2021-12-22 13:27	-	
Readme.txt	2021-02-04 13:53	813	
tests.filepart	2025-06-24 05:00	29M	

Nuevamente en la primera interfaz se encuentra la carpeta de la documentación

en la carpeta doc se encuentra la documentación más reciente



Windows- documentación

Index of /pub/sci/physics/elmer/doc

Name	Last modified	Size	Description
 Parent Directory		-	
 old/	2009-08-04 13:52	-	
 ElmerDocumentation.tar.gz	2023-02-09 14:47	24M	
 ElmerDocumentation.zip	2023-02-09 14:47	24M	
 ElmerGUIDManual.pdf	2023-04-06 19:01	637K	
 ElmerGridManual.pdf	2023-04-06 19:01	1.3M	
 ElmerModelsManual.pdf	2024-06-07 12:54	1.8M	
 ElmerOverview.pdf	2023-04-06 19:01	159K	
 ElmerParamManual.pdf	2022-08-02 11:39	190K	
 ElmerProgrammersTutorial.pdf	2022-10-17 14:19	165K	
 ElmerSolverManual.pdf	2023-04-06 19:01	1.6M	
 ElmerTutorials-nonGUI.pdf	2023-04-06 19:01	1.6M	
 ElmerTutorials.pdf	2023-04-06 19:01	13M	
 GetStartedElmer.pdf	2023-04-06 19:01	8.1M	
 MATCManual.pdf	2023-04-06 19:01	163K	
 README.txt	2015-10-28 09:33	2.3K	
 TexStart.pdf	2023-04-06 19:01	224K	
 TemplateName.pdf	2023-04-06 19:01	208K	
 tutorials-CL-files.tar.gz	2023-04-06 19:06	2.5M	
 tutorials-CL-files.zip	2023-04-06 19:06	2.5M	
 tutorials-GUI-files.tar.gz	2023-04-06 19:06	19M	
 tutorials-GUI-files.zip	2023-04-06 19:06	18M	

Nuevamente en la primera interfaz se encuentra la carpeta de la documentación

En la carpeta doc se encuentra la documentación más reciente



Windows- Descarga de Paraview



- Herramienta para la **visualización** de resultados generados por simulaciones que generan Elmer.
- No es **completamente necesario** instalar esta herramienta para que se pueda utilizar Elmer, pero será necesario para **visualizar los resultados**.

Release Candidates

Previews of ParaView's next release. Full suite of ParaView tools, including the ParaView [MS-MPI](#).

Unzip .zip packages in a directory with a very short path if you encounter an error message.

- [ParaView-6.0.0-RC1-Windows-Python3.12-msvc2017-AMD64.msi](#)
- [ParaView-6.0.0-RC1-MPI-Windows-Python3.12-msvc2017-AMD64.msi](#)
- [ParaView-6.0.0-RC1-Windows-Python3.12-msvc2017-AMD64.zip](#)
- [ParaView-6.0.0-RC1-MPI-Windows-Python3.12-msvc2017-AMD64.zip](#)



Windows- Instalación

Después de todo este proceso se obtiene una carpeta con la **documentación, Paraview** y el instalador de **Elmer**.

Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
ElmerDocumentation	9/02/2023 9:43 a. m.	Carpeta de archivos	
ElmerDocumentation	24/06/2025 1:34 a. m.	Archivo WinRAR Z...	24.126 KB
ElmerFEM-gui-mpi-Windows-AMD64	24/06/2025 1:24 a. m.	Aplicación	162.328 KB
ParaView-6.0.0-RC1-Windows-Python3.1...	24/06/2025 1:56 a. m.	Paquete de Windo...	506.336 KB
ParaView-6.0.0-RC1-Windows-Python3.1...	24/06/2025 1:53 a. m.	Archivo WinRAR Z...	1.284.521 KB

ElmerFEM-gui-mpi-Windows-AMD64

Instalará

- ElmerGUI.
- ElmerSolver.
- ElmerSolver_mpi
- Microsoft MPI.



Windows- Instalación

Inmediatamente después de ejecutar el instalador aparecerá este error



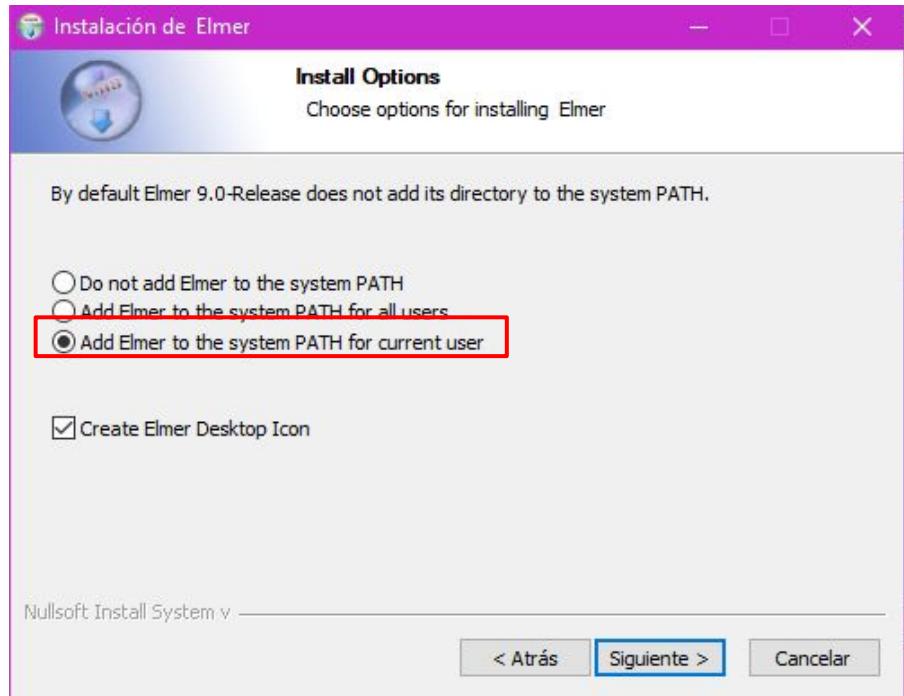
Para solucionar:

- Más información.
- Ejecutar de todas formas



Windows- Instalación

- Seguir con la instalación con todas las opciones de default hasta “Install options”
- Continuar con la instalación normal.



Windows- Instalación

Después de ya instalado, si se corre y ejecuta un comando se encontrará un error
Unable to start Paraview, dado que aún no se ha instalado la solución a correr el
código y presionar Start ElmerVTK.



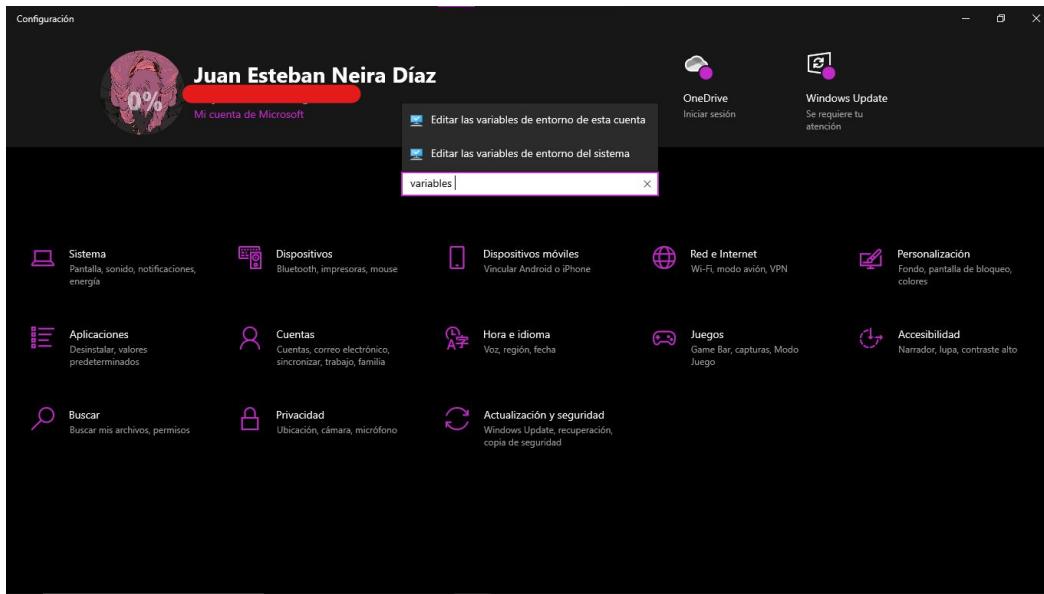
Windows- Instalación de Paraview

equipo > Descargas > Elmer			
Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
ElmerDocumentation	9/02/2023 9:43 a. m.	Carpeta de archivos	
ElmerDocumentation	24/06/2025 1:34 a. m.	Archivo WinRAR Z...	24.126 KB
ElmerFEM-gui-mpi-Windows-AMD64	24/06/2025 1:24 a. m.	Aplicación	162.328 KB
ParaView-6.0.0-RC1-Windows-Python3.1...	24/06/2025 1:56 a. m.	Paquete de Windo...	506.336 KB
ParaView-6.0.0-RC1-Windows-Python3.1...	24/06/2025 1:53 a. m.	Archivo WinRAR Z...	1.284.521 KB



Windows- Camino de Paraview

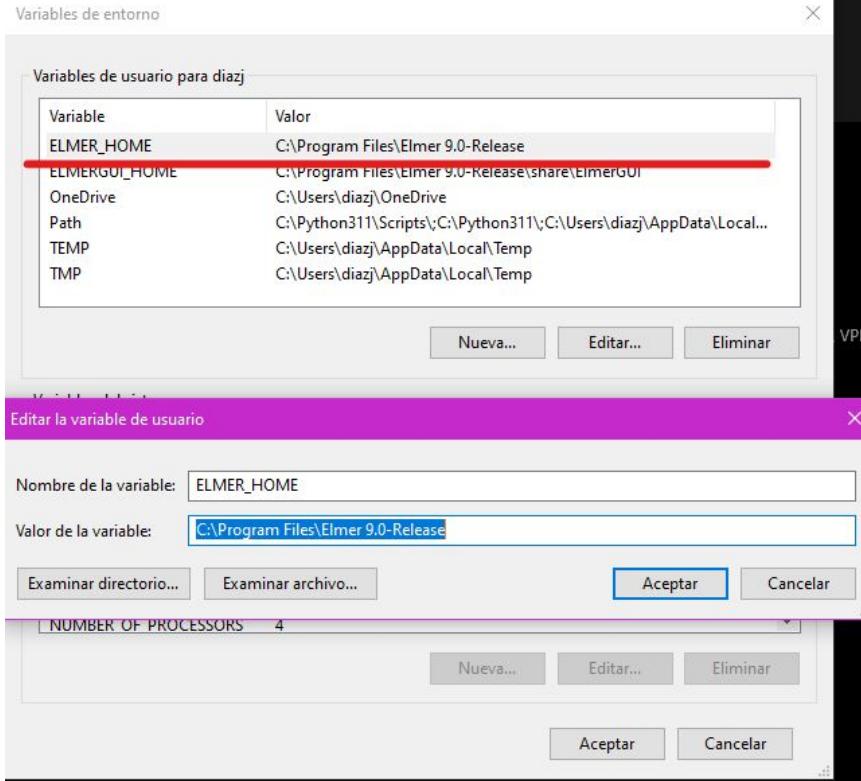
Si se establece un camino a Paraview, entonces ElmerGUI podrá correr Paraview para visualizar los archivos .vtu.



