

Enfriamiento por Medio de Diferentes Metales Líquidos para la Disipación de Calor de una Tarjeta Gráfica

Manual

Víctor Manuel Hernández Montecillo¹, Yakelin Hernández García², Alan Cerroblanco Ortiz³, Francisco Uriel Duarte Rostro⁴, Leonardo Sáinz García⁵, Esaú Hernández Carlos⁶, J. Luis Luviano Ortiz⁷.

I. Resumen

El creciente desarrollo de dispositivos electrónicos cada vez más potentes y pequeños han traído consigo una importante preocupación por la disipación del calor que estos generan. En el presente manual se proponen novedosas formas de mitigación de esa energía con nuevos fluidos de trabajo analizando la transferencia de calor en un sistema de enfriamiento líquido tipo waterblock para la GPU (Graphics Processing Unit, por sus siglas en inglés) PALIT GTX 1050 Ti enfocándose en parámetros como temperatura, caída de presión, resistencia térmica, entre otras. Este manual tiene como objetivo mostrar paso a paso las operaciones que se tienen que seguir, desde el modelado de la geometría propuesta hasta el análisis de los resultados, con el propósito que el usuario pueda realizar mejoras continuas a este proyecto.

II. Instalación de los Paquetes de Softwares

Para empezar, se deben instalar tres softwares en el ordenador los cuales de detallan a continuación

- **SolidWorks**

Se trata de un programa CAD (Computer Aided Design, por sus siglas en inglés) el cual sirve para modelar la geometría del disipador de calor pudiendo hacer modificaciones y mejorando el diseño del sistema. Se recomienda que la versión a instalar sea reciente (2018 a la fecha).

- **ANSYS**

Es una suite de softwares orientados a la simulación de diferentes tipos de sistemas, por ejemplo, sistemas mecánicos, eléctricos, electrónicos, entre otros. Para objetivo de este trabajo, utilizaremos ANSYS DesignModeler, ANSYS Mesh, ANSYS Fluent y ANSYS Results. Todos estos se encuentran dentro del paquete de ANSYS Workbench que se instala por default al instalar ANSYS. En las secciones subsecuentes se muestran los detalles. Se recomienda que la versión a instalar sea reciente (2018 a la fecha).

- **Spyder**

Se trata de una interfaz de programación en Python que se utiliza, entre otras cosas, para graficar los resultados obtenidos en la simulación numérica y tener una buena interpretación de los resultados lo cual llevará a la toma de decisiones para la mejora de nuestro sistema. Se recomienda que la versión a instalar sea reciente (2018 a la fecha).

Para la instalación de estos programas se recomienda tener un ordenador con suficiente capacidad de cómputo ya que los programas lo demandan. Y finalmente para conseguir los instaladores se puede apoyar en tutoriales de YouTube donde se muestran diferentes formas de instalación con licencia educativa, aunque está limitada, es suficiente para cumplir los objetivos de este trabajo.

Una vez instalados los tres softwares que se utilizarán, se procede al desarrollo de nuestro trabajo indicando paso a paso los movimientos para su eficaz reproducción.

- **Modelado del Sistema de disipación en SolidWorks**

El primer paso de esta sección es crear el modelado u obtenerlo, para este caso, el modelo se encontró en internet ya que se trata de una geometría comercial, dicha geometría se muestra en la figura 1.

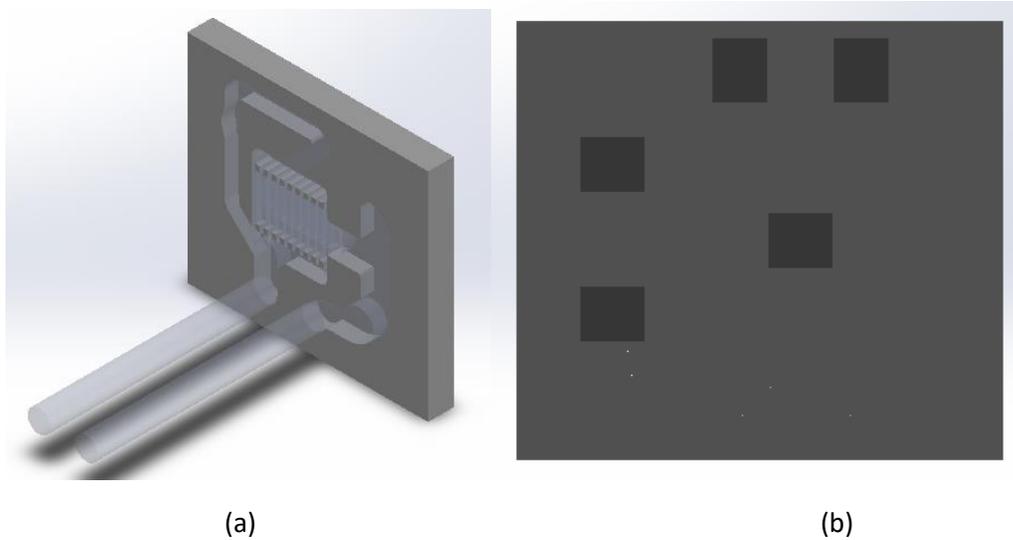
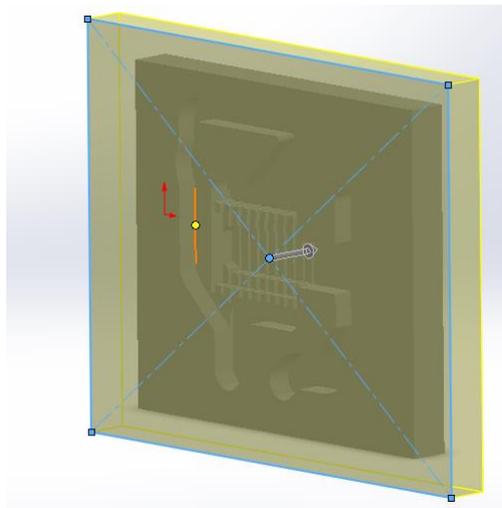


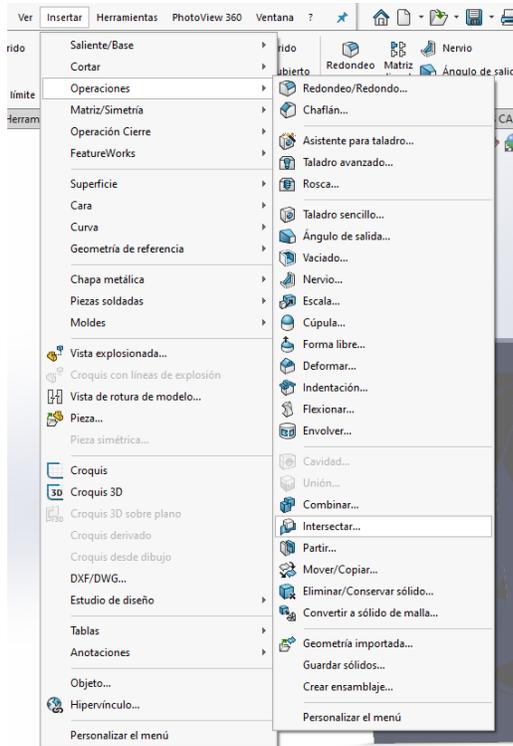
Figura 1. Sistema de disipación para la GPU, (a)vista simétrica, (b) vista trasera.

La primera operación es definir la geometría que formará al sólido y la que formará al fluido. En este caso, la geometría que se obtiene de internet sólo nos brinda la parte sólida, entonces, se procede a generar las partes del fluido. Esto se logra de la siguiente manera.

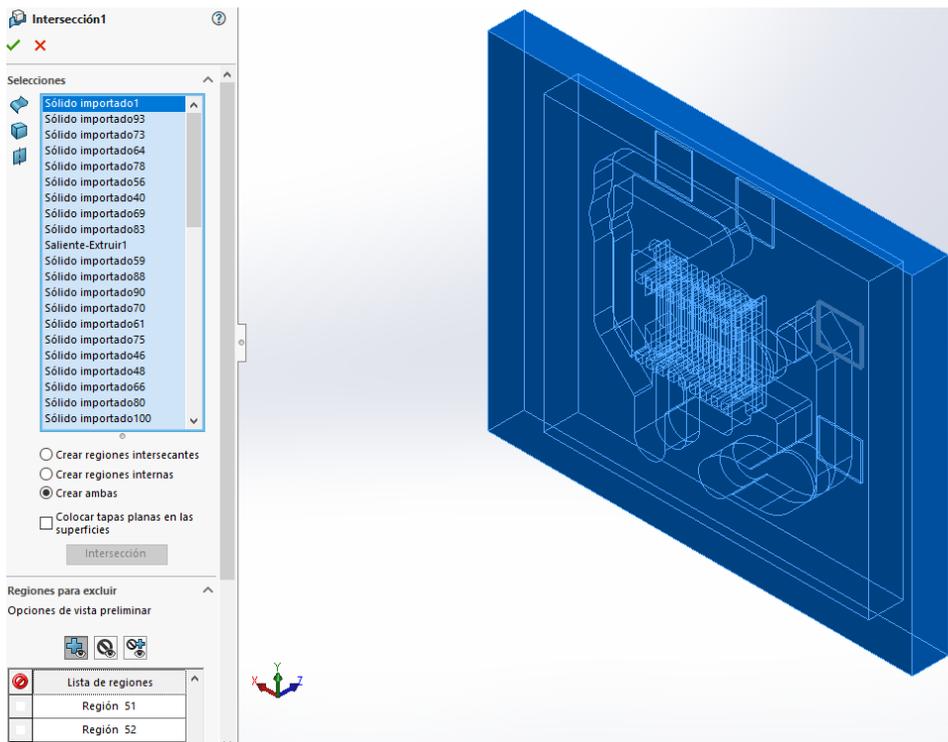
1. Primero se genera un sólido que envuelva a todo el sistema.

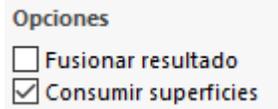


2. Después se utiliza una función llamada **Intersectar**.



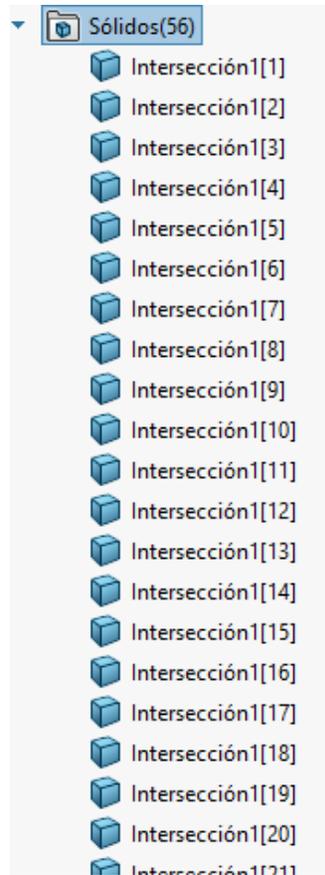
3. Después aparecerá un menú con las opciones. Se seleccionan todos los sólidos y las casillas que se muestran a continuación.



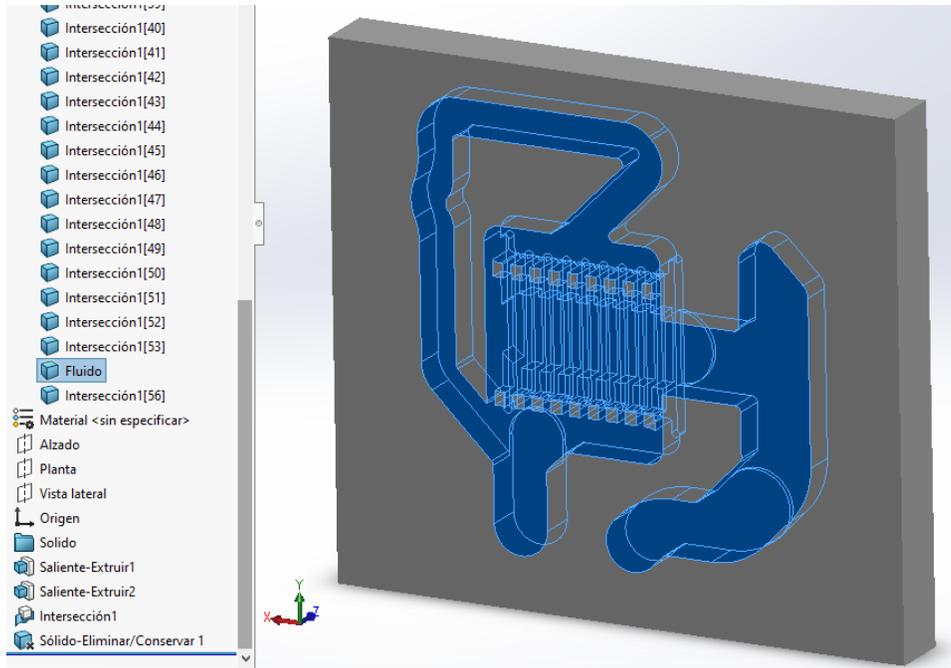


Para finalizar, dar clic en aceptar (palomita verde).

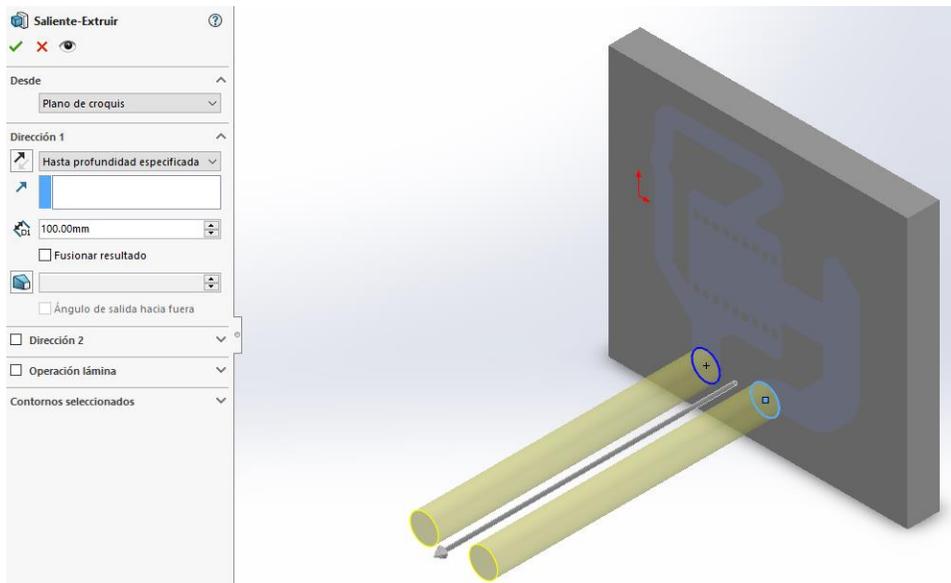
4. Se ubica en el árbol de operaciones y se eliminan los sólidos que no pertenezcan al sistema o que estén sobrando.



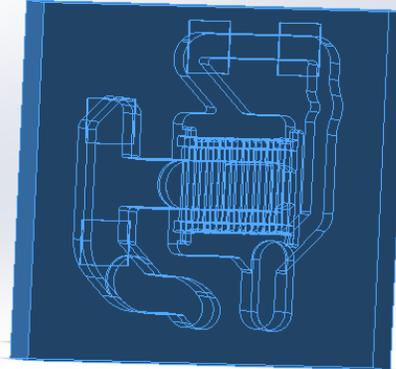
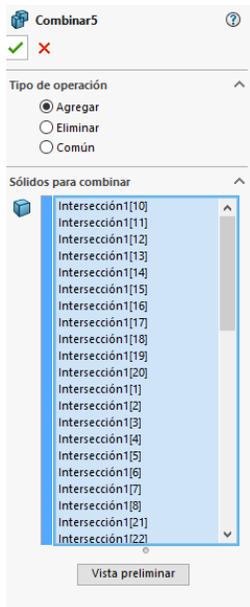
También se recomienda identificar la parte o intersección que pertenece al fluido, en este caso, se le colocó el nombre **Fluido**.



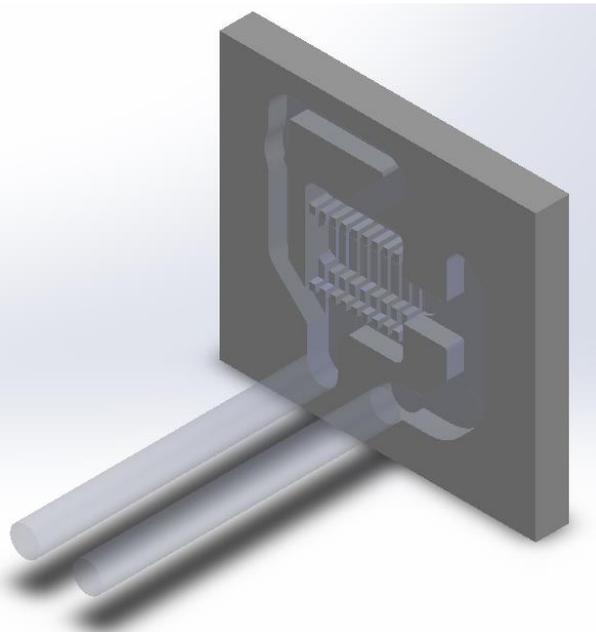
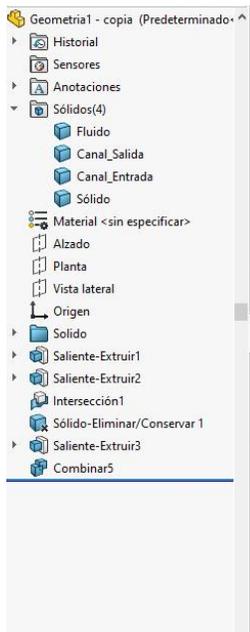
- Ahora se van a crear los canales de entrada y salida del disipador. Quedarían de la siguiente manera.



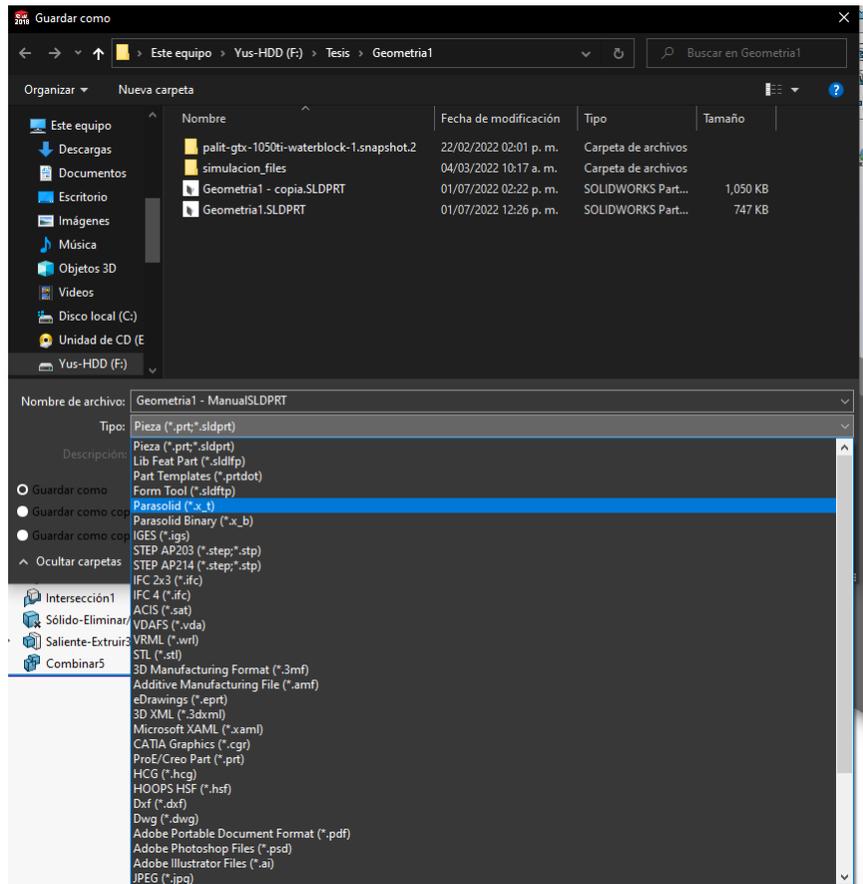
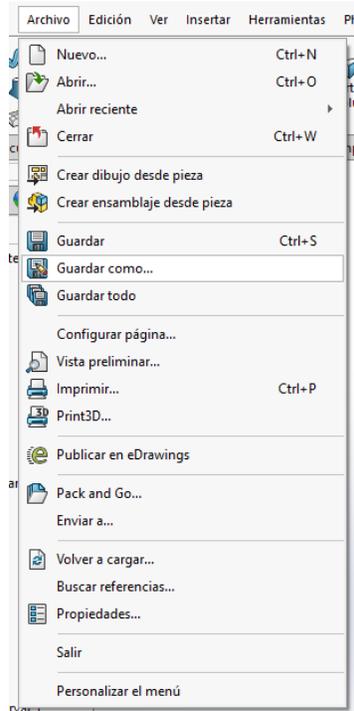
- Se juntan los sólidos en uno solo con la opción **Combinar** que se encuentra arriba de la opción **Insertar** y se seleccionan las partes que se desean unir como se muestra a continuación.



Se recomienda nombrar a las partes ya que se identifican con mayor facilidad. Finalmente se tiene el siguiente resultado.



7. Como último punto de esta sección, se exporta la geometría en formato **Parasolid (.x_t)** y se le coloca un nombre que podamos identificar.

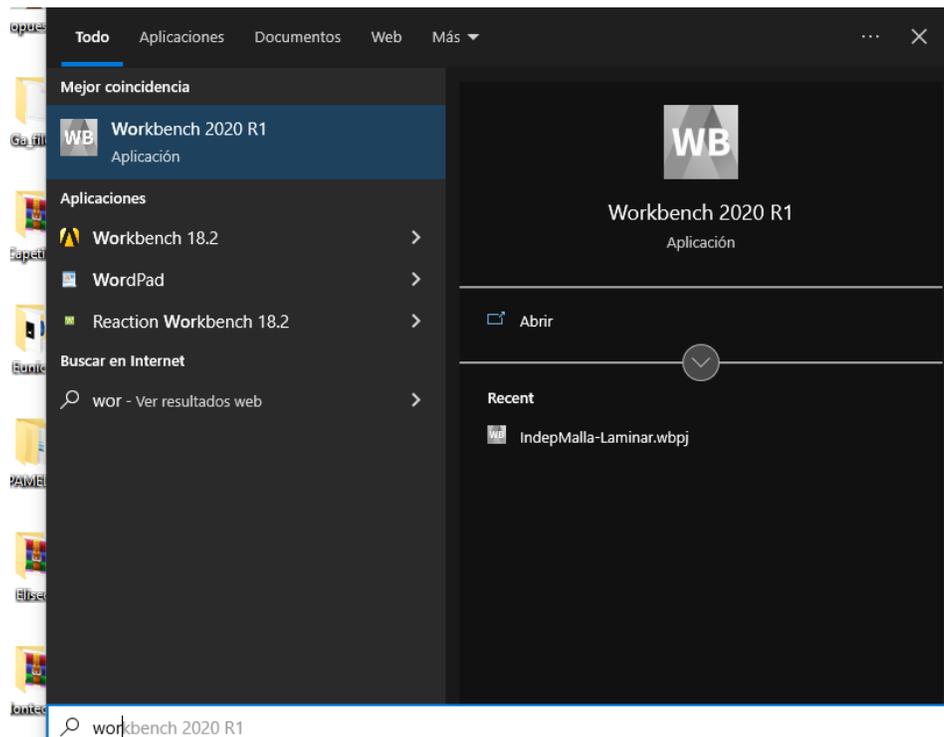


Se recomienda no colocar nombres con acentos ya que puede resultar perjudicial para la importación en la siguiente sección con ANSYS.

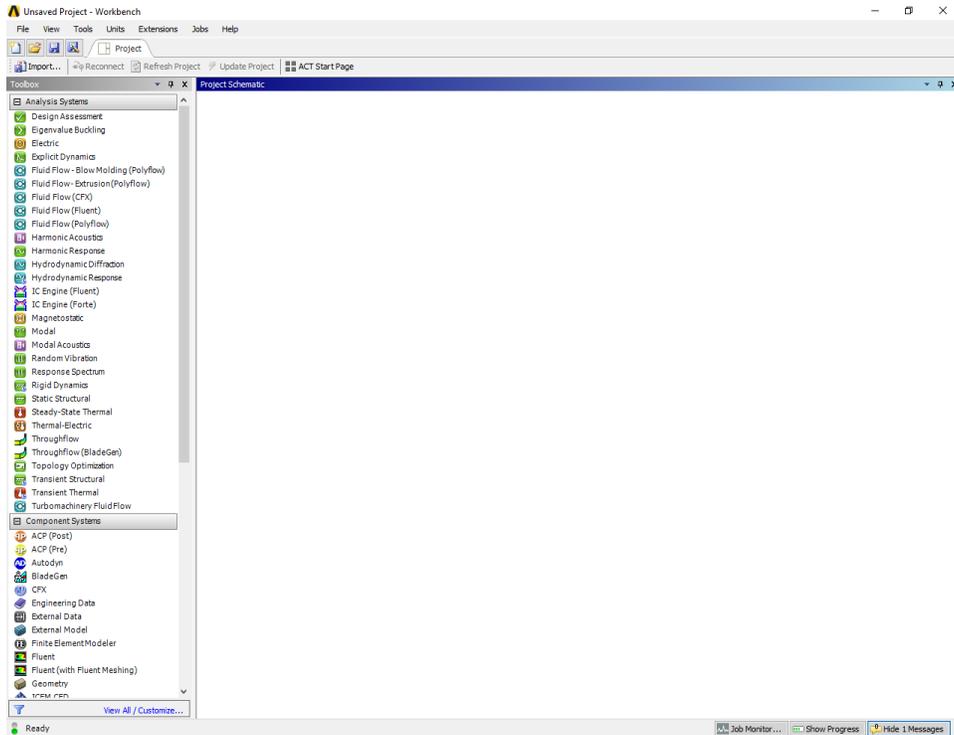
- **Importación de la geometría a ANSYS DesignModeler**

Para llevar a cabo este proceso es necesario seguir los siguientes pasos con minuciosidad de detalle ya que esta etapa se trata de la simulación numérica.

1. Abrir ANSYS Worckbench en el ordenador.

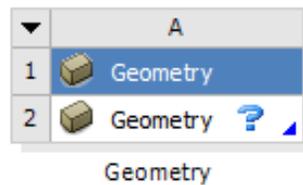
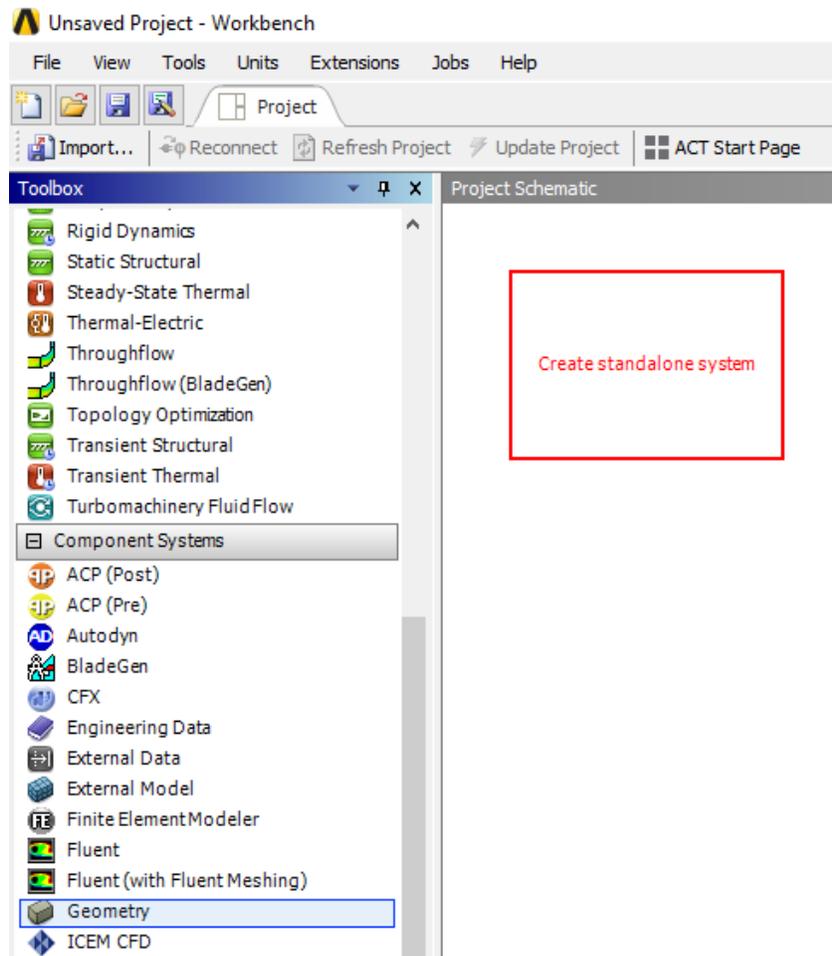


En seguida aparecerá un espacio de trabajo como se muestra a continuación.

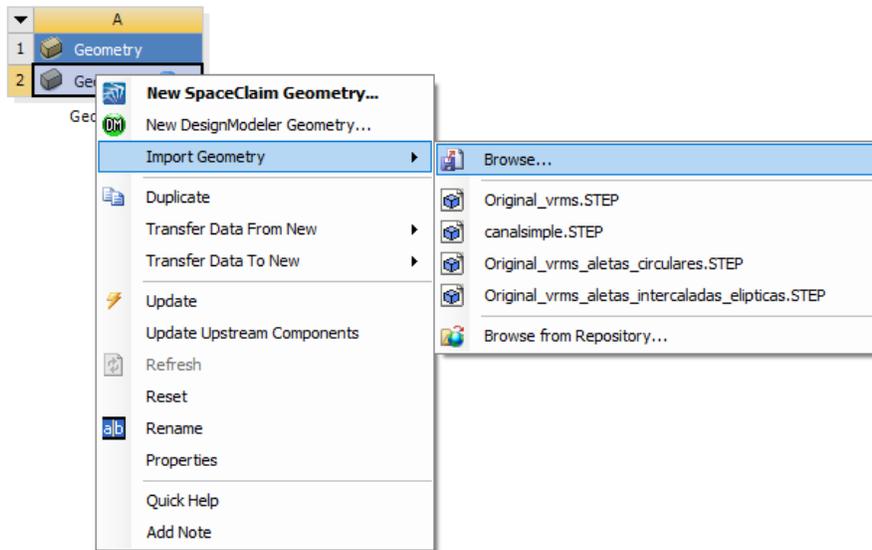


Como se muestra en la figura anterior, la barra lateral izquierda contiene todos sistemas de análisis que se pueden llevar a cabo tales como análisis eléctrico, electrónico, geométrico, fluidos, entre muchos más.