Después de instalar Paraview, se debe ir a configuraciones de Windows , después escribir en el buscador variables y aparecerá la opción de editar variables del entorno de esta cuenta.



Windows- Camino de Paraview



Si se establece un camino a Paraview, entonces ElmerGUI podrá correr Paraview para visualizar los archivos .vtu.

Cuando se instaló Elmer, el camino a este se creó. Para verificar que el camino existe, en la ventana después de presionar **editar variables del entorno de esta cuenta** seleccionar editar en el último camino creado, que es el de Elmer



Windows- Camino de Paraview

Variables de entorno

Variables de usuario para diaj

Variable	Valor
ELMER_HOME	C:\Program Files\Elmer 9.0-Release
ELMERSGI_HOME	C:\Program Files\Elmer 9.0-Release\share\ElmerGUI
OneDrive	C:\Users\diaj\OneDrive
Path	C:\Python311\Scripts;C:\Python311;C:\Users\diaj\AppData\Local\Temp;C:\Users\diaj\AppData\Local\Temp
TEMP	C:\Users\diaj\AppData\Local\Temp
TMP	C:\Users\diaj\AppData\Local\Temp

Nueva...

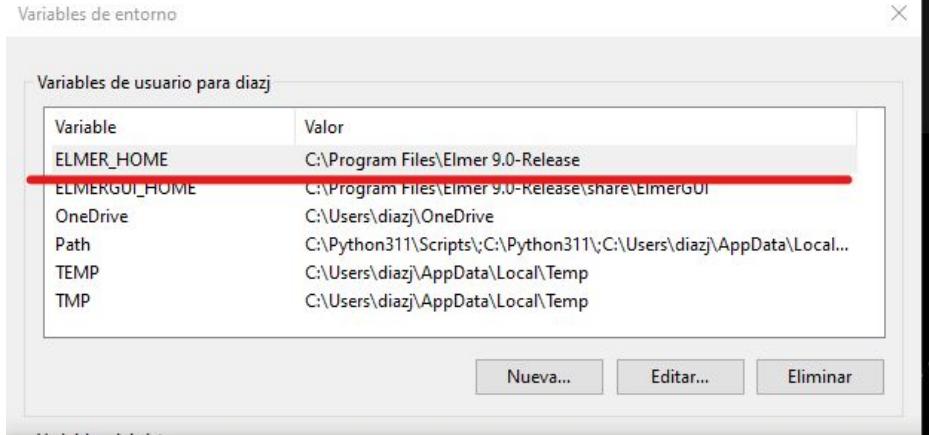
Editar...

Eliminar

Para crear el camino de Paraview, se debe dar en “Nueva” y copiar y pegar la dirección donde está instalado.



Windows- Camino de Paraview



Para crear el camino de Paraview, se debe dar en “Nueva” y copiar y pegar la dirección donde está instalado.



Linux

```
# 1. Update and clean
sudo apt update
sudo apt remove --purge -y python3-paraview || true
sudo apt --fix-broken install -y
sudo apt autoremove -y
```

Actualizar y Limpiar:

- Puede llegar a consumir mucho tiempo
- Hay que instalar paraview de manera correcta,
de otra forma habrá problemas después



Linux

```
# 2. Install dependencies
sudo apt install -y \
    build-essential git cmake wget \
    qtbase5-dev qttools5-dev-tools qttools5-dev qtscript5-dev libqt5svg5-dev \
    libqwt5-dev \
    tetgen netgen \
    liboce-foundation-dev liboce-modeling-dev liboce-ocaf-dev liboce-visualization-dev \
    default-jdk \
    libvtk9-dev libvtk9-qt-dev \
    paraview \
    python3-pyqt5 python3-pyqt5.qtsvg python3-pyqt5.qtwebkit \
    python3-pip \
    python3-dev
```

Repositorios, Compiladores, Bibliotecas de Interfaces Qt, Generadores de Malla,
Manejo de geometrías CAD, Herramientas de visualización científica,
Herramientas de python



Linux

```
# 3. Configure Java libraries
JAVA_BIN=$(which java)
JAVA_HOME=$(dirname "$(dirname "$(readlink -f "$JAVA_BIN")")")
echo "$JAVA_HOME/lib" | sudo tee /etc/ld.so.conf.d/java.conf
echo "$JAVA_HOME/lib/server" | sudo tee -a /etc/ld.so.conf.d/java.conf
sudo ldconfig
```

Establece ruta para el uso de librerías de Java



Linux

```
# 4. Clone Elmer source and prepare build directory  
git clone https://github.com/ElmerCSC/elmerfem.git  
cd elmerfem  
mkdir -p build && cd build
```

Clonar código principal de Elmer desde GitHub



Linux

```
# 5. Configure with CMake (unified ELMER_HOME under share)
cmake .. \
-DCMAKE_INSTALL_PREFIX=/usr/local/share/elmersolver \
-DDEFAULT_ELMER_HOME=/usr/local/share/elmersolver \
-DCMAKE_INSTALL_LIBDIR=lib \
-DWITH_ELMER_SOLVER=TRUE \
-DWITH_ELMERGUI=TRUE \
-DWITH_QWT=TRUE \
-DWITH_VTK=TRUE \
-DWITH_OCC=FALSE \
-DWITH_TETGEN=FALSE \
-DWITH_QT5SCRIPT=TRUE \
-DWITH_PYTHONQT=FALSE \
-DWITH_MATC=TRUE \
-DWITH_PARAVIEW=FALSE \
-DWITH_QT5=TRUE
```

Cmake Script de configuración que indica como compilar Elmer:
Qué módulos y características usar, Rutas y Librerías



Linux

```
# 6. Compile and install  
make -j"$(nproc)"  
sudo make install
```

Inicia la instalación y configuración de todos los archivos y módulos de Elmer



Linux

```
# 7. Configure environment variables (clean and persistent)
cat << 'EOF' > ~/.elmer_profile
export ELMER_HOME=/usr/local/share/elmersolver
export PATH="$ELMER_HOME/bin:$PATH"
export LD_LIBRARY_PATH="$JAVA_HOME/lib:$JAVA_HOME/lib/server:$ELMER_HOME/lib"
export CMAKE_MODULE_PATH="$ELMER_HOME/cmake/Modules:$CMAKE_MODULE_PATH"
EOF
```

Crear archivo con variables de entorno
(Ejecutar desde terminal, Encontrar solver .so, Localizar módulos)



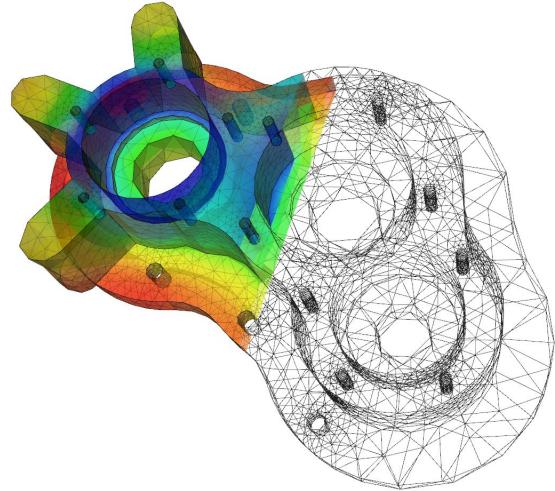
Linux

```
# 8. Source ~/.elmer_profile from ~/.profile if not already done  
grep -qxF 'source ~/.elmer_profile' ~/.profile || echo 'source ~/.elmer_profile' >> ~/.profile  
  
# Apply environment immediately  
source ~/.elmer_profile
```