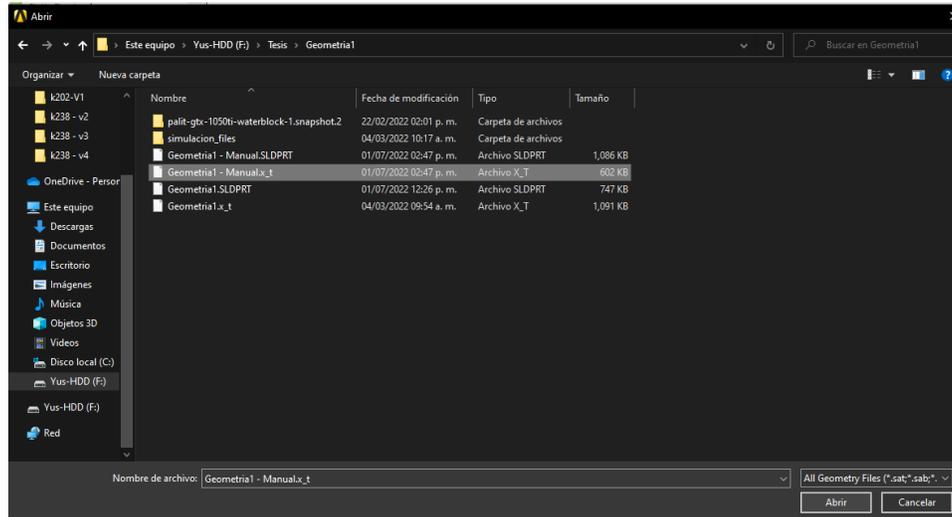
2. Para el presente estudio se utilizará el sistema **Geometry** para importar la geometría que se realizó previamente.



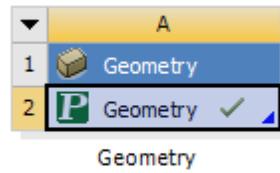
3. Una vez teniendo el bloque de geometría en el proyecto, se da clic derecho sobre **Geometry** y se selecciona **import geometry > browse**.



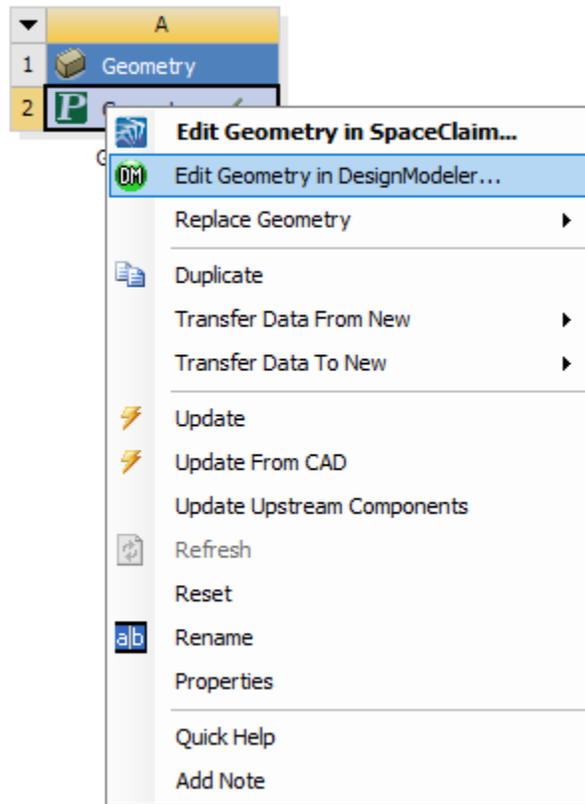
Abrirá una ventana para buscar la geometría en el directorio. Entonces, se busca la geometría y se selecciona.



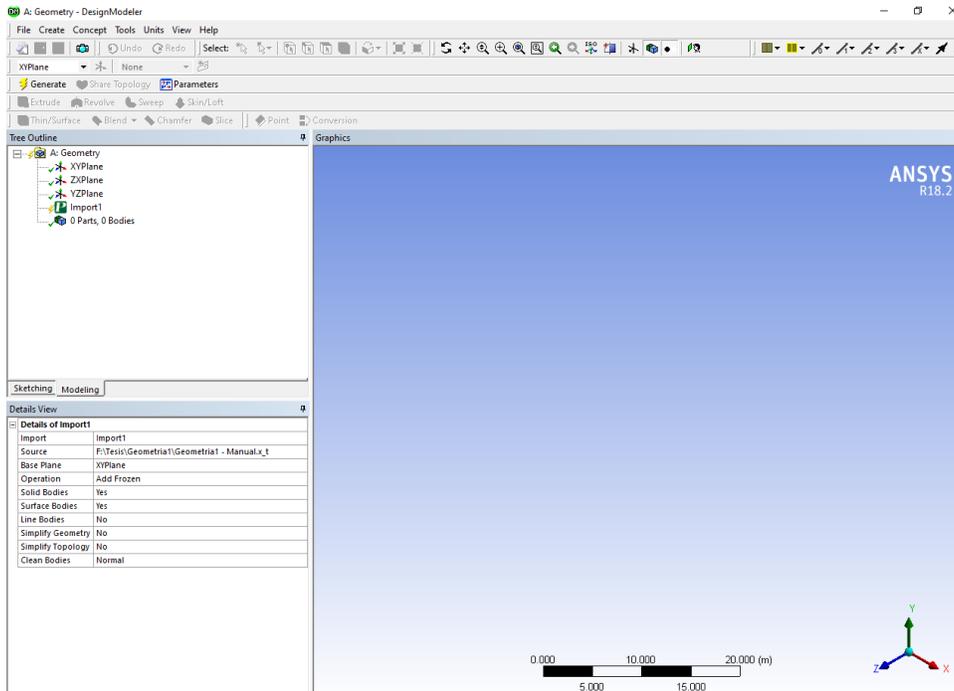
Al final quedará como la siguiente imagen.



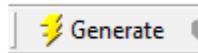
- Lo que sigue es abrir la geometría dando clic derecho sobre **Geometry** y seleccionar **Edit Geometry in DesignModeler**.



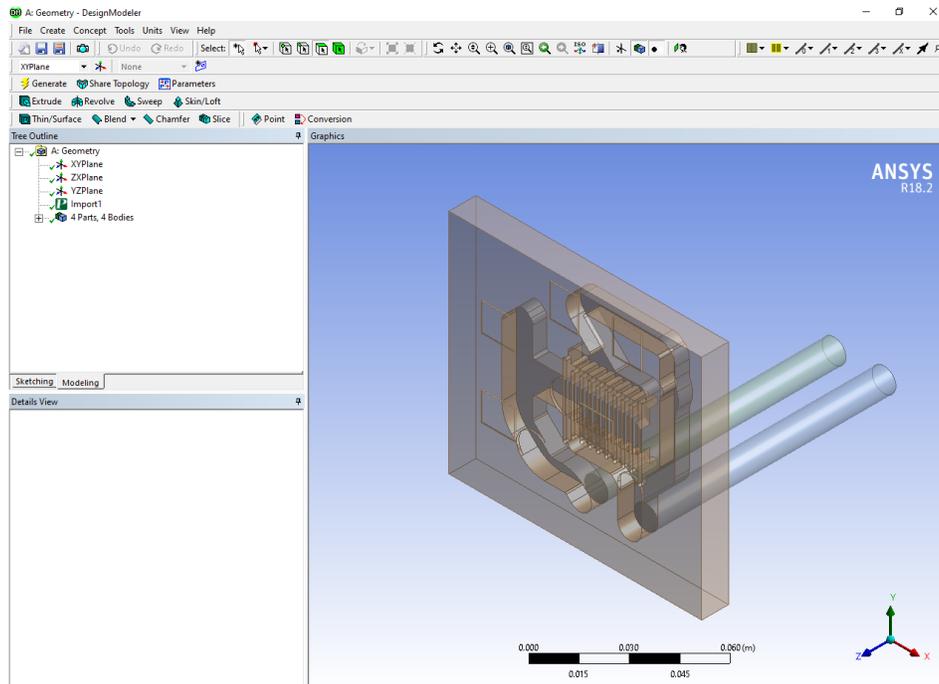
Aparecerá lo siguiente



Ahí se da clic izquierdo en **Generate**.

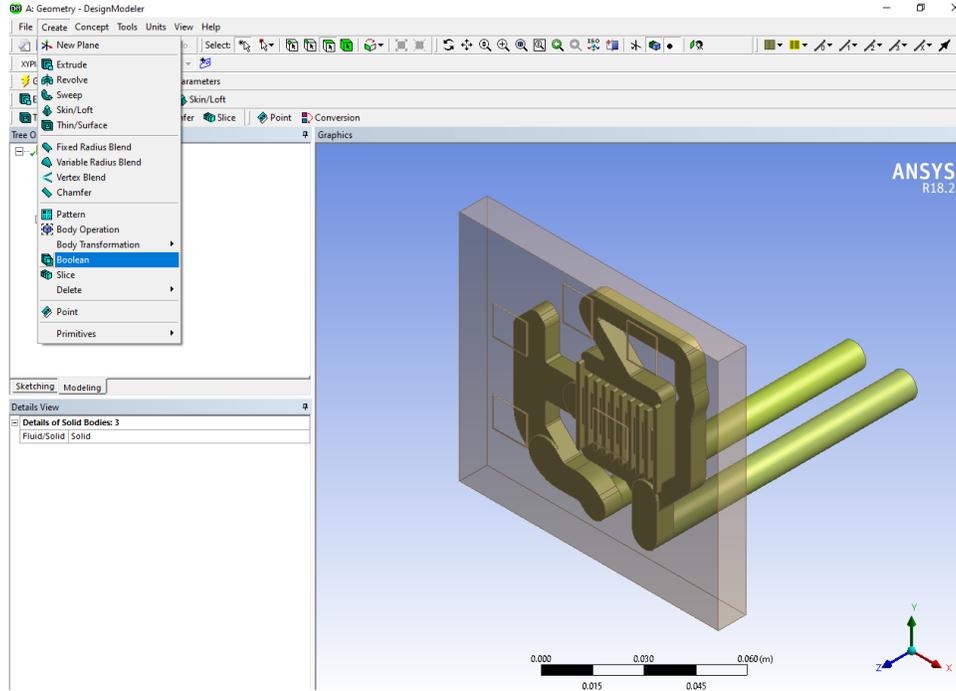


Una vez hecho este movimiento deberá aparecer la geometría importada.

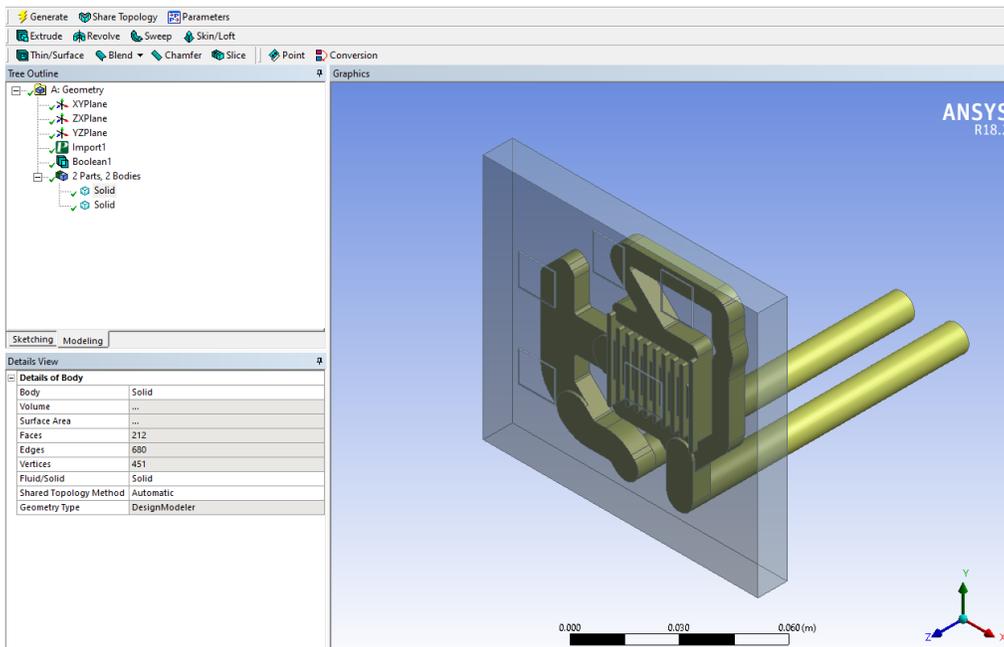


- El siguiente paso consiste en juntar o combinar en una sola parte lo que formaría todo el fluido y en otra parte lo que formaría el sólido.

Para este caso, se seleccionan las partes que componen al fluido y con la función **Boolean** se unen.

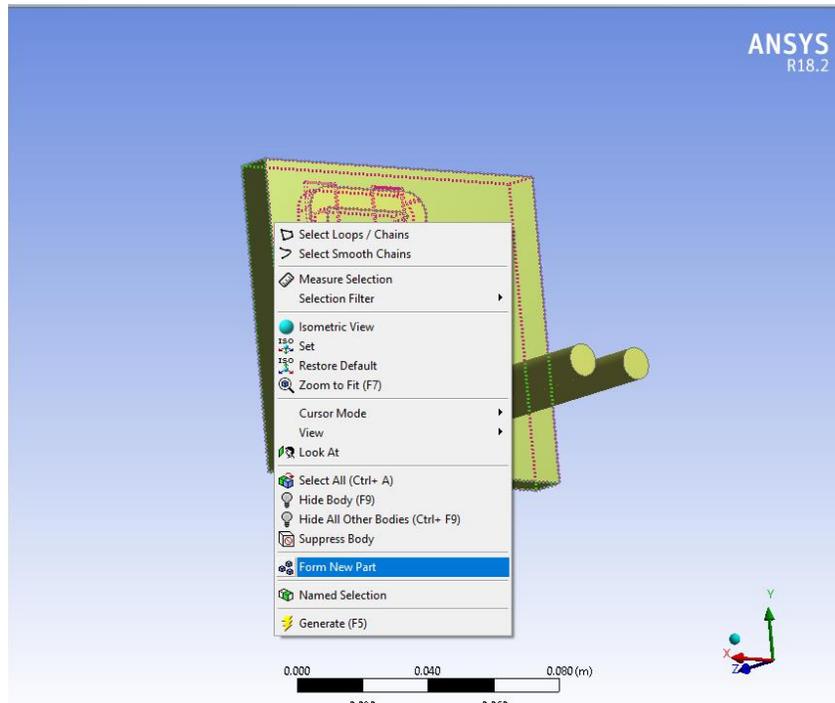


Y finalmente se da clic en **Apply** y en **Generate** para que queden de la siguiente manera.

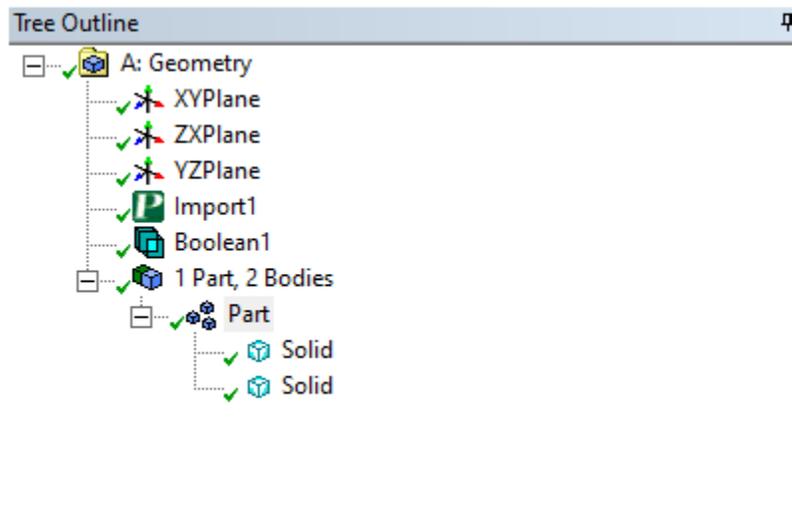


Como se puede observar solamente aparecen dos sólidos en el sistema y no cuatro como originalmente estaba. Se recomienda nombrar la parte sólida con el mismo nombre y la parte del fluido del mismo nombre para facilitar su identificación.

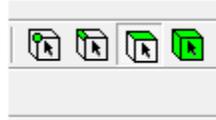
6. La siguiente operación es unir todas las partes en una sola, eso sería de la siguiente manera seleccionando todas las partes.