Cargar configuraciones anteriores automáticamente



4. Elmer FEM

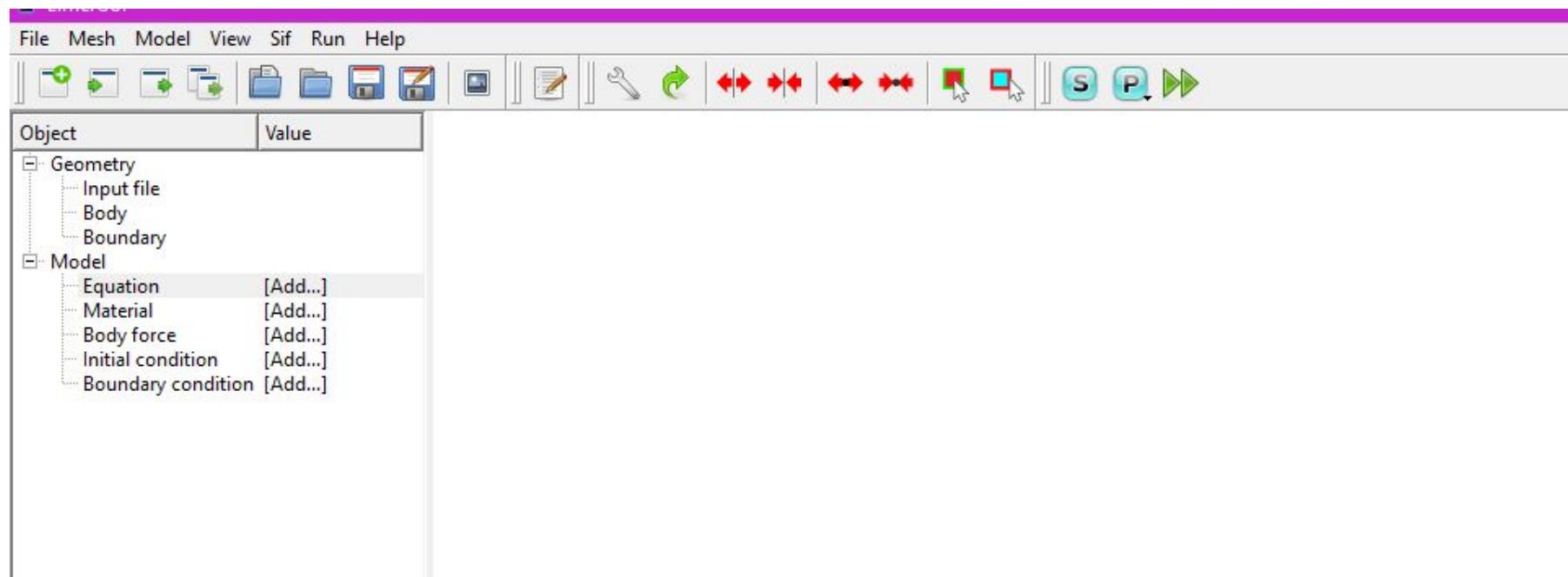


ElmerGUI

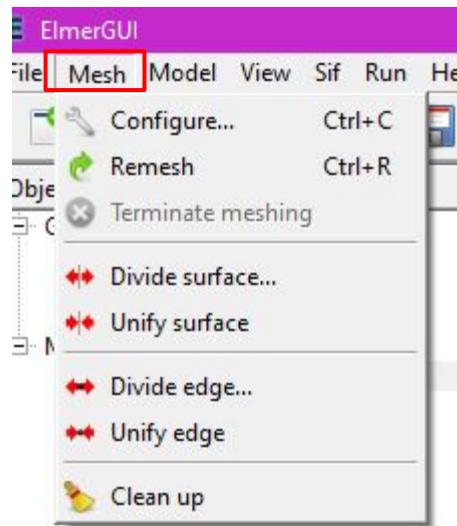
ElmerGUI es la interfaz gráfica de usuario (GUI por sus siglas en inglés) de Elmer. Permite **interactuar con el software de una manera visual**, facilitando la configuración de simulaciones.



ElmerGUI

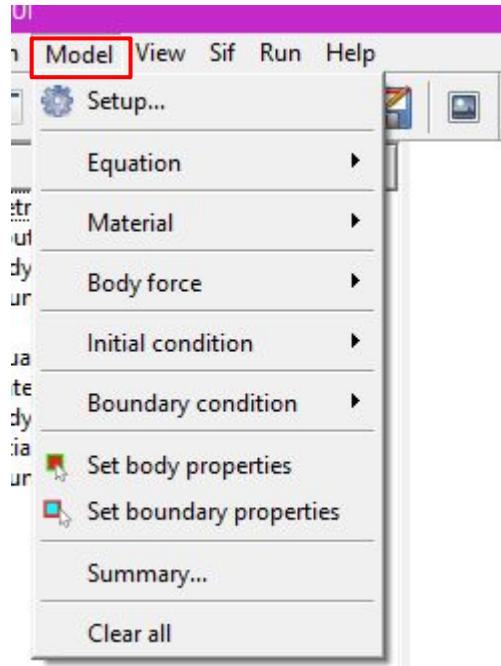


ElmerGUI



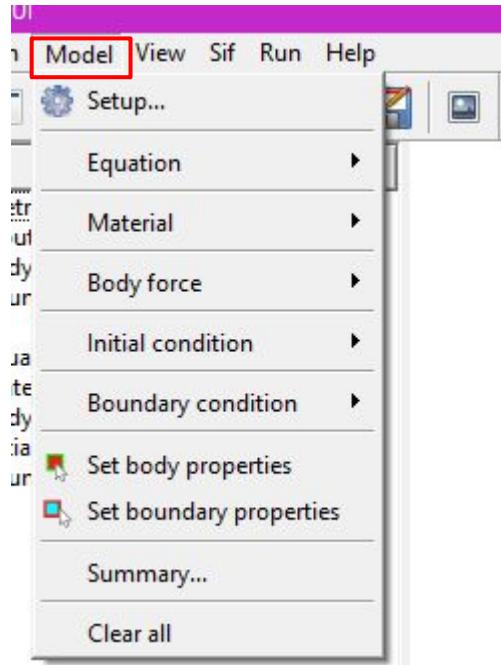
- **Configure... (Ctrl+C):** Permite ajustar los parámetros de cómo se va a generar la malla (Tamaño, densidad de área, etc).
- **Remesh (Ctrl+R):** Mallar nuevamente (cambia la geometría, malla inicial no es suficientemente buena) .
- **Terminate meshing:** Para detener el proceso de generación de malla si está en curso.
- **Divide surface... / Unify surface:** Dividen o unen las superficies de la malla.
- **Divide edge... / Unify edge:** Divide o une los bordes de la malla.
- **Clean up:** Para limpiar o optimizar la malla existente, eliminando elementos defectuosos o nodos redundantes.

ElmerGUI



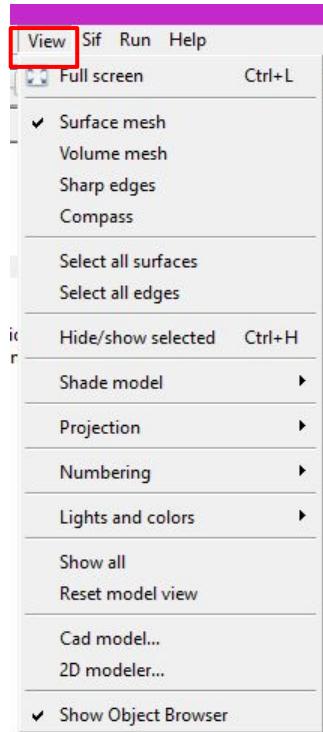
- **Setup...:** Permite configurar los ajustes generales de la simulación, como el tipo de análisis a realizar (ej., estacionario, transitorio, lineal, no lineal), el número de pasos de tiempo, y las configuraciones básicas del solucionador.
- **Equation:** Permite seleccionar y definir las ecuaciones físicas que rigen el problema a simular (ej., ecuación de calor para transferencia térmica, ecuaciones de Navier-Stokes para flujo de fluidos, etc)
- **Material:** Define las propiedades físicas de los materiales presentes en el modelo. Esto incluye parámetros como la densidad, conductividad térmica, calor específico, módulos elásticos, viscosidad, etc.
- **Body force:** Permite especificar fuerzas o fuentes que actúan sobre el volumen o cuerpo del modelo. Ejemplos incluyen la gravedad, fuentes de calor internas, o fuerzas de volumen distribuidas.
- **Initial condition:** Define el estado inicial de las variables del problema al comienzo de la simulación.

ElmerGUI



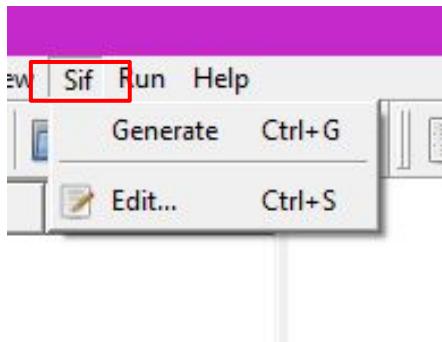
- **Boundary condition:** Define las condiciones que se aplican en los límites o fronteras del dominio de la simulación. Esto puede incluir temperaturas fijas en una superficie, presiones, etc.
- **Set body properties:** Permite asignar las propiedades de materiales y las ecuaciones definidas previamente a las diferentes regiones o cuerpos (volúmenes) de la geometría del modelo.
- **Set boundary properties:** Permite asignar las condiciones de contorno definidas a las superficies o bordes específicos del modelo.
- **Summary...:** Muestra un resumen consolidado de todas las configuraciones, ecuaciones, materiales y condiciones que han sido definidas para el modelo, lo cual es útil para una revisión rápida antes de la simulación.
- **Clear all:** Borra todas las definiciones y configuraciones del modelo actual, dejando el espacio de trabajo listo para definir un nuevo problema desde cero.

ElmerGUI



Opciones de Visualización

ElmerGUI

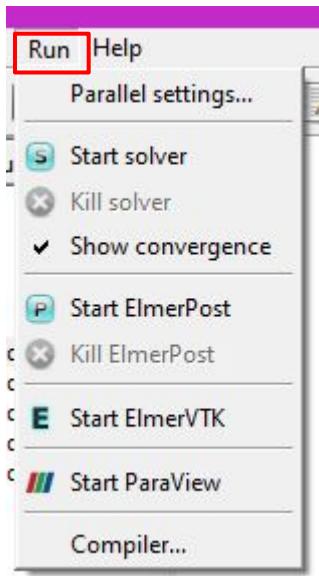


Un .sift es un archivo de texto plano que contiene todos los parámetros de definición del modelo:

- Mallas.
- Ecuaciones.
- Propiedades de los materiales.
- Condiciones de contorno.
- Etc...

ElmerGUI es solo una interfaz que **ayuda a construir este archivo**. Al final, lo que ElmerSolver lee y procesa es este archivo .sif.

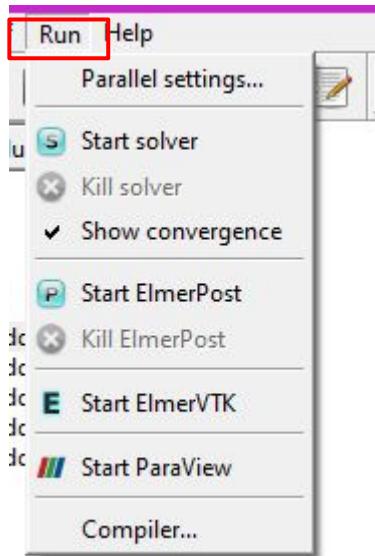
ElmerGUI



Este menú se encarga de **ejecutar la simulación, monitorearla y abrir las herramientas de post-procesamiento** para visualizar los resultados.

- **Parallel settings...:** Permite configurar los parámetros para ejecutar la simulación en paralelo (número de procesadores o núcleos)
- **Start solver:** Inicia el proceso de cálculo de la simulación. Este comando ejecuta el componente **ElmerSolver** utilizando el archivo de entrada (**.sif**) del modelo actual.
- **Kill solver:** Detiene la ejecución del **ElmerSolver** de forma forzada si la simulación está en curso.
- **Show convergence:** Muestra una ventana o un registro en tiempo real que permite monitorear el progreso de la simulación y el proceso de convergencia de los algoritmos numéricos, indicando si la solución se está estabilizando correctamente.

ElmerGUI



- **Start ElmerPost:** Paraview menos potente.
- **Kill ElmerPost:** Cierra la aplicación **ElmerPost** si está en ejecución.
- **Start ElmerVTK:** Inicia una herramienta de visualización de Elmer que genera archivos en formato VTK (Visualization Toolkit).
- **Start ParaView:** Abre Paraview.
- **Compiler...:** Accede a opciones para compilar o recompilar componentes de Elmer, como subrutinas o librerías personalizadas.

Descripción de un problema sencillo

Una estructura en forma de L (ver figura 23) se calienta mediante una fuente de calor interna, cuya magnitud es de 1 W/m³. La densidad de la estructura es de 1 kg/m³ y la conductividad térmica es de 1 W/mK. Todas las fronteras Γ_i se mantienen a una temperatura constante de 0 K. El problema es resolver la distribución de temperatura en la estructura. Matemáticamente, el problema a resolver es:

$$\begin{cases} -\kappa \Delta T = \rho f & \text{en } \Omega \\ T = 0 & \text{en } \Gamma \end{cases}$$

donde:

- κ es la conductividad térmica.
- T es la temperatura
- f es la fuente de calor.

Se debe generar los archivos para el solver

Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
angle.grd	26/06/2025 9:04 p. m.	Archivo GRD	1 K
case_t0001.vtu	26/06/2025 9:04 p. m.	Archivo VTU	22 K
egproject.xml	26/06/2025 9:04 p. m.	Microsoft Edge H...	69 K
ELMERSOLVER_STARTINFO	26/06/2025 9:04 p. m.	Archivo	1 K
mesh.boundary	26/06/2025 9:04 p. m.	Archivo BOUNDARY	2 K
mesh.elements	26/06/2025 9:04 p. m.	Archivo ELEMENTS	8 K
mesh.header	26/06/2025 9:04 p. m.	Archivo HEADER	1 K
mesh.nodes	26/06/2025 9:04 p. m.	Archivo NODES	6 K

angle grd: Contiene la definición de la geometría inicial y parámetros de generación de la malla.

Es leído por ElmerGrid para generar los archivos de malla `.nodes`, `.elements`, `.boundary`, etc.

Se debe generar los archivos para el solver

Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
angle.grd	26/06/2025 9:04 p. m.	Archivo GRD	1 K
case_t0001.vtu	26/06/2025 9:04 p. m.	Archivo VTU	22 K
egproject.xml	26/06/2025 9:04 p. m.	Microsoft Edge H...	69 K
ELMERSOLVER_STARTINFO	26/06/2025 9:04 p. m.	Archivo	1 K
mesh.boundary	26/06/2025 9:04 p. m.	Archivo BOUNDAR...	2 K
mesh.elements	26/06/2025 9:04 p. m.	Archivo ELEMENTS	8 K
mesh.header	26/06/2025 9:04 p. m.	Archivo HEADER	1 K
mesh.nodes	26/06/2025 9:04 p. m.	Archivo NODES	6 K

case_t0001.vtu : Archivo de salida generado por ElmerSolver tras correr una simulación

Se abre con ParaView u otro visualizador VTK para analizar resultados.

Se debe generar los archivos para el solver

Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
angle.grd	26/06/2025 9:04 p. m.	Archivo GRD	1 K
case_t0001.vtu	26/06/2025 9:04 p. m.	Archivo VTU	22 K
egproject.xml	26/06/2025 9:04 p. m.	Microsoft Edge H...	69 K
ELMERSOLVER_STARTINFO	26/06/2025 9:04 p. m.	Archivo	1 K
mesh.boundary	26/06/2025 9:04 p. m.	Archivo BOUNDARY...	2 K
mesh.elements	26/06/2025 9:04 p. m.	Archivo ELEMENTS	8 K
mesh.header	26/06/2025 9:04 p. m.	Archivo HEADER	1 K
mesh.nodes	26/06/2025 9:04 p. m.	Archivo NODES	6 K

egproject.xml : Guarda toda la configuración del proyecto en ElmerGUI.

Permite **reabrir el proyecto en ElmerGUI** con todas las ecuaciones, materiales, condiciones, etc.

Solo contiene Elmer GUI, no contiene los resultados.

Se debe generar los archivos para el solver

Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
angle.grd	26/06/2025 9:04 p. m.	Archivo GRD	1 K
case_t0001.vtu	26/06/2025 9:04 p. m.	Archivo VTU	22 K
egproject.xml	26/06/2025 9:04 p. m.	Microsoft Edge H...	69 K
ELMERSOLVER_STARTINFO	26/06/2025 9:04 p. m.	Archivo	1 K
mesh.boundary	26/06/2025 9:04 p. m.	Archivo BOUNDARY...	2 K
mesh.elements	26/06/2025 9:04 p. m.	Archivo ELEMENTS	8 K
mesh.header	26/06/2025 9:04 p. m.	Archivo HEADER	1 K
mesh.nodes	26/06/2025 9:04 p. m.	Archivo NODES	6 K

ELMERSOLVER_STARTINFO:

- Usado por ElmerGUI para ejecutar ElmerSolver.
- Contiene la ruta hacia el archivo .sif, así como instrucciones sobre dónde guardar la salida.

Se debe generar los archivos para el solver

Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
angle.grd	26/06/2025 9:04 p. m.	Archivo GRD	1 K
case_t0001.vtu	26/06/2025 9:04 p. m.	Archivo VTU	22 K
egproject.xml	26/06/2025 9:04 p. m.	Microsoft Edge H...	69 K
ELMERSOLVER_STARTINFO	26/06/2025 9:04 p. m.	Archivo	1 K
mesh.boundary	26/06/2025 9:04 p. m.	Archivo BOUNDARY...	2 K
mesh.elements	26/06/2025 9:04 p. m.	Archivo ELEMENTS	8 K
mesh.header	26/06/2025 9:04 p. m.	Archivo HEADER	1 K
mesh.nodes	26/06/2025 9:04 p. m.	Archivo NODES	6 K

mesh.elements

- **Contiene:** La conectividad de los elementos (qué nodos forman cada elemento).
- **Estructura:** Se identifican elementos y sus nodos asociados (p. ej., para tetraedros, triángulos, etc.)

mesh.boundary

- **Contiene:** Información sobre las **fronteras** (caras, líneas, etc.) del dominio.
- **Uso:** Este archivo permite asignar **condiciones de frontera** en ElmerGUI.

Se debe generar los archivos para el solver

Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
angle.grd	26/06/2025 9:04 p. m.	Archivo GRD	1 K
case_t0001.vtu	26/06/2025 9:04 p. m.	Archivo VTU	22 K
egproject.xml	26/06/2025 9:04 p. m.	Microsoft Edge H...	69 K
ELMERSOLVER_STARTINFO	26/06/2025 9:04 p. m.	Archivo	1 K
mesh.boundary	26/06/2025 9:04 p. m.	Archivo BOUNDAR...	2 K
mesh.elements	26/06/2025 9:04 p. m.	Archivo ELEMENTS	8 K
mesh.header	26/06/2025 9:04 p. m.	Archivo HEADER	1 K
mesh.nodes	26/06/2025 9:04 p. m.	Archivo NODES	6 K