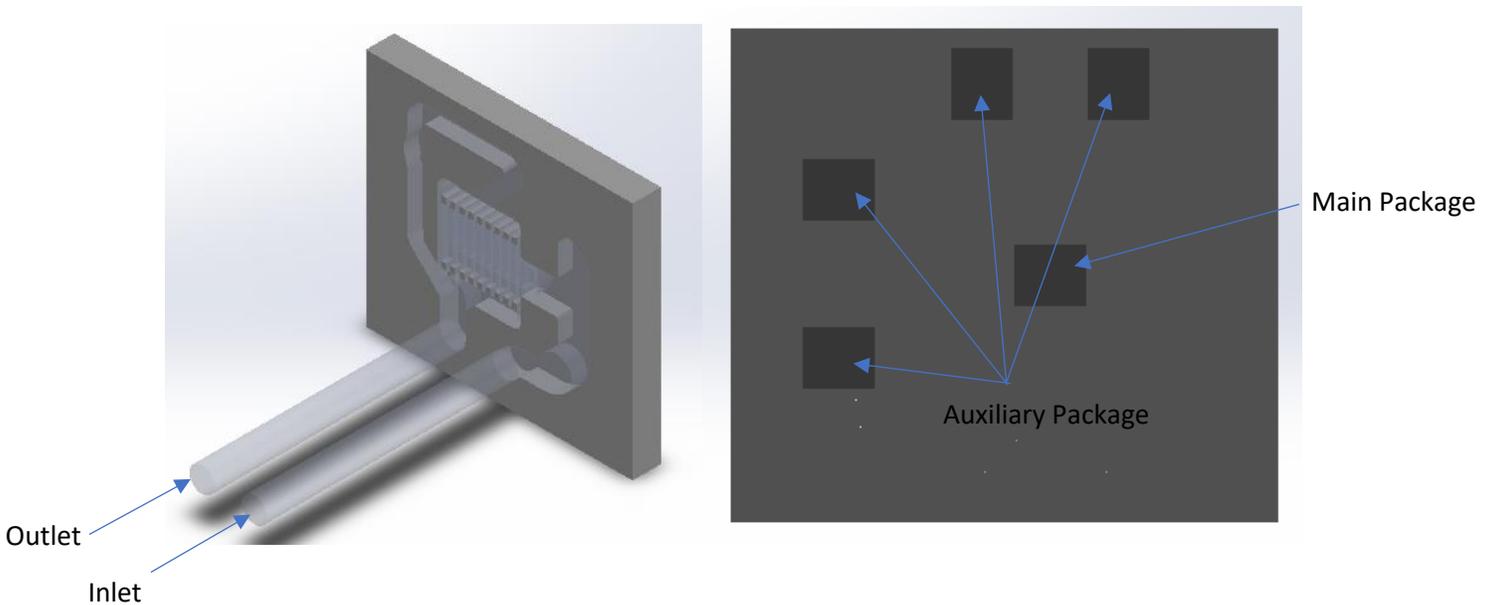
En el árbol de operaciones deberá de aparecer de la siguiente manera.



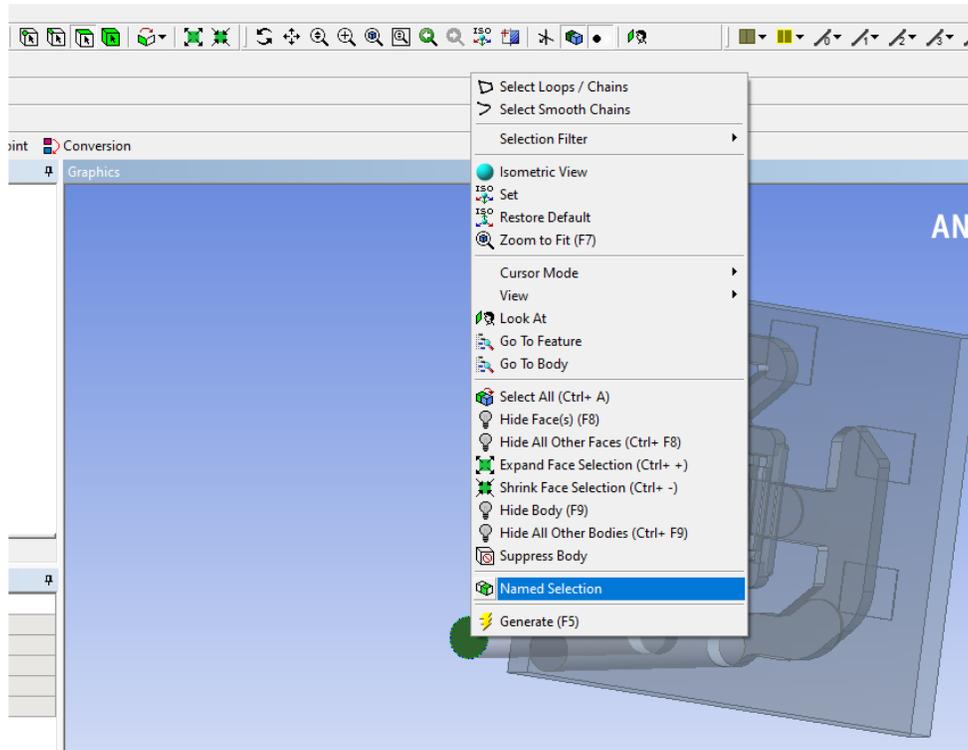
- Para finalizar con la parte geométrica, se debe nombrar la entrada y salida del sistema, así como las superficies en donde se encuentran los flujos de calor. Es importante tomar en cuenta la siguiente sección del programa ubicada en la barra superior para seleccionar vértices, aristas, caras y/o sólidos.



Los nombres de las secciones de cómo debe de quedar para este caso se presentan a continuación.



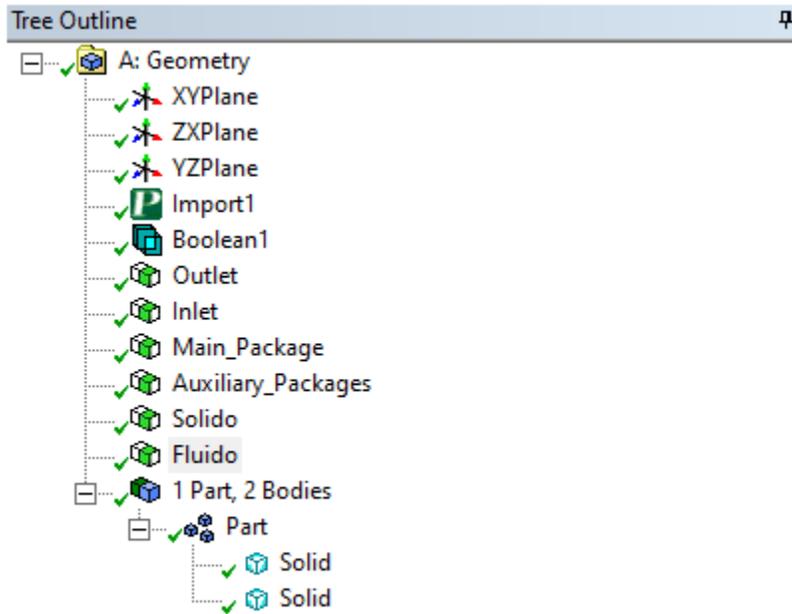
- Entrada y salida del sistema (caras)



Y después se da clic en **Apply** en la barra lateral.

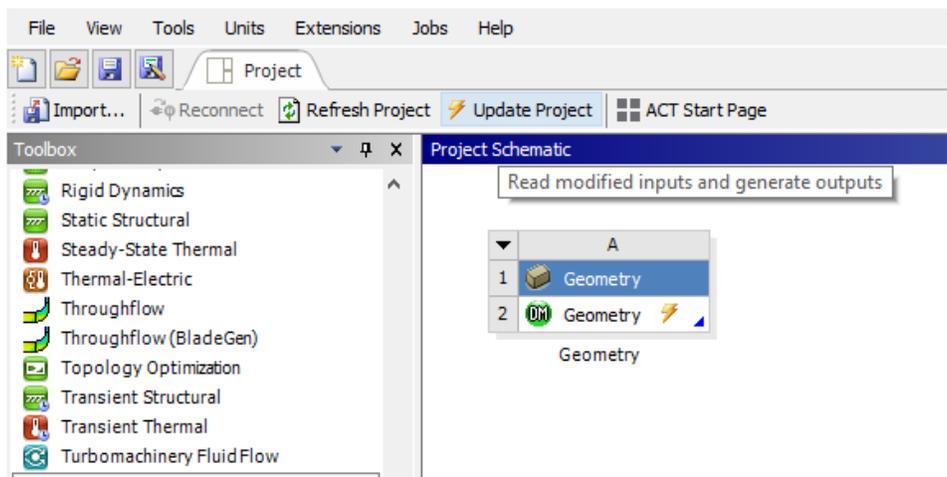
Details View	
Details of Auxiliary_Packages	
Named Selection	Auxiliary_Packages
Geometry	Apply Cancel
Propagate Selection	Yes
Export Selection	Yes
Include In Legend	Yes

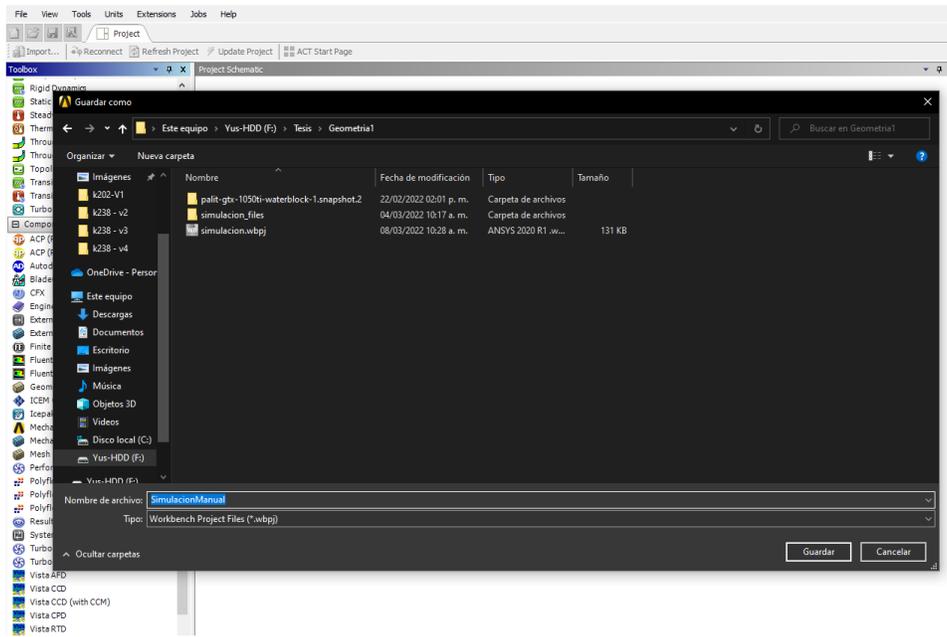
- De la misma manera para todos los demás. Al finalizar, queda como en la siguiente imagen en el árbol de operaciones.



Cabe señalar que Sólido y Fluido son volúmenes y Outlet, Inlet, Main Package y Auxiliary Package son superficies.

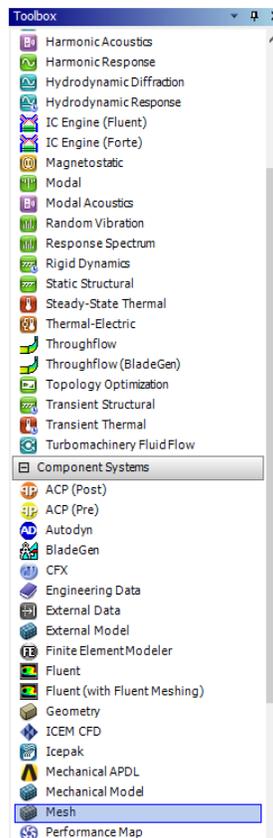
8. Una vez concluido este paso, se procede a dar clic izquierdo en **Update Project** en Worckbench y después en **guardar proyecto** con el nombre que deseemos.

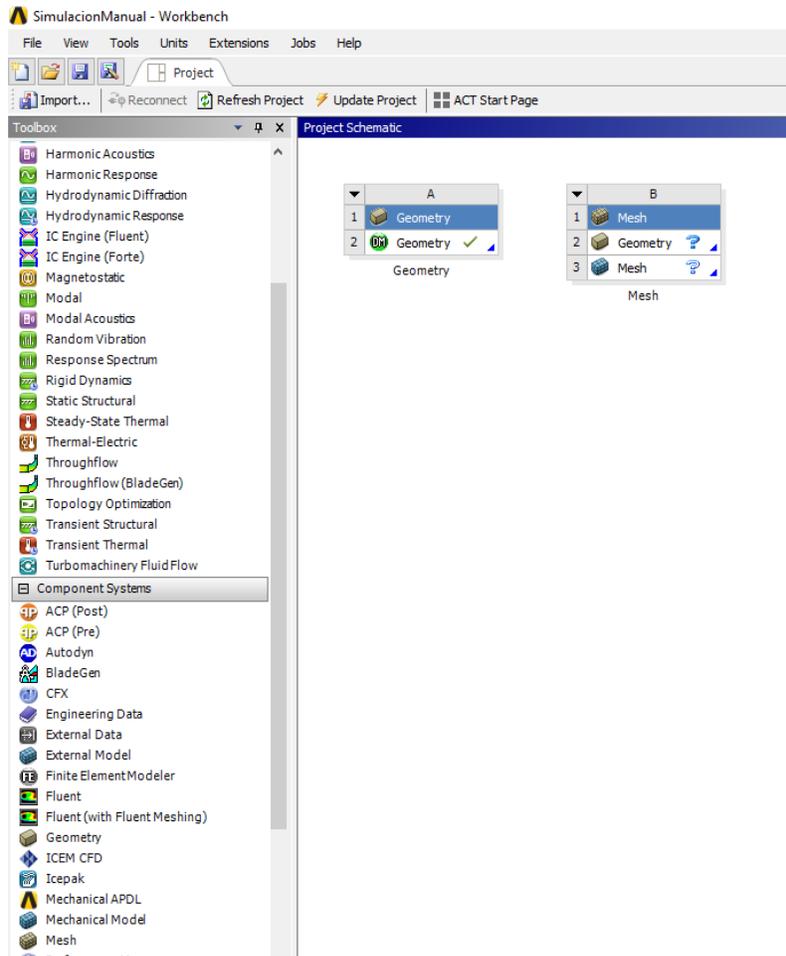




- **Importación de la geometría a ANSYS Mesh**

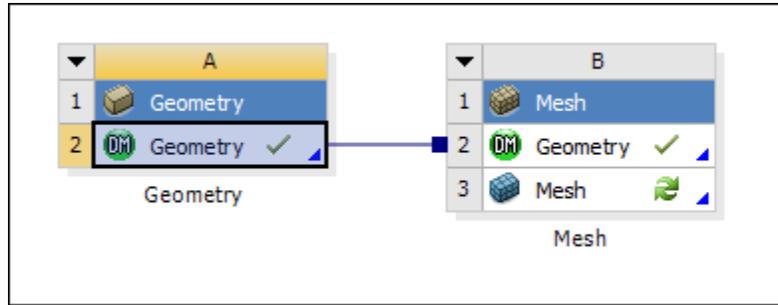
Para esta etapa, al igual que la anterior con DesignModeler se necesita arrastrar al espacio de trabajo de Workbench el módulo Mesh como se muestra a continuación.





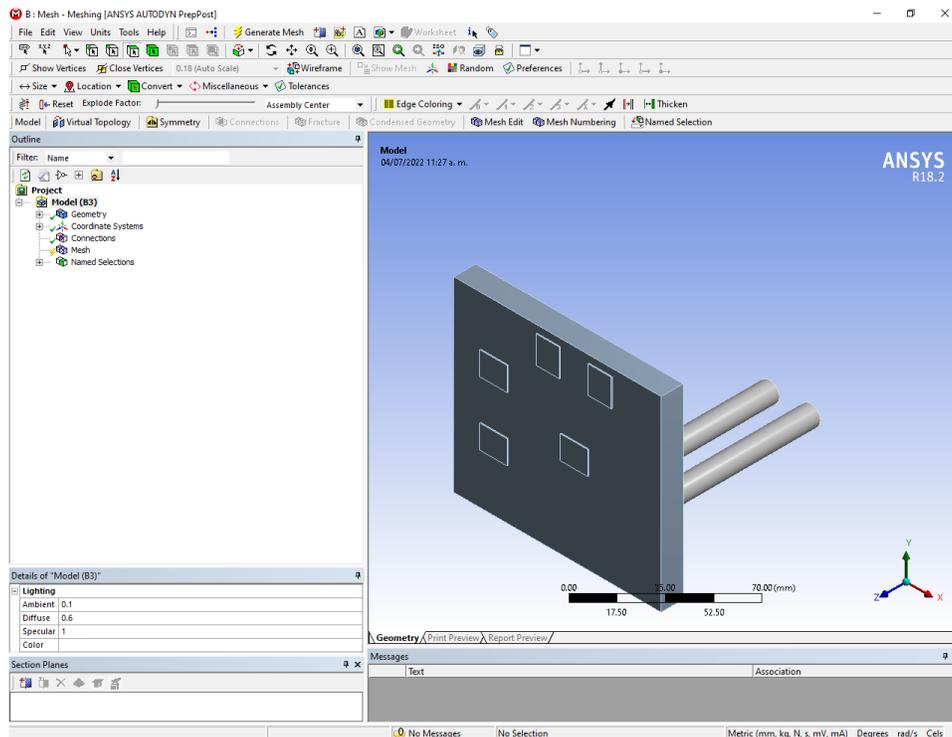
Posteriormente se enlaza la **Geometry** con **Mesh** dando clic izquierdo sin soltar en **Geometry** y arrastrando hacia el otro **Geometry** de **Mesh**, deberá aparecer de la siguiente forma.



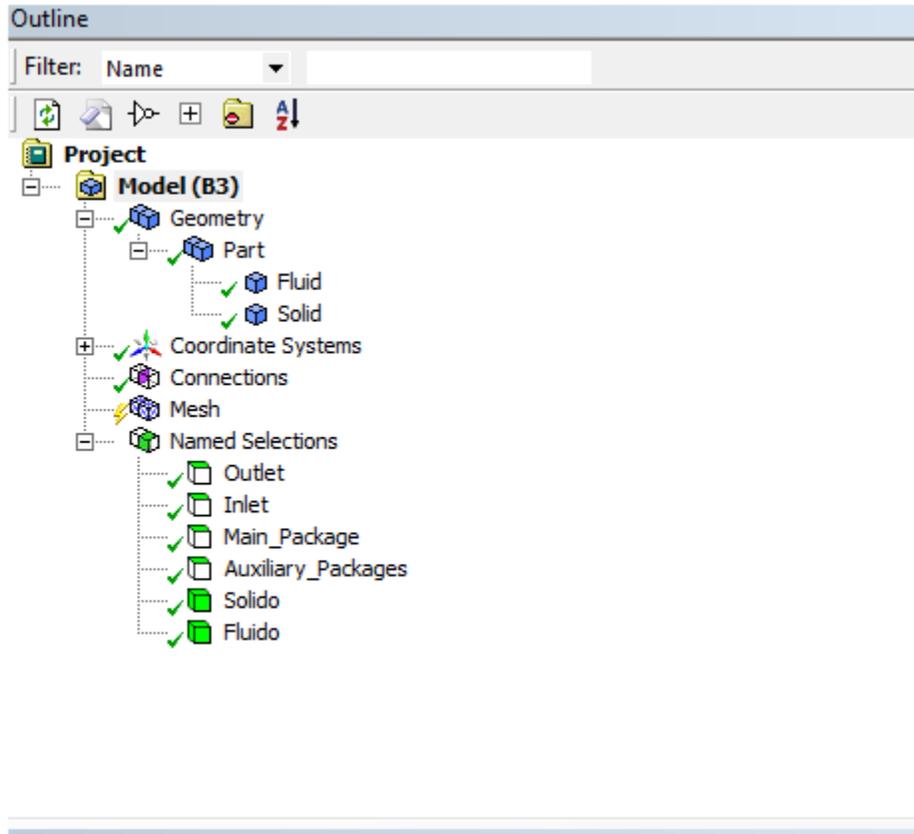


De esta manera se asegura la conexión entre los módulos y se procede a abrir Mesh dando clic derecho en **Mesh** y clic izquierdo en **Edit**.

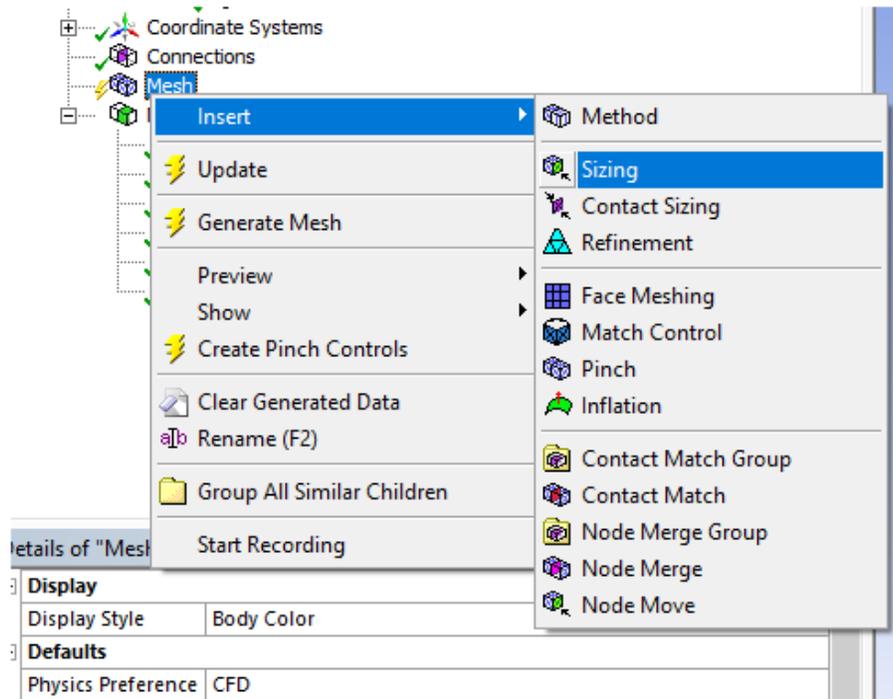
1. La interfaz de **Mesh** deberá aparecer de la siguiente manera con la geometría cargada.

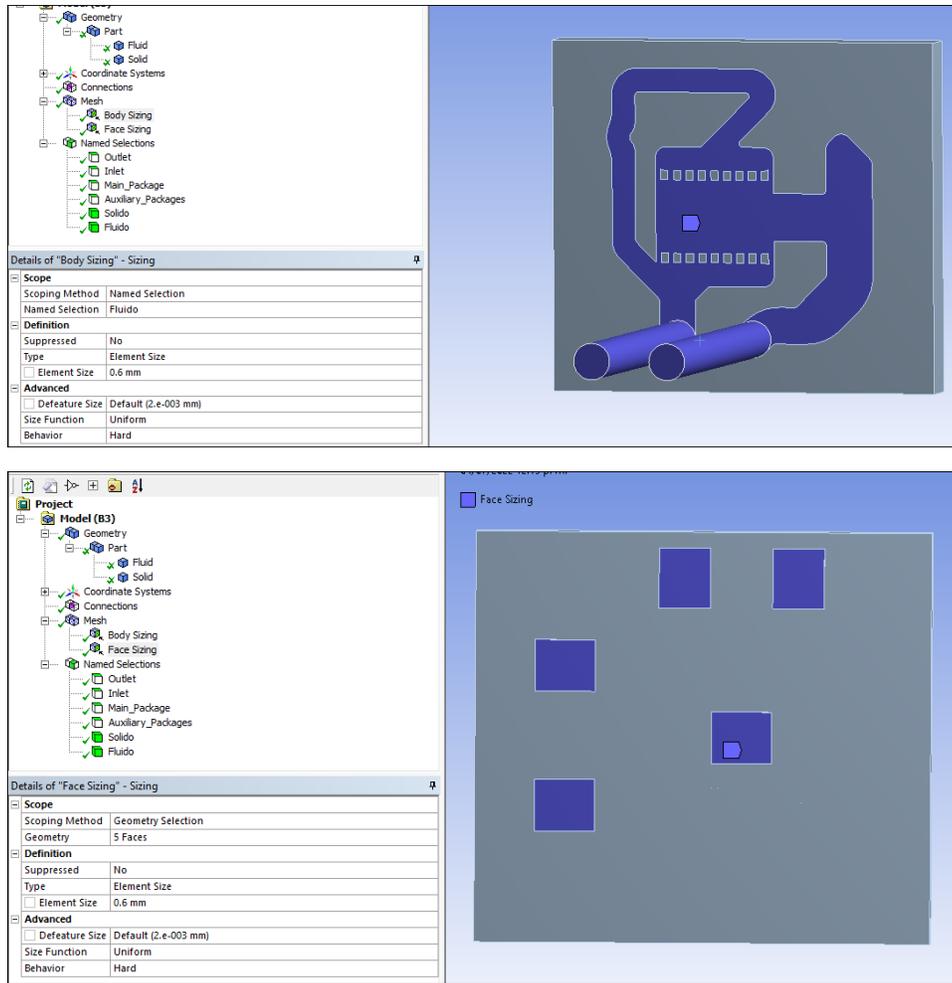


2. Para asegurar que se exportó correctamente el árbol de operaciones tiene que aparecer de la siguiente manera, si no es así, deberá verificar volviendo a las secciones anteriores.



3. Ahora se crean dos submallas tipo **Sizing**, una para el fluido y otra para el **Main Package** y **Auxiliary Package**, de la siguiente manera.





No se debe olvidar que el fluido se trata de un volumen y los Packages de superficies.

4. Una vez creados los **Sizing** se procede a dar los siguientes parámetros.

Details of "Mesh"	
Display	
Display Style	Body Color
Defaults	
Physics Preference	CFD
Solver Preference	Fluent
<input type="checkbox"/> Relevance	0
Export Format	Standard
Element Order	Linear
Sizing	
Size Function	Proximity
Relevance Center	Fine
<input type="checkbox"/> Max Face Size	1.10 mm
Mesh Defeaturing	Yes
<input type="checkbox"/> Defeature Size	2.e-003 mm
Transition	Slow
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1.20)
<input type="checkbox"/> Max Tet Size	Default (2.20 mm)
<input type="checkbox"/> Proximity Min Size	Default (1.1e-002 mm)
<input type="checkbox"/> Num Cells Across Gap	Default (3)
Proximity Size Function Sources	Faces and Edges
Bounding Box Diagonal	181.460 mm
Minimum Edge Length	0.358320 mm
Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
<input type="checkbox"/> Target Skewness	Default (0.900000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Orthogonal Quality
<input type="checkbox"/> Min	4.0916e-002
<input type="checkbox"/> Max	0.99715
<input type="checkbox"/> Average	0.7781
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0.11507

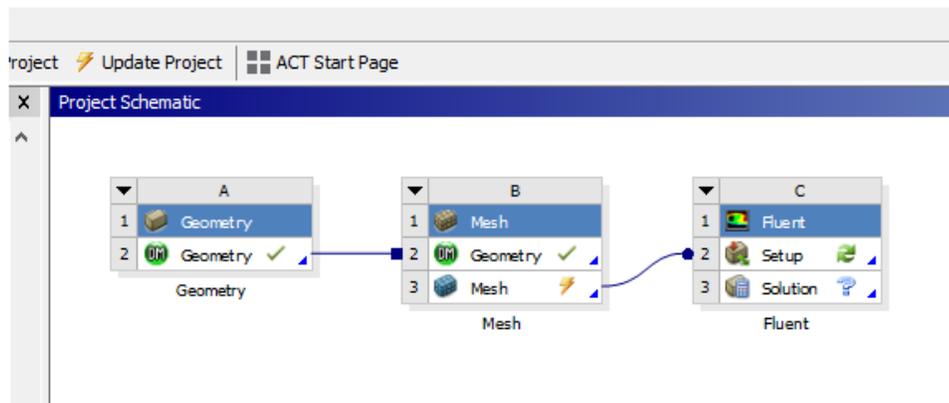
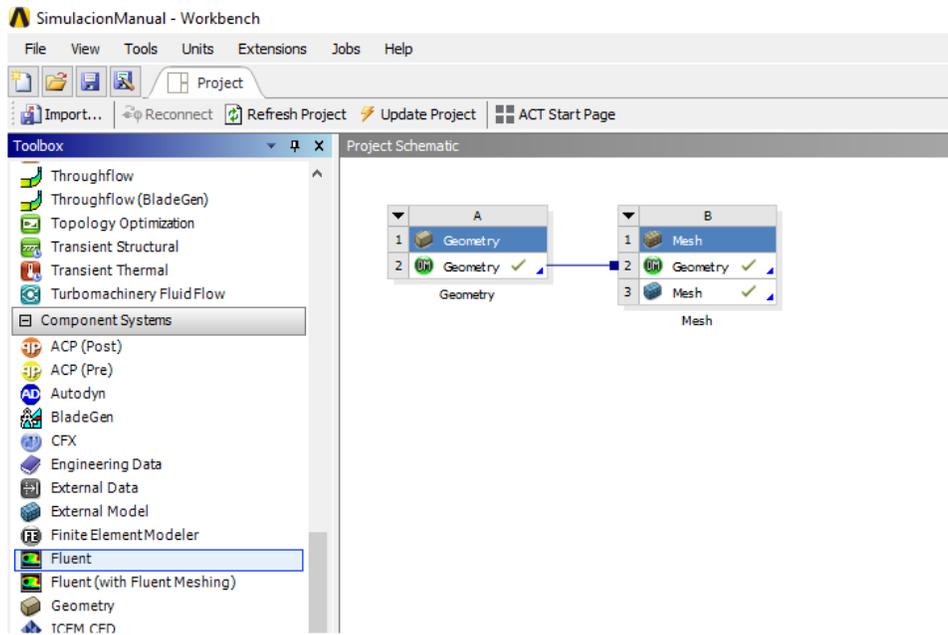
Las secciones que no aparecen se quedan los valores que tiene por default.

5. Y finalmente se guarda el proyecto y se vuelve a Workbench.

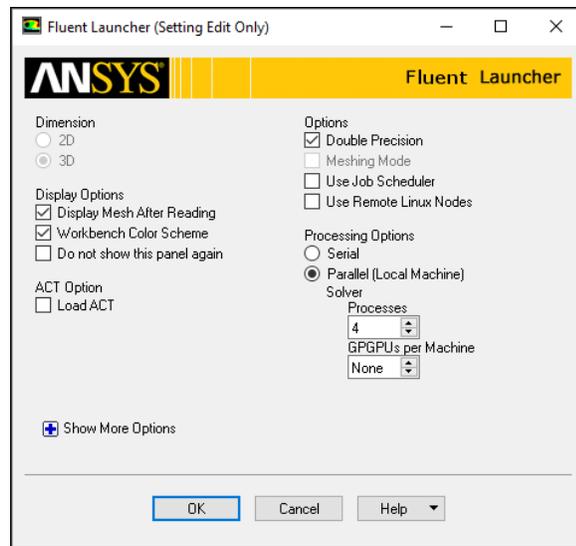
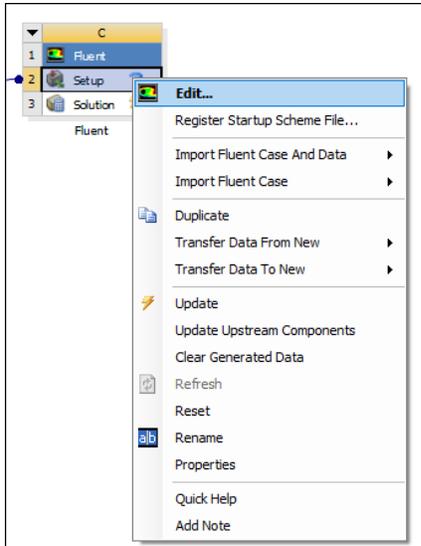
- **Importación de la malla a ANSYS Fluent**

En esta sección se colocarán las condiciones de frontera, el fluido de trabajo y el sólido del sistema así como el modelo de solución, método de solución, entre otras cosas.