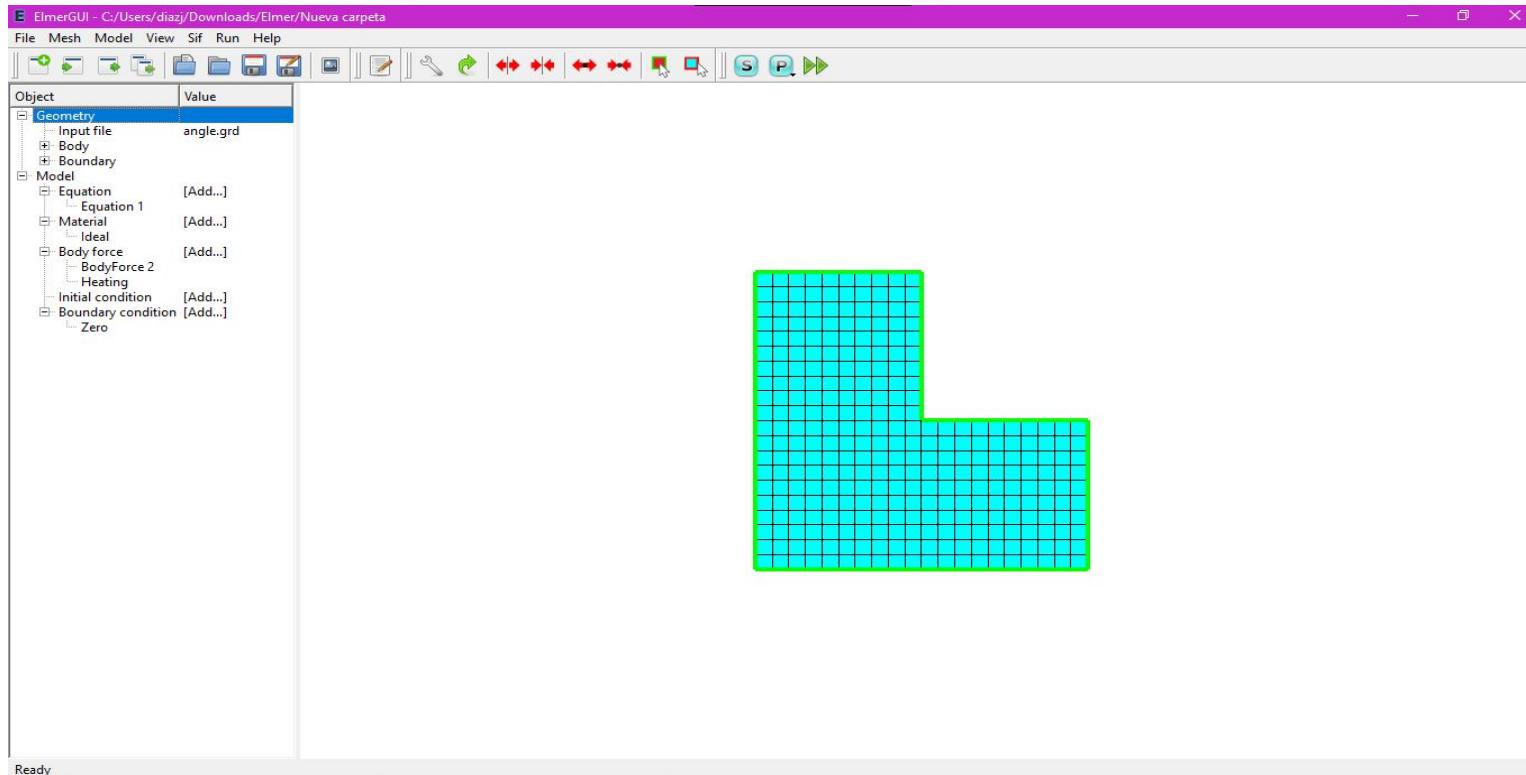
mesh.nodes

- **Contiene:** Las coordenadas de los nodos de la malla (X, Y, Z).
- **Estructura:** Cada línea representa un nodo con su número e información espacial.

mesh.header

- **Contiene:** Información general sobre la malla, como:
 - Número total de nodos.
 - Número de elementos.
 - Tipo de elementos.
 - Dimensión del problema (2D o 3D).
- **Importancia:** Es leído primero por ElmerSolver para entender la estructura de la malla.

Importando la carpeta



Determinando parámetros

Este parámetro define **el tipo de simulación que se va a realizar**. Las opciones comunes son:

- Model
 - Setup
 - Simulation Type = Steady state
 - Steady state max. iter = 1
 - **Steady state**: Indica que se trata de una simulación en **estado estacionario**, es decir, se busca una solución que **no depende del tiempo**. Se asume que el sistema ya alcanzó un equilibrio y no cambia con el tiempo.
 - **Transient**: Sería una simulación **transitoria**, donde la solución **varía en el tiempo**, y por lo tanto requiere integrar en el tiempo.
 - **Scan**: Para realizar simulaciones con barrido en un parámetro.
 - **Time harmonic**: Para problemas periódicos en el tiempo, típicos en electromagnetismo o vibraciones.

Determinando parámetros

- Model
 - Setup
 - Simulation Type = Steady state
 - Steady state max. iter = 1

Steady state max. iter = 1

Este parámetro indica **el número máximo de iteraciones** permitidas para alcanzar la convergencia en una simulación estacionaria.

- En general, Elmer realiza iteraciones hasta que el residuo (error) entre dos pasos consecutivos sea suficientemente pequeño.
- Aquí, al poner 1, **solo se hace una iteración**

Determinando parámetros

- Model
 - Setup
 - Simulation Type = Steady state
 - Steady state max. iter = 1

Steady state max. iter = 1

Este parámetro indica **el número máximo de iteraciones** permitidas para alcanzar la convergencia en una simulación estacionaria.

- En general, Elmer realiza iteraciones hasta que el residuo (error) entre dos pasos consecutivos sea suficientemente pequeño.
- Aquí, al poner 1, **solo se hace una iteración**

Determinando parámetros

- Model
 - Equation
 - Add
 - ◊ Name = Heat Equation
 - ◊ Apply to bodies = 1
 - ◊ Heat Equation
 - ◊ Active = on
 - Apply
 - OK
- Add-> Heat Equation

 - Indica que se está añadiendo una ecuación de **conducción de calor**, también conocida como **Heat Equation**, que Elmer reconoce como una física incorporada. Esta ecuación modela cómo se propaga el calor en el dominio según la conductividad térmica del material.
- Elmer FEM: Elementos Finitos / D.Rodríguez , J.Duran , J.Neira
4. ElmerGUI

Determinando parámetros

- Model
 - Equation
 - Add
 - ◊ Name = Heat Equation
 - ◊ Apply to bodies = 1
 - ◊ Heat Equation
 - ◊ Active = on
 - Apply
 - OK
- Apply to bodies=1**
- Esto significa que la ecuación se aplicará al **cuerpo número 1** del dominio. En ElmerGUI, los "cuerpos" (bodies) están definidos en el archivo de malla (por ejemplo, generados con Gmsh) y pueden representar regiones físicas distintas del modelo.

Determinando parámetros

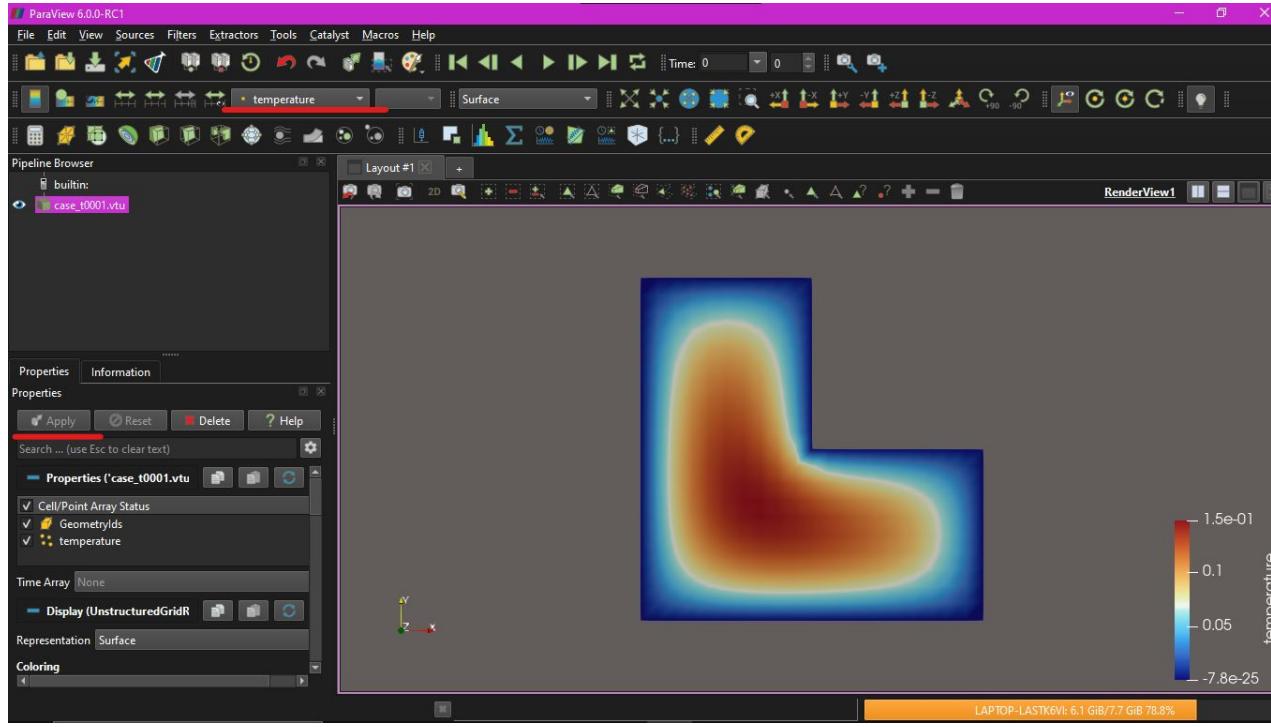
- Model
 - Material
 - Add
 - ◊ Name = Ideal
 - ◊ Apply to bodies = 1
 - ◊ General
 - ◊ Density = 1.0
 - ◊ Heat Equation
 - ◊ Heat Conductivity = 1.0
 - Apply
 - OK
 - Model
 - Body Force
 - Add
 - ◊ Name = Heating
 - ◊ Heat Source = 1.0
 - ◊ Apply to bodies = 1
 - Apply
 - OK

Determinando parámetros

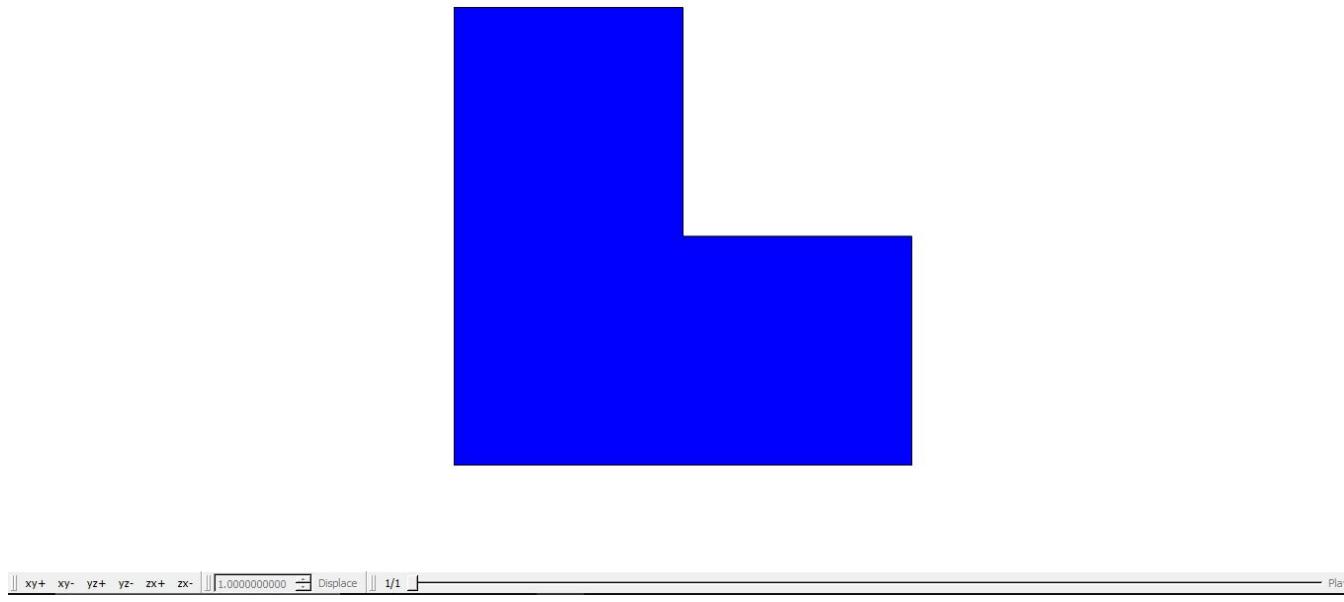
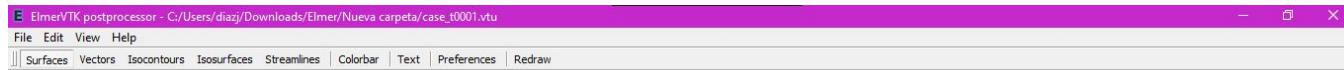
No se utilizan condiciones iniciales dado que es un estado estacionario, se ajusta las condiciones de frontera a 0K.