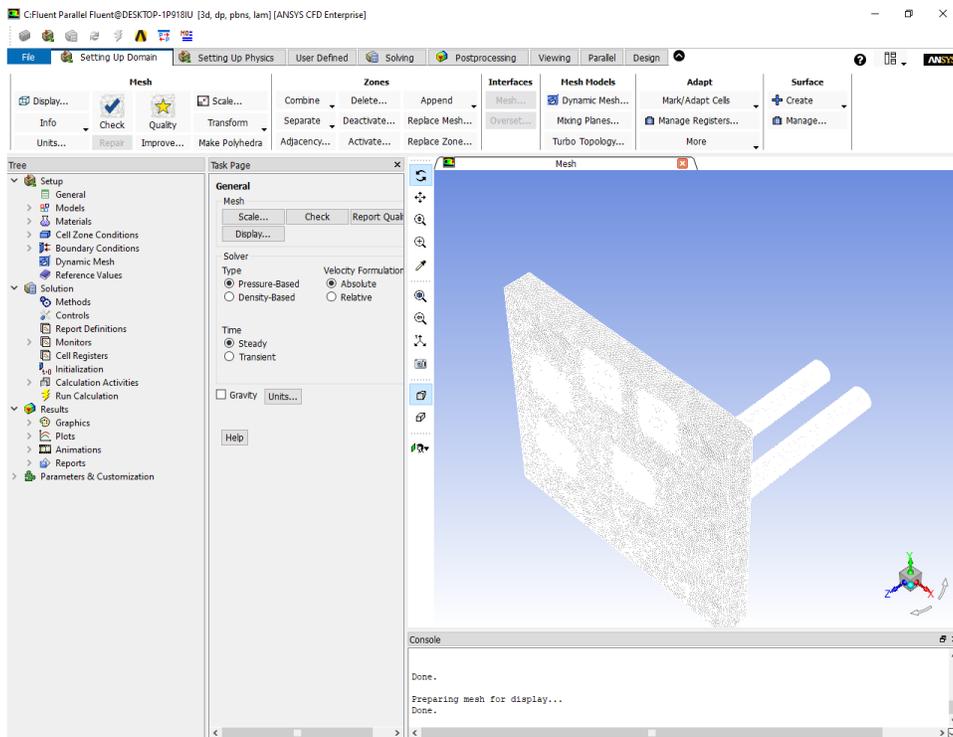
1. Primero se arrastra el módulo de **Fluent** al espacio de trabajo, conectamos con **Mesh** y damos clic en **Update Project**.



2. Se abre **Fluent** de la siguiente manera

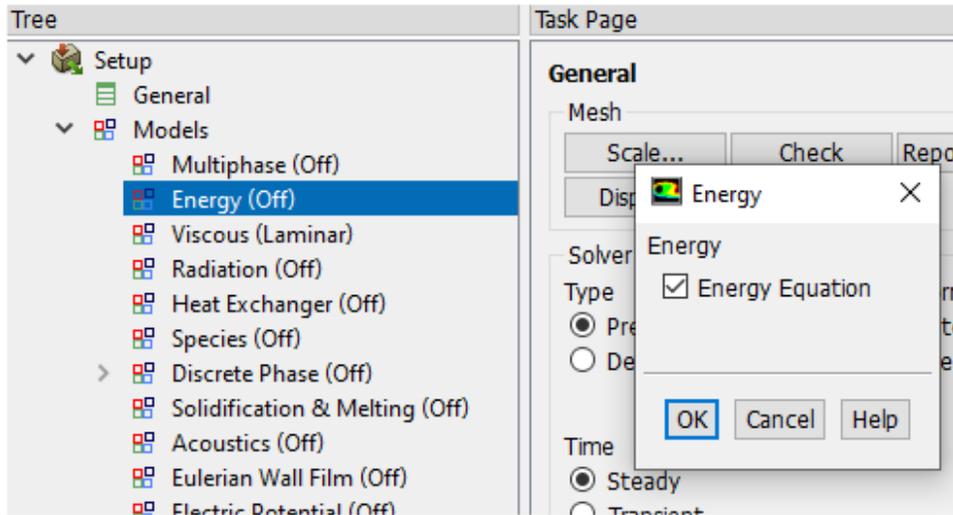


Y deberá aparecer la malla cargada de la siguiente manera.

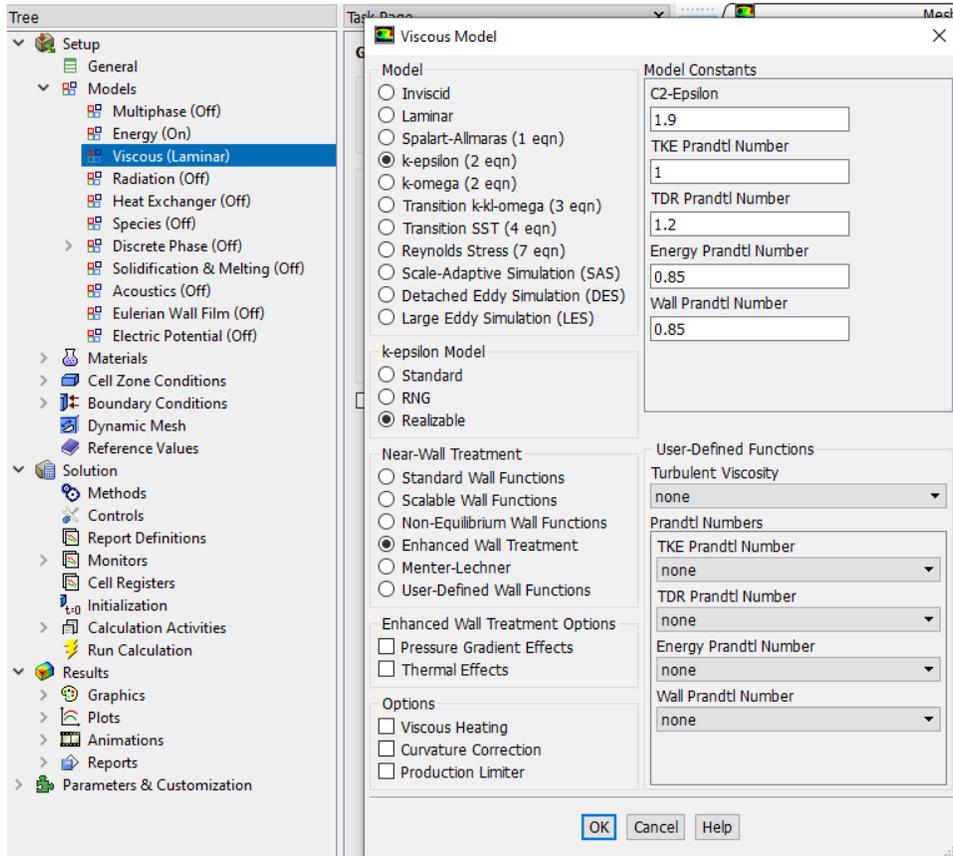


Una vez cargada con éxito se procede a poner los siguientes parámetros en el árbol de operaciones.

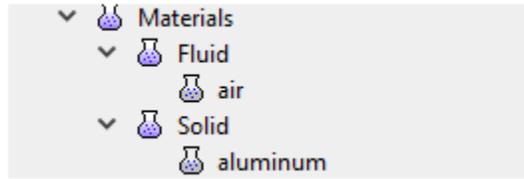
3. En el apartado de **Models** se selecciona la casilla de la ecuación de la energía.



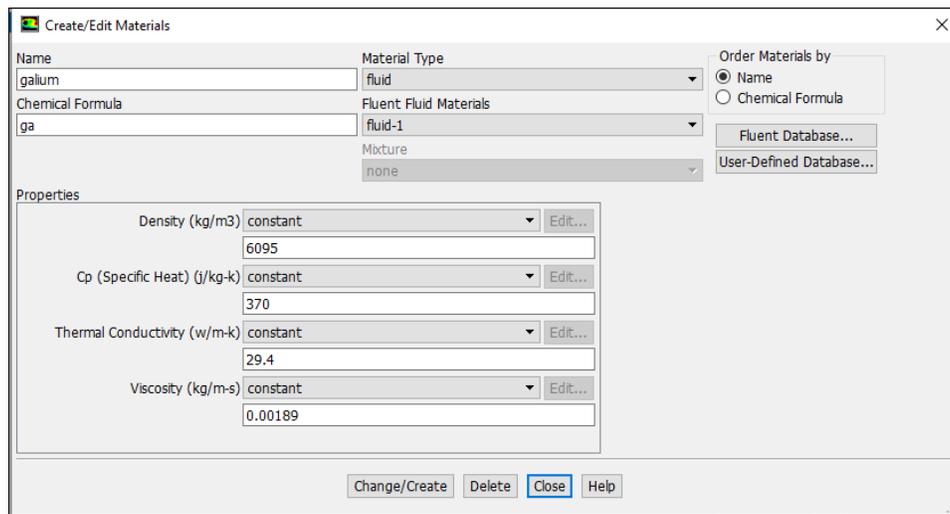
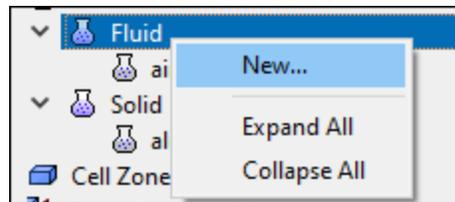
4. Luego en el apartado de **Viscous** seleccionamos lo siguiente.



- Lo que sigue es seleccionar el material del sólido y fluido que vamos a utilizar en nuestro sistema.

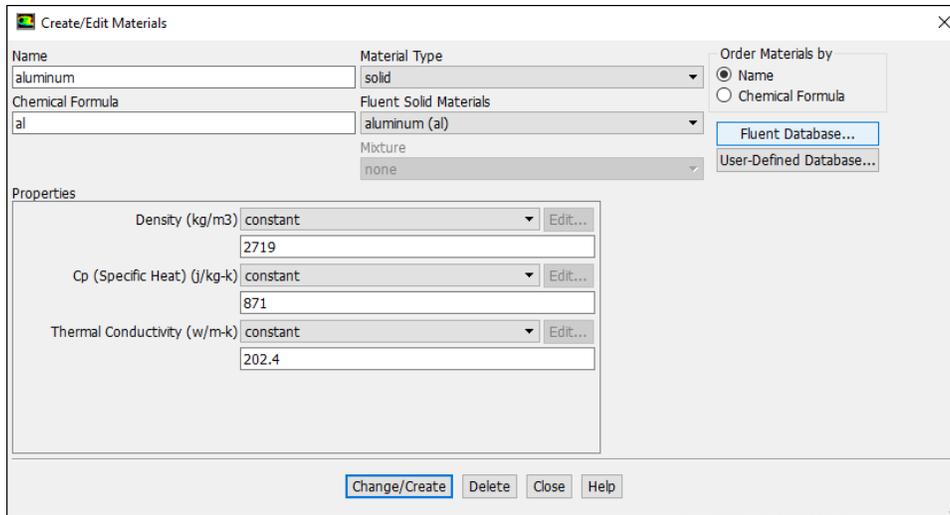


En esta sección aparecen materiales por default, pero en este caso, se utiliza otro tipo de material que no se encuentra en la base de datos, así que hay que crearlo. Para propósitos del este estudio se elige **cobre** para nuestro sólido y metal líquido para el fluido (para este manual se colocan las propiedades del **Ga líquido**).

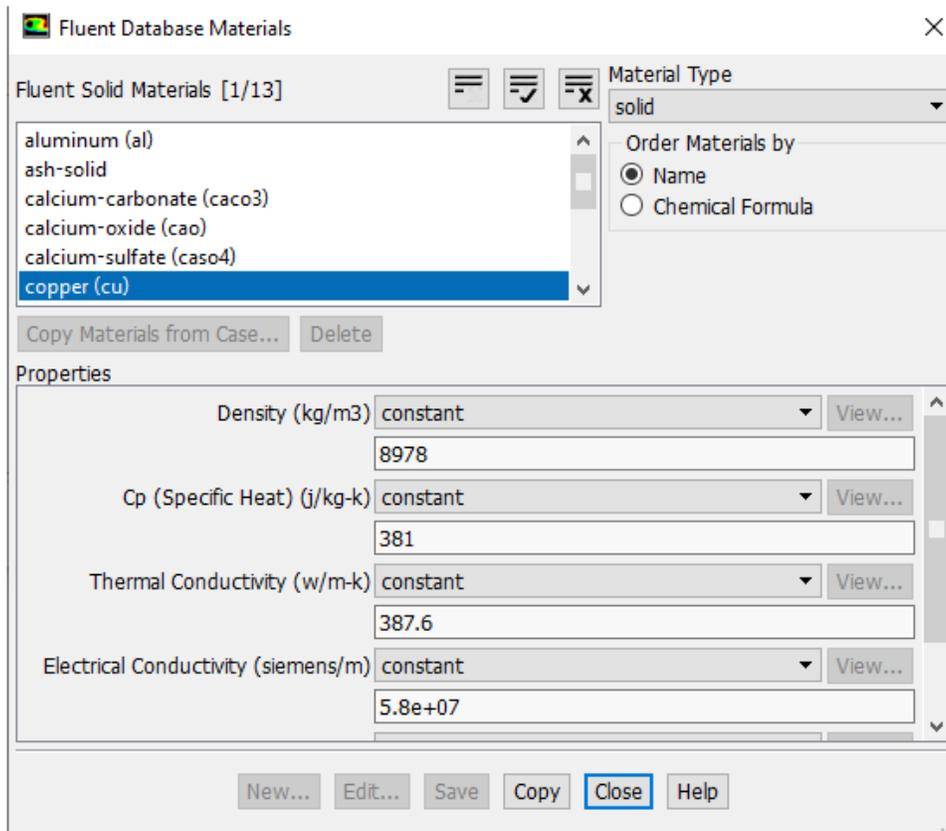


Se da clic en **Change/Create** para crear el fluido.