- Model
 - BoundaryCondition
 - Add
 - Heat Equation
 - Temperature = 0.0
 - Name = Zero
 - Apply to boundaries = 1
 - Apply
 - OK
- Sif
 - Generate
 - Edit ->look how your command file came out
- File
 - Save Project
- Run
 - Start solver

Paraview



Elmer VTK



Solvers

- Solver : Módulos que incorporan y resuelven, por medio de librerías (Métodos matemáticos), el modelo físico con parámetros a especificar. Permite Mayor abstracción:
 - No es necesario acceder a la librería principal para compilarlos
 - Se puede usar cualquier número de Solvers en una misma malla
 - Realizan un mapeo de campos automático en la malla, incluso en separadas

Solvers

Módulos Importantes

- Mecánica de fluidos / fenómenos de transporte
Eq calor, Navier Stokes, Advección-Difusión, Advección-Reacción, Reynolds
- Mecánica de Sólidos: Elasticidad, Resortes, barras, masas
- Modelos de Acústica: Helmholtz, Eq de onda, ondas en aire
- Electromagnetismo: Electrostática, conducción de corrientes, Campos magnéticos en 3D, Circuitos, ondas EM, Inducción magnética, Poisson-Boltzmann

Solvers

Lista completa de módulos

- Ecuación del Calor
- Ecuaciones de Navier-Stokes
- Ecuación de Advección-Difusión
- Ecuación de Advección-Reacción
- Ecuación de Reynolds para Flujo de Película Delgada
- Elasticidad Lineal
- Elasticidad Finita
- Ecuaciones de Cascarón de la Elasticidad Clásica
- Ecuaciones de Placa de la Elasticidad Lineal
- Ecuaciones Unidimensionales para Vigas Elásticas
- Añadir Resortes y Masas Puntuales
- El Modelo de Helmholtz
- Ecuaciones de Navier-Stokes Linealizadas en el Dominio de la Frecuencia
- Ecuación de Onda
- Movimiento Ondulatorio de Gran Amplitud en el Aire
- Electroestática
- Conducción de Corriente Estática
- Cálculo de Campos Magnéticos en 3D
- Solucionador de Circuitos y Dinámicas
- Helmholtz Vectorial para Ondas Electromagnéticas
- Ondas Electromagnéticas
- Cálculo de Campos Magnéticos en 2D
- Ecuación de Inducción Magnética
- Electroestática de Dimensión Reducida
- Ecuación de Poisson-Boltzmann
- Estimación de Pérdidas Usando la Serie de Fourier
- Solucionador de Corriente de Bobina
- Electrocinética

Solvers

Lista completa de módulos

- Solucionador de Corriente de Bobina
- Electrocinética
- Aproximación Mixta de la Ecuación de Poisson
- Precondicionamiento por Bloques para las Ecuaciones de Navier-Stokes en Estado Estacionario
- Forma Rotacional de las Ecuaciones de Navier-Stokes Incompresibles
- Método de Nivel-Set
- Ecuación Cinemática de Superficie Libre con Limitadores
- Superficie Libre con Flujo Constante
- Solucionador de Cambio de Fase Transitorio
- Solucionador de Cambio de Fase en Estado Estacionario
- Dinámica de Partículas

Solvers

Formulación Fuerte y Débil

- Fuerte: ED que describe el comportamiento del sistema, expresa directamente las leyes físicas que gobiernan el comportamiento del sistema en términos de desplazamientos, velocidades, estreses, etc.
 - Requiere exclusivamente de soluciones suaves
 - Satisfechas puntualmente en todo el dominio

Solvers

Formulación Fuerte y Débil

- Débil : Representación alternativa de la fuerte, se obtiene por medio de multiplicar la forma fuerte por una función peso e integrando a lo largo del dominio del problema, llevando a ecuaciones integrales en lugar de diferenciales
 - “Relaja” requerimiento de continuidad y permite soluciones continuas por partes
 - Permite el uso de espacios discretos, lo que es conveniente en métodos numéricos para FEM

Solvers

Ecuación de Calor

$$\partial_t T = \nabla \cdot (k \nabla T)$$

Dominio de Interés: $\mathbf{x} \in \Omega$ con Frontera Γ

Función de prueba: $v(\mathbf{x})$ con $v(\mathbf{x}) = 0$ en Γ

Función Solución: $T(\mathbf{x}, t) | \mathbf{x} \in \Omega, t > 0$ Con $\partial_n T = 0$ en Γ

Solvers

Ecuación de Calor

2do termino con integración por partes

$$\partial_t T v = \nabla \cdot (k \nabla T) v$$
$$\int_{\Omega} \partial_t T v = \int_{\Omega} \nabla \cdot (k \nabla T) v$$

$$\int_{\Omega} \nabla \cdot (k \nabla T) v d\omega = \int_{\Omega} \nabla \cdot [v(k \nabla T)] d\omega + \int_{\Omega} (\nabla v) \cdot (k \nabla T) d\omega$$

En primer termino RHS se puede aplicar teorema de green con tal de llevarlo a una integral de superficie, la cual da cero

$$\int_{\omega} \nabla \cdot [v(k \nabla T)] d\omega = \int_{\Gamma} k v \partial_n T d\gamma = 0$$

Solvers

Así, el término queda solamente:

$$\int_{\Omega} \nabla \cdot (k \nabla T) v d\omega = \int_{\Omega} (\nabla v) \cdot (k \nabla T) d\omega$$

Y expresando la derivada temporal como $\partial_t T = (T - T^n)/\Delta t$ donde T, T^n son valores de Temperatura a lo largo de pasos temporales.

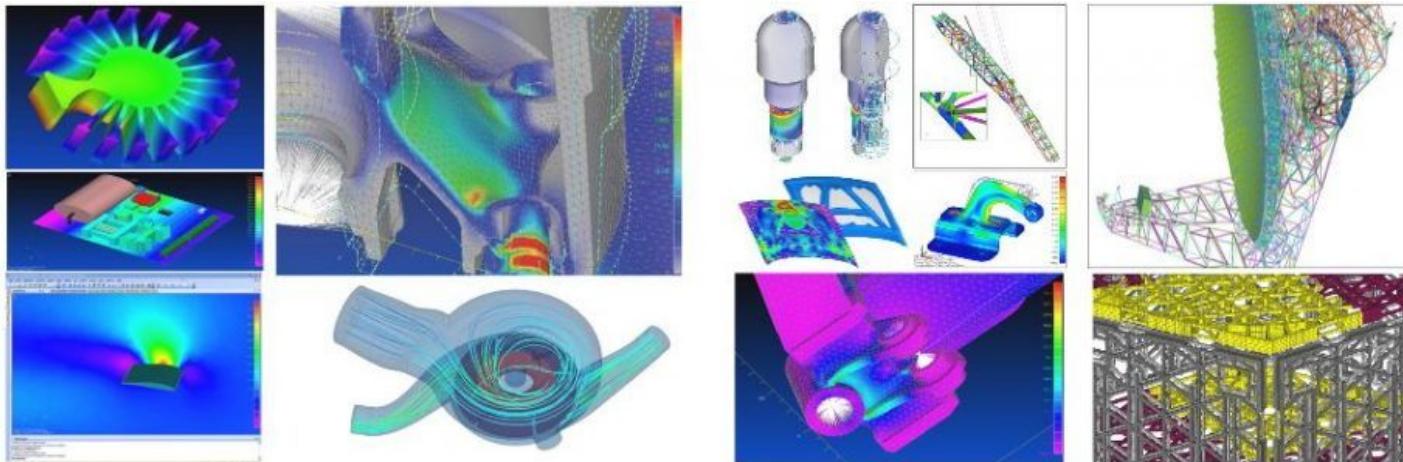
Queda:

$$\int_{\Omega} \frac{T - T^n}{\Delta t} v d\omega = - \int k \nabla T \cdot \nabla v d\omega$$

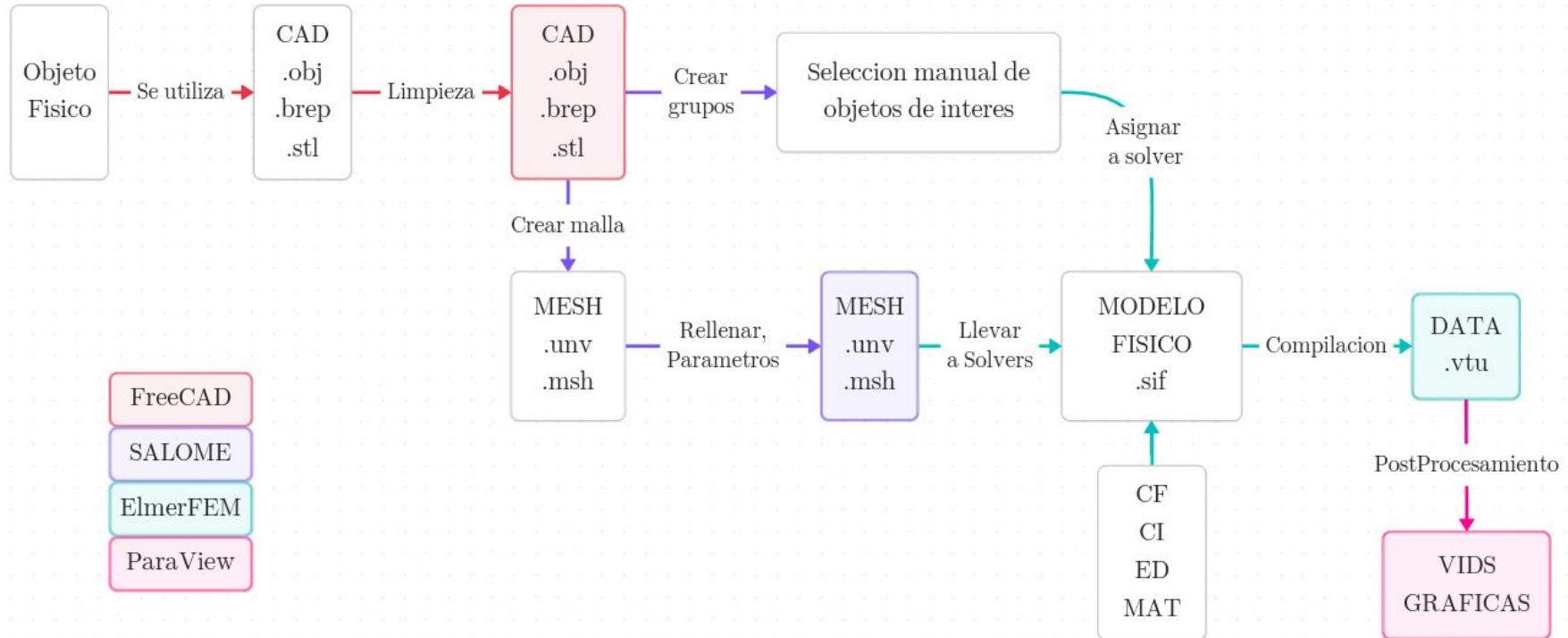
Reordenando

$$\int_{\Omega} T v d\omega + \int_{\Omega} \Delta t k \nabla T \cdot \nabla v d\omega = \int_{\Omega} T^n v d\omega$$

5. Pruebas Y Aplicaciones

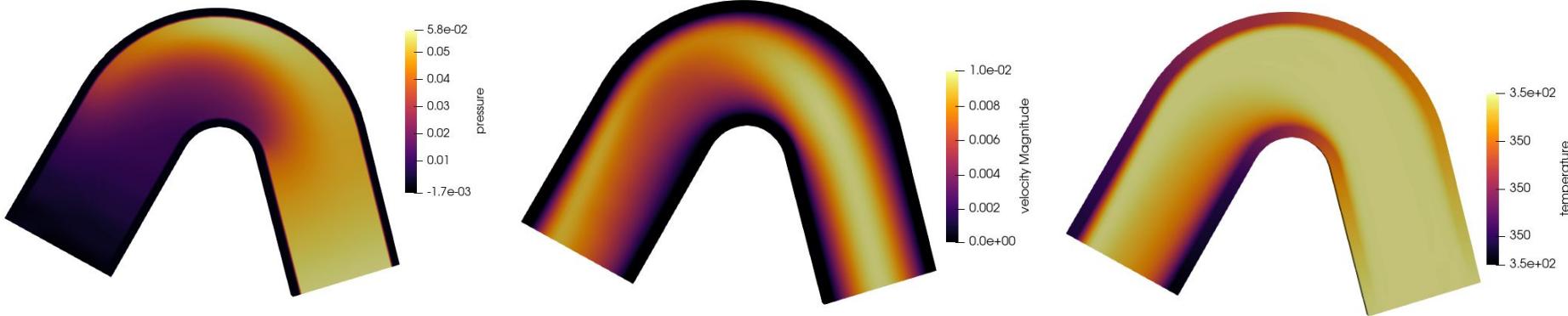


Flujo de Trabajo



Pequeñas Aplicaciones

Transporte fluido a través de una tubería (Navier Stokes, Heat Diffusion)

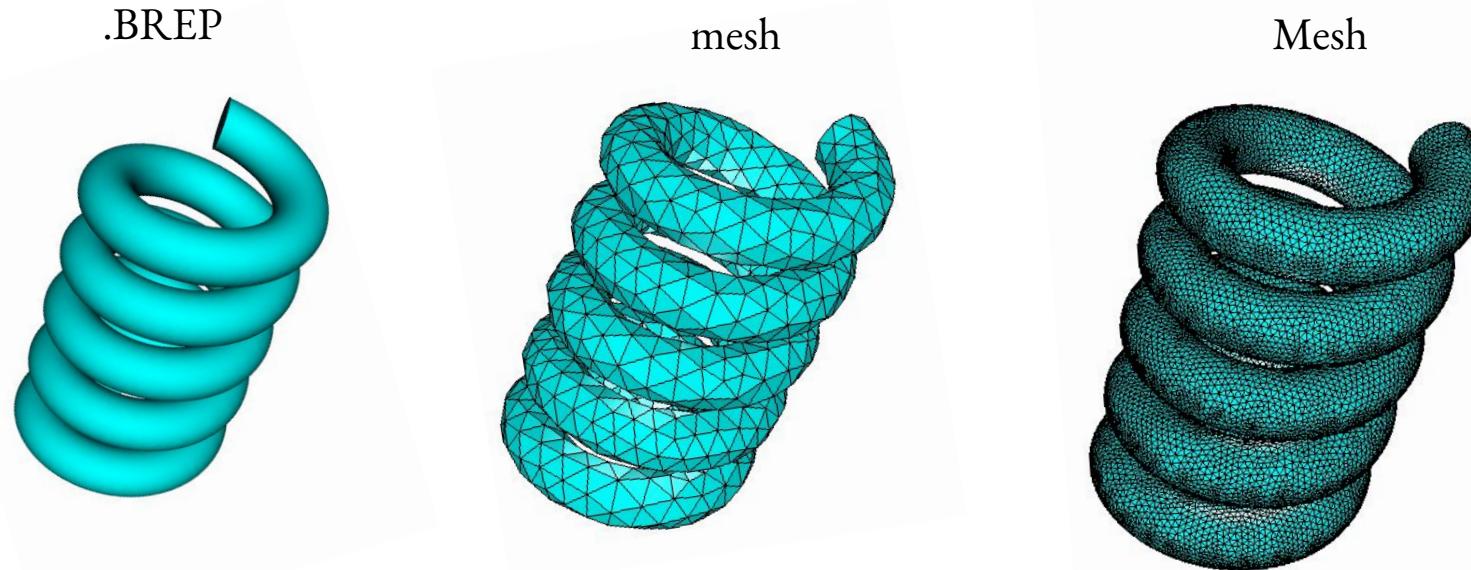


Algunos Tests

Transferencia de calor entre dos bloques (Heat Diffusion)



Difusión térmica en resorte (ElmerGUI)



Difusión térmica en resorte (ElmerGUI)

Parámetros Simulación: Archivo .sif

```
Simulation
  Max Output Level = 5
  Coordinate System = Cartesian
  Coordinate Mapping(3) = 1 2 3
  Simulation Type = Transient
  Steady State Max Iterations = 1
  Output Intervals(1) = 1
  Timestep intervals(1) = 1000
  Timestep Sizes(1) = 10
  Timestepping Method = BDF
  BDF Order = 1
  Solver Input File = case.sif
  Post File = case.vtu
End
```

Difusión térmica en resorte (ElmerGUI)

Constants

Gravity(4) = 0 -1 0 9.82

Stefan Boltzmann = 5.670374419e-08

Permittivity of Vacuum = 8.85418781e-12

Permeability of Vacuum = 1.25663706e-6

Boltzmann Constant = 1.380649e-23

Unit Charge = 1.6021766e-19

End

Difusión térmica en resorte (ElmerGUI)

```
Body 1
  Target Bodies(1) = 1
  Name = "Body 1"
  Equation = 1
  Material = 1
  Initial condition = 1
End
```

Difusión térmica en resorte (ElmerGUI)

```
Solver 1
  Equation = Heat Equation
  Variable = Temperature
  Procedure = "HeatSolve" "HeatSolver"
  Exec Solver = Always
  Stabilize = True
  Optimize Bandwidth = True
  Steady State Convergence Tolerance = 1.0e-5
  Nonlinear System Convergence Tolerance = 1.0e-7
  Nonlinear System Max Iterations = 20
  Nonlinear System Newton After Iterations = 3
  Nonlinear System Newton After Tolerance = 1.0e-3
  Nonlinear System Relaxation Factor = 1
  Linear System Solver = Iterative
  Linear System Iterative Method = BiCGStab
  Linear System Max Iterations = 500
  Linear System Convergence Tolerance = 1.0e-10
  BiCGStabl polynomial degree = 2
  Linear System Preconditioning = ILU0
  Linear System ILUT Tolerance = 1.0e-3
  Linear System Abort Not Converged = False
  Linear System Residual Output = 10
  Linear System Precondition Recompute = 1
End
```

Difusión térmica en resorte (ElmerGUI)

Equation 1

```
Name = "Equation 1"  
Active Solvers(1) = 1  
End
```

Material 1

```
Name = "Aluminium (generic)"  
Heat expansion Coefficient = 23.1e-6  
Sound speed = 5000.0  
Poisson ratio = 0.35  
Youngs modulus = 70.0e9  
Density = 2700.0  
Heat Conductivity = 237.0  
Heat Capacity = 897.0
```