Y para el sólido se hace de la siguiente manera

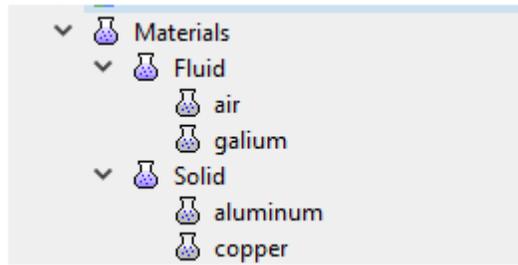


Seleccionamos **Fluent Database ...**

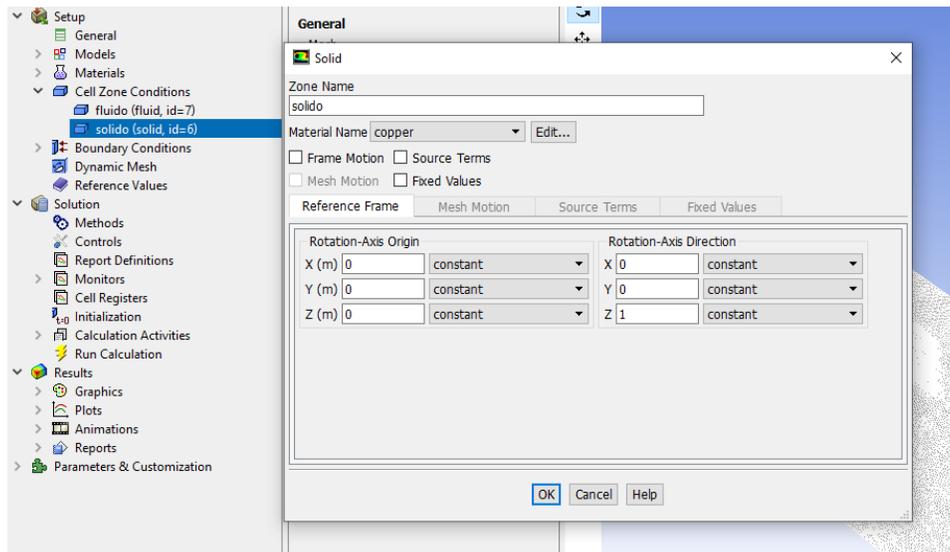
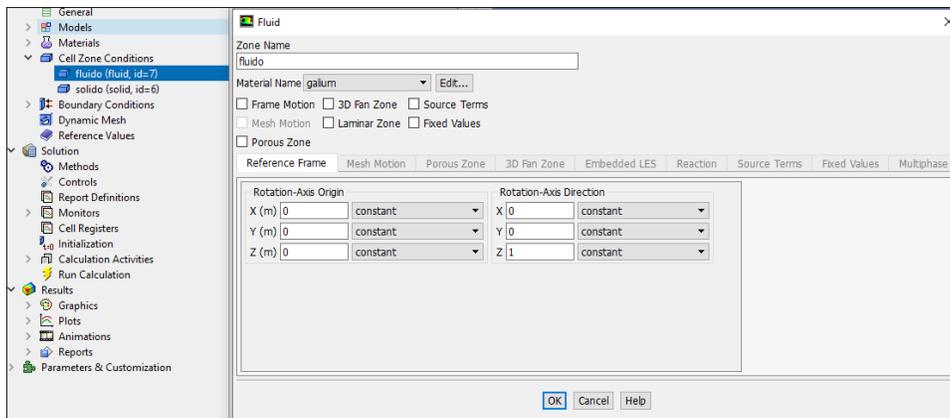


Y por último se busca **copper (cu)** y clic en **Copy**.

El árbol de operaciones se deberá modificar de la siguiente manera.



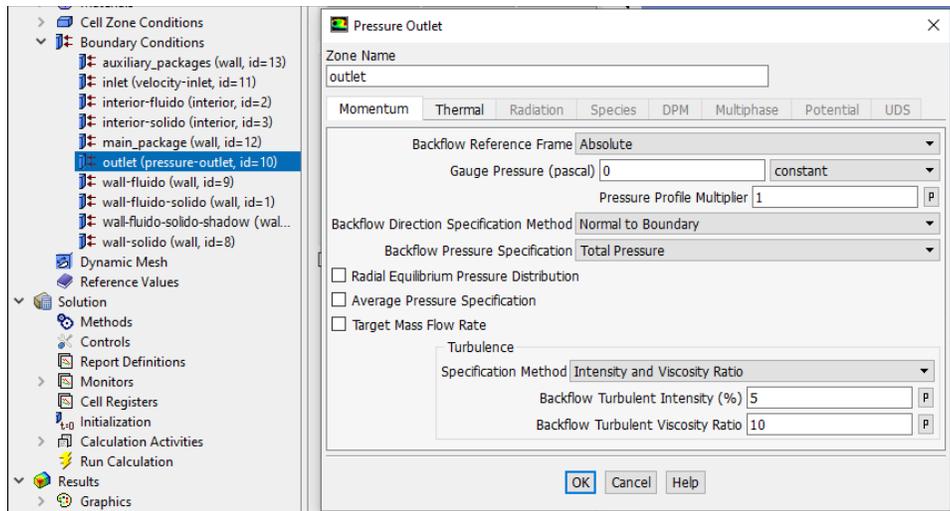
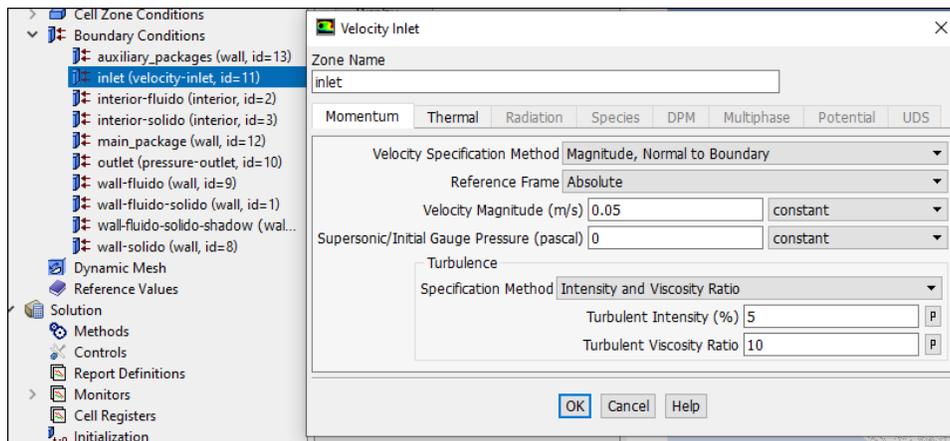
6. El siguiente paso consiste en elegir el material del fluido y el sólido ya que previamente sólo lo creamos a la base de datos.

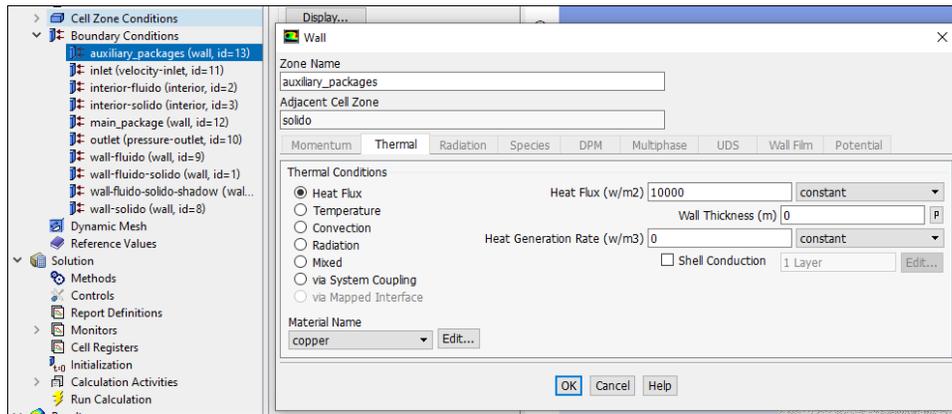
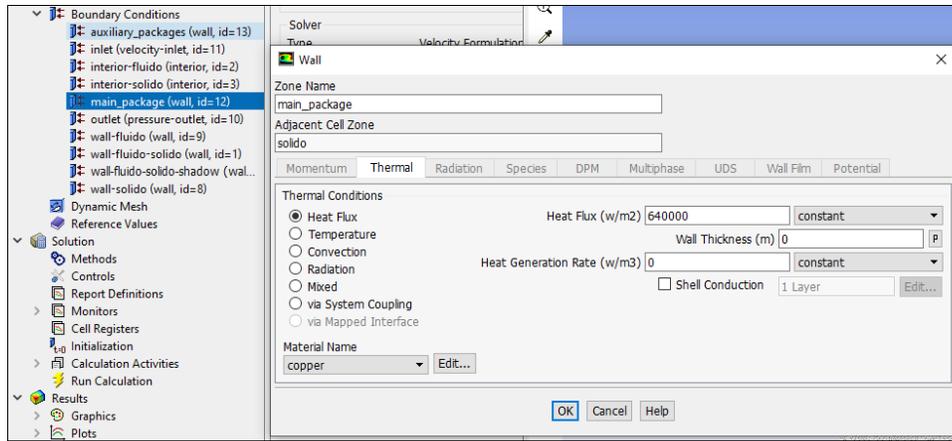


7. Ahora es momento de colocar las condiciones de frontera bajo la siguiente tabla.

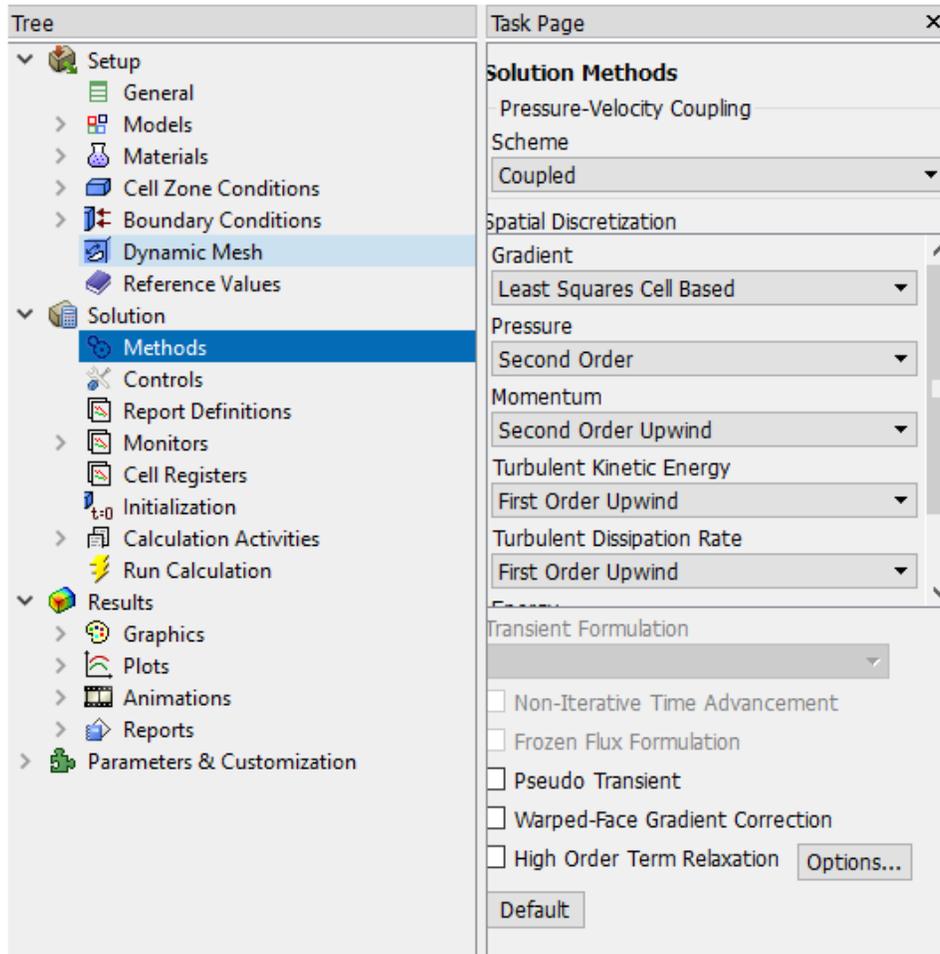
Parte	Condición de frontera
Inlet	$m_{\dot{}} = 0.05$, $T_{in} = 300 \text{ K}$
Outlet	$T_{out} = 300 \text{ K}$, $P_{out} = 0 \text{ Pa}$
Main Package	$Q_{\dot{}}_1 = 640,000 \text{ W/m}^2$
Auxiliary Package	$Q_{\dot{}}_2 = 10,000 \text{ W/m}^2$

En **Fluent** quedarían de la siguiente manera.

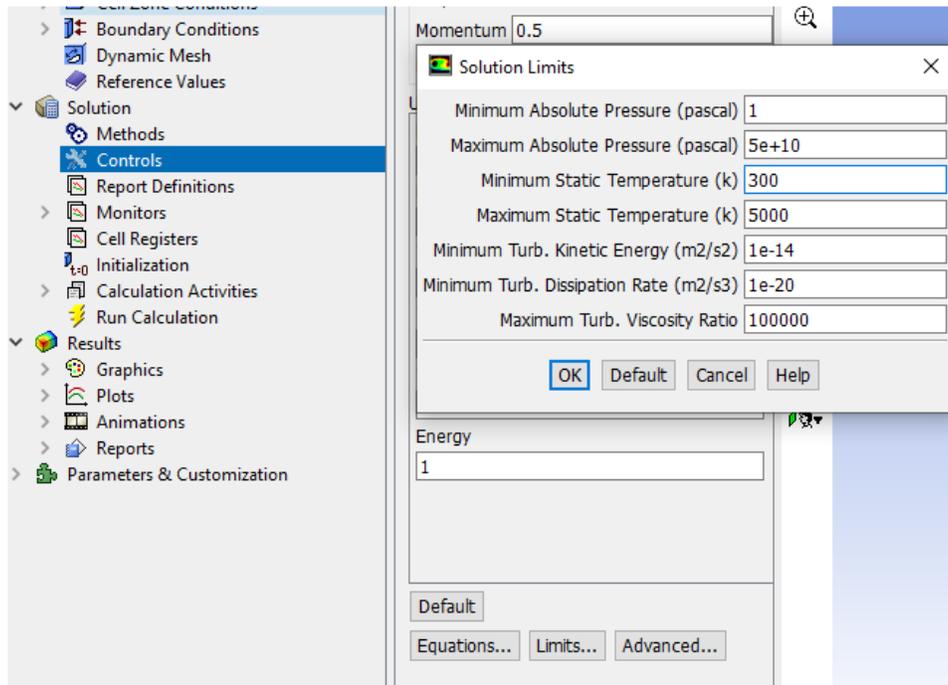




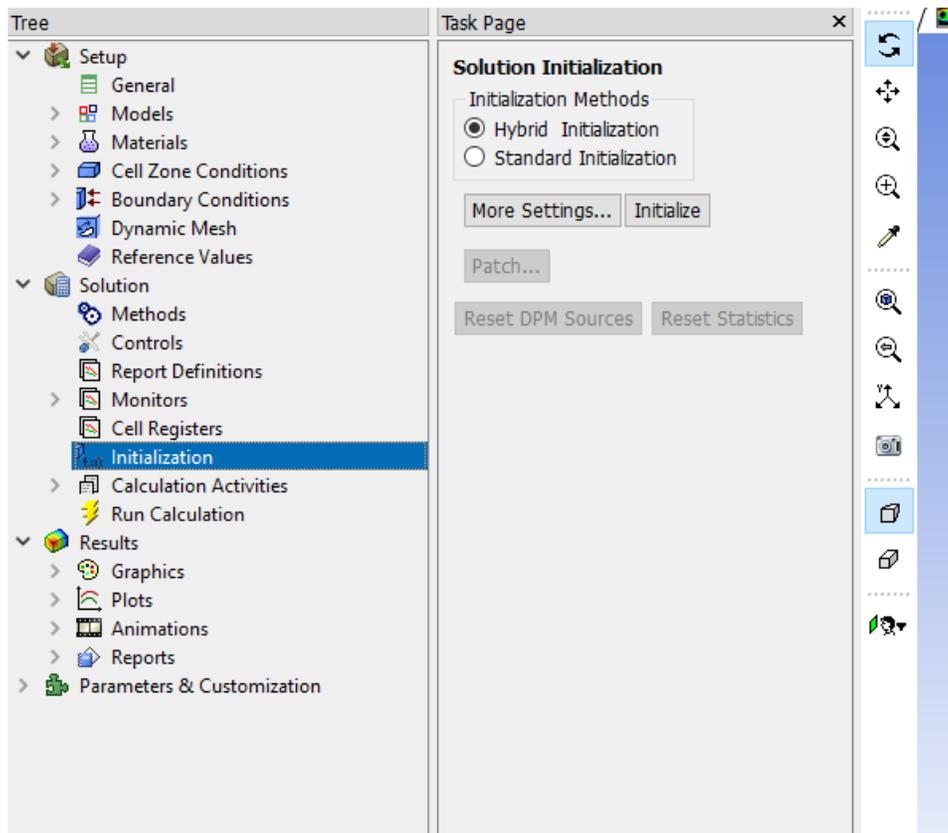
8. Lo siguiente sería seleccionar el método de solución.