End

Initial Condition 1

```
Name = "InitialCondition 1"  
Temperature = 273
```

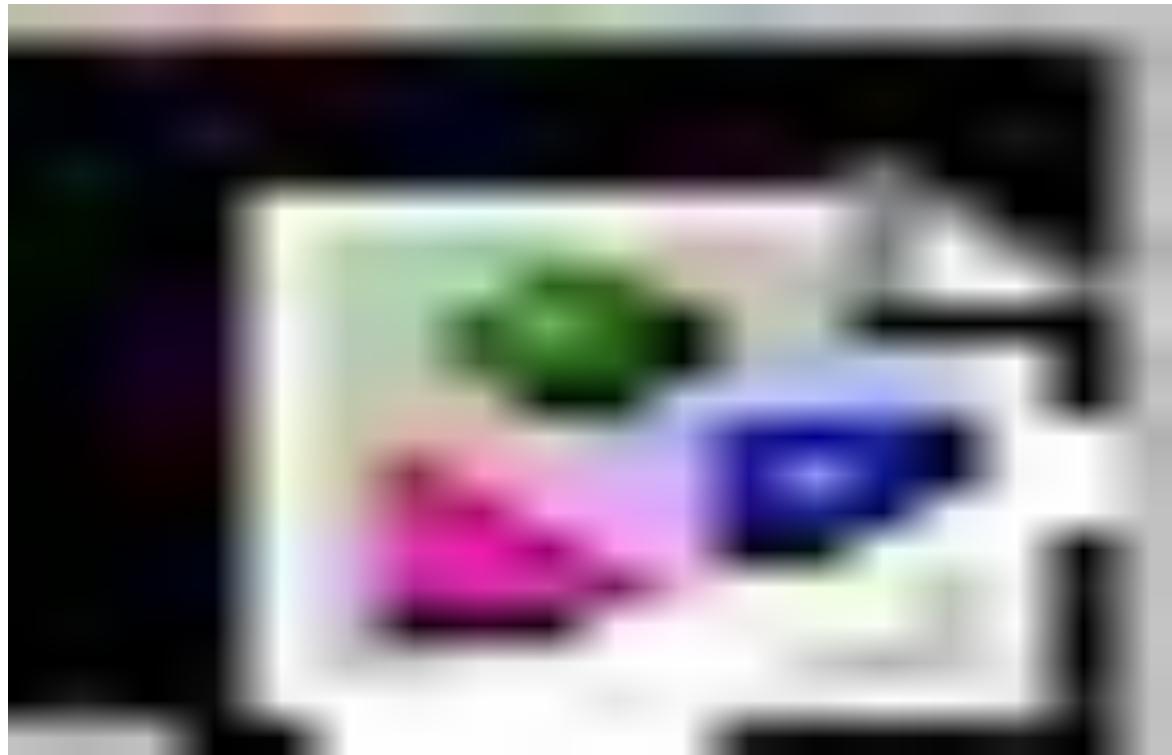
End

Difusión térmica en resorte (ElmerGUI)

```
Boundary Condition 1
  Target Boundaries(1) = 2
  Name = "BoundaryCondition 1"
  Temperature = 1000
End

Boundary Condition 2
  Target Boundaries(1) = 3
  Name = "BoundaryCondition 2"
  Temperature = 300
End
```

ElmerGUI



Aerodinámica de un objeto

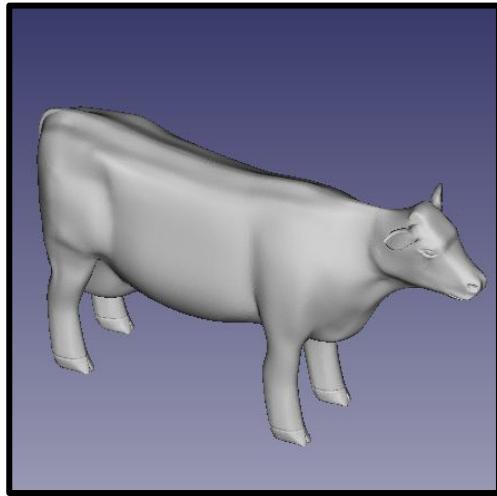
Para modelar la aerodinámica de un objeto se requiere tener una geometría definiendo el espacio con un “Hueco” dentro, siendo este el objeto a modelar.

De esta manera se le asigna el material de “aire” al volumen, tomando el hueco como una superficie. Usando Navier Stokes entonces:

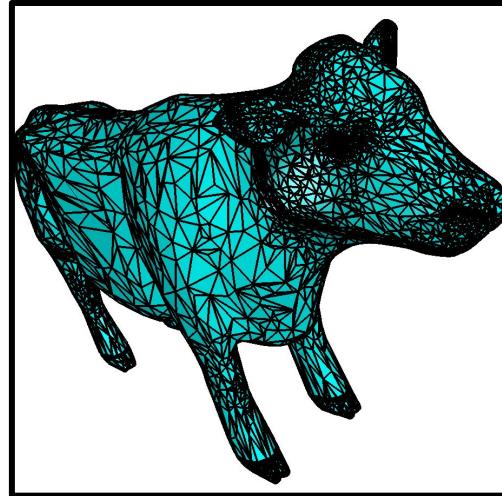
Se asignan flujos entrantes y salientes en las respectivas caras junto con las restantes condiciones de frontera

Aerodinámica de ...

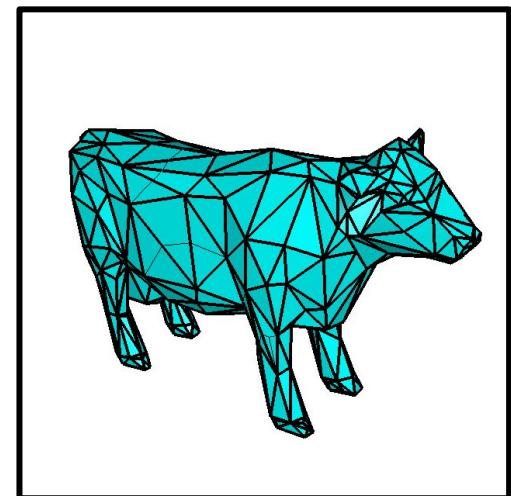
.obj –>.brep



.brep -> .unv

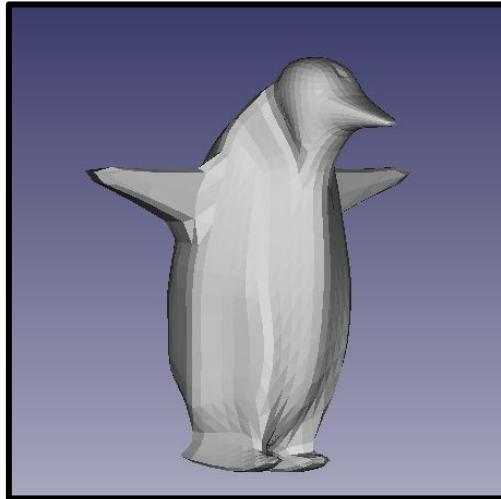


.brep -> .unv

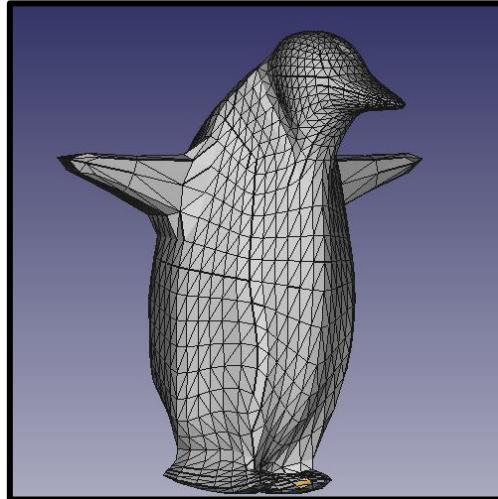


Aerodinámica de un pingüino

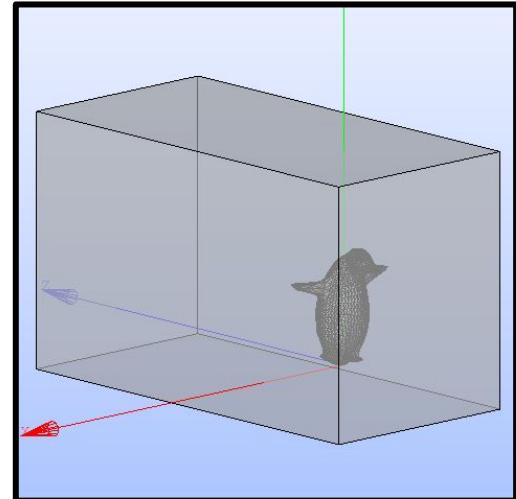
.obj



.step

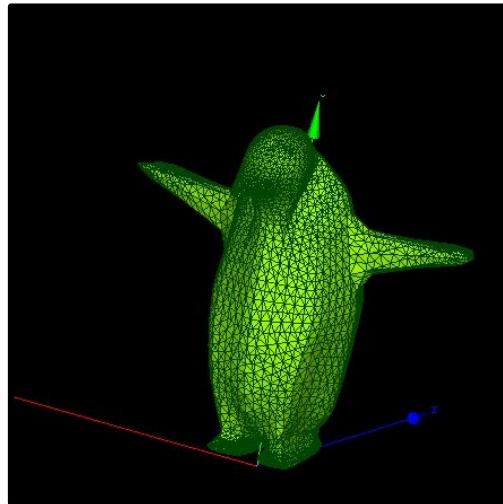


.step

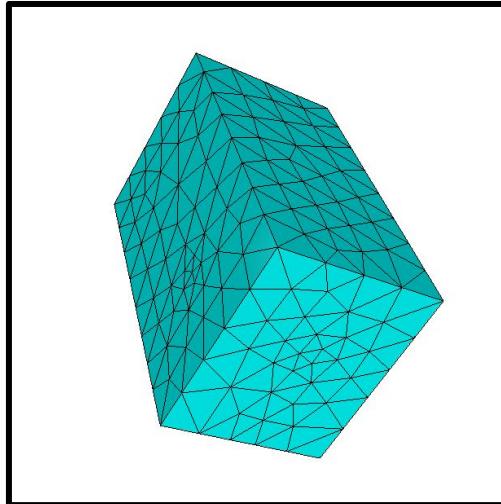


Aerodinámica de un pingüino

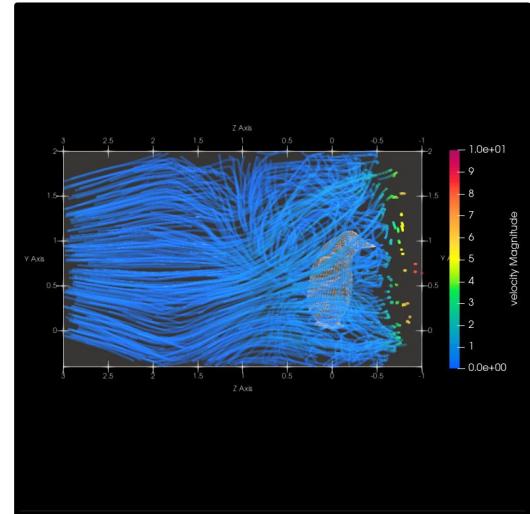
.unv



.unv



.vtu



Aerodinámica de un pingüino