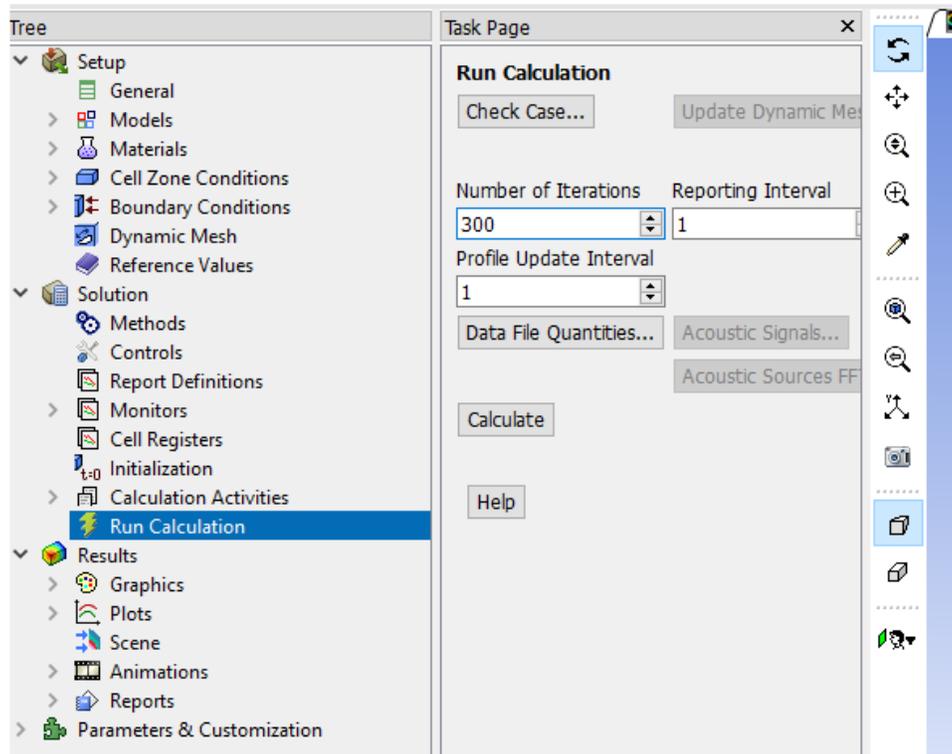
Como sugerencia, se recomienda establecer la mínima temperatura que correspondería a la de entrada (300 K).



9. Finalmente se procede a inicializar la simulación de manera híbrida.

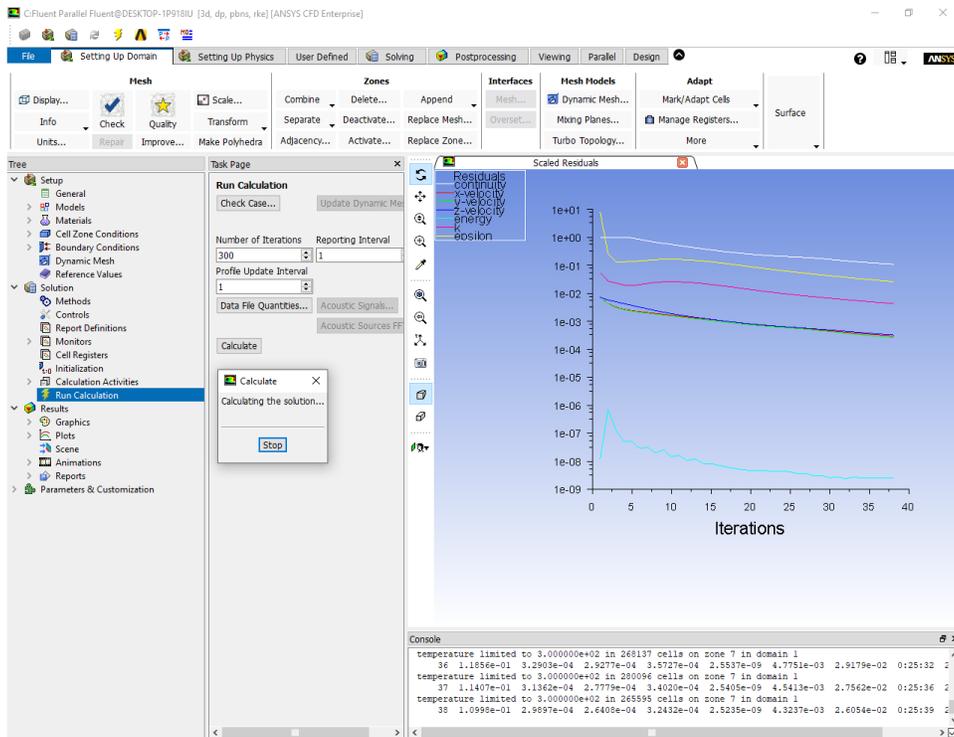


Ya terminada la inicialización se procede a correr la simulación con 300 iteraciones.

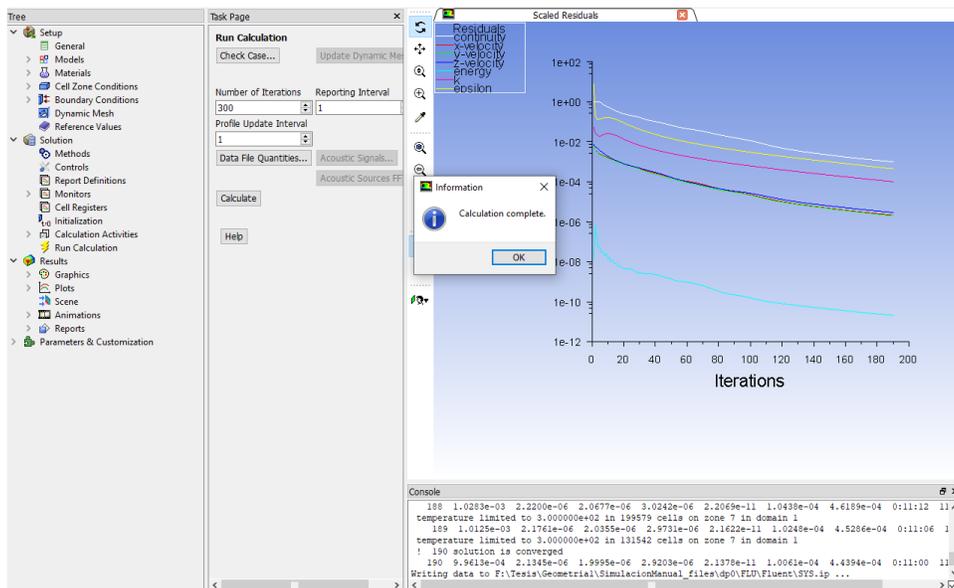


Dando clic en **Calculate** empezará la simulación. Es importante resaltar que pudiera ser el caso que no fueran suficientes las 300 iteraciones, así que una vez terminadas se puede cambiar el número de iteraciones y dar clic en **Calculate** para seguir con la simulación sin empezar desde cero. Al final lo que se busca es que la simulación converja.

En el proceso de cálculo deberá aparecer una ventana de residuales como se muestra a continuación.



10. Una vez terminado el proceso de cálculo aparecen mensajes como los siguientes.

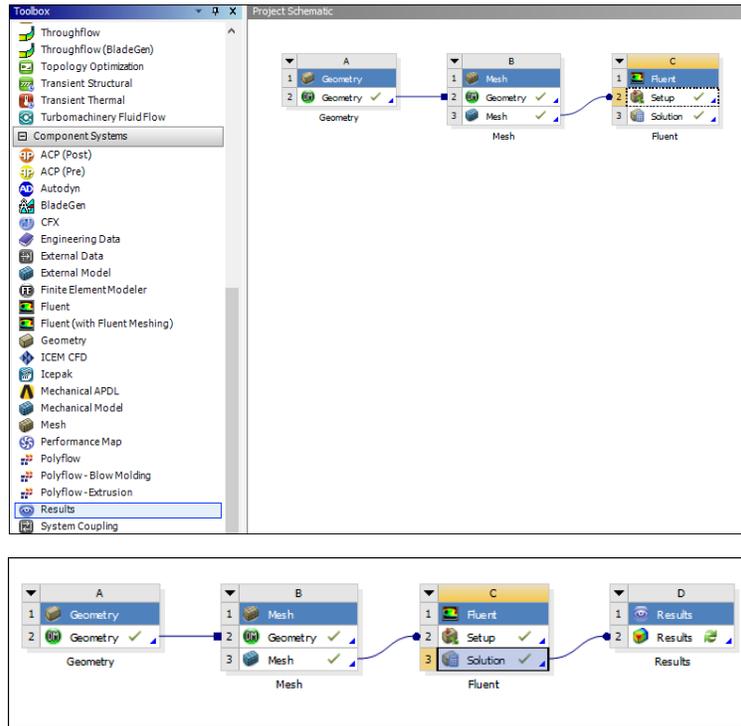


Se guardan los resultados y se abre la pestaña del Workbench para la sección final.

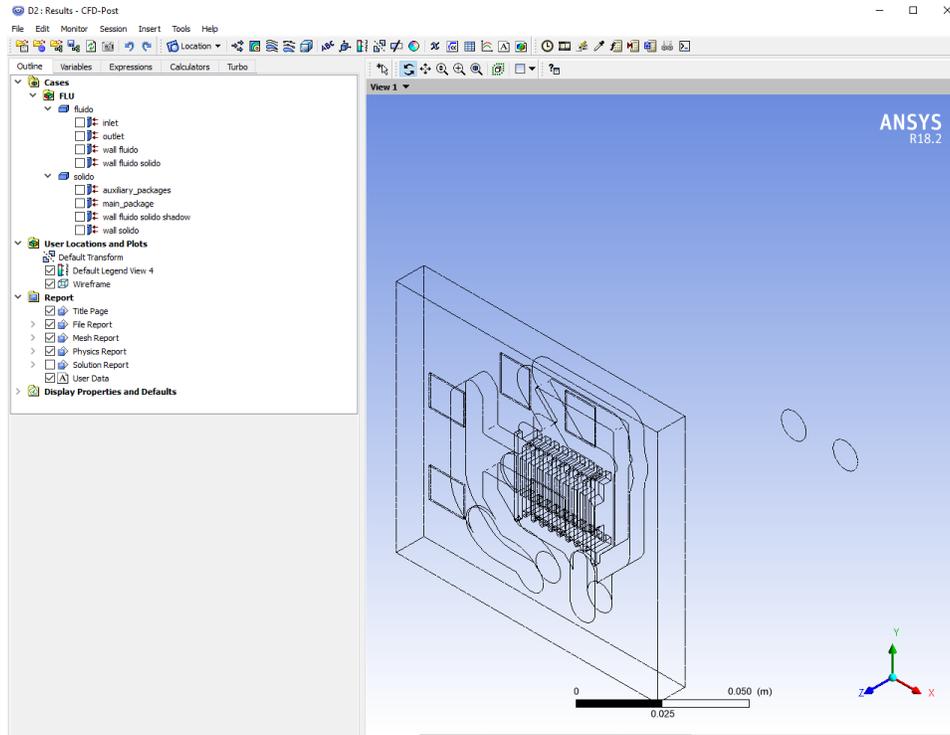
- **Importación de los resultados a ANSYS Results**

Esta es la última sección de la simulación en la cual se podrán visualizar cuantitativamente los resultados del sistema.

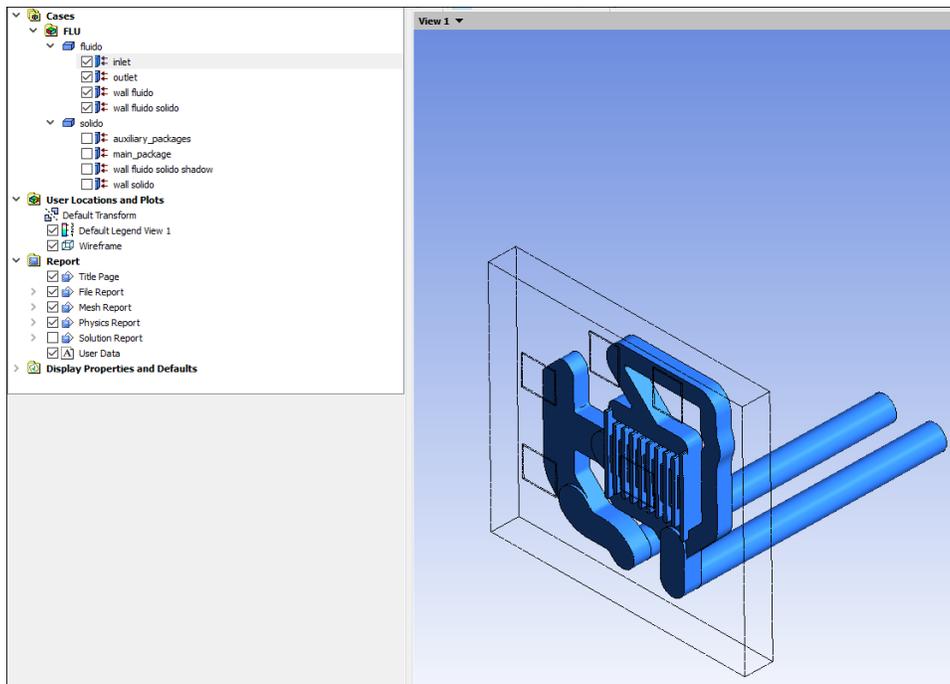
1. El primer paso de esta sección es arrastrar al espacio de trabajo el módulo de **Results** y abrirlo.



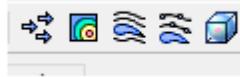
Deberá aparecer una ventana como la siguiente.



Si se activan las casillas de visualización se mostrarán las partes seleccionadas como se muestra a continuación.

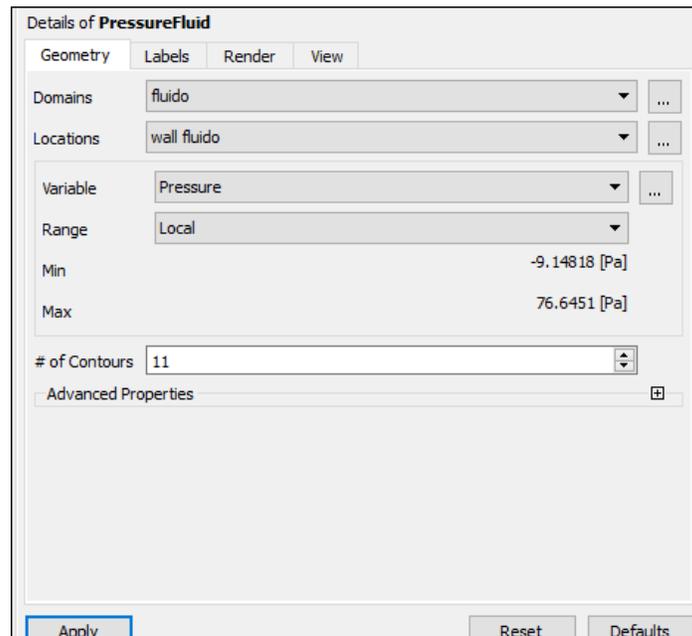
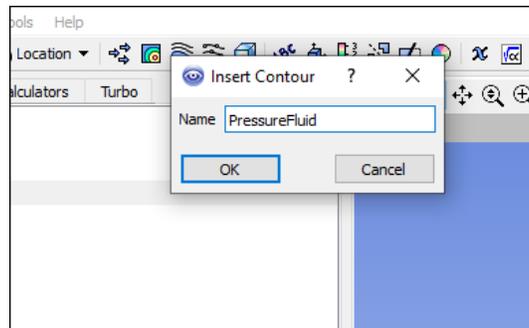


- Existen varias maneras de visualizar los resultados, una de ellas es crear **Streamline**, **Vector**, **Contour**, etc.

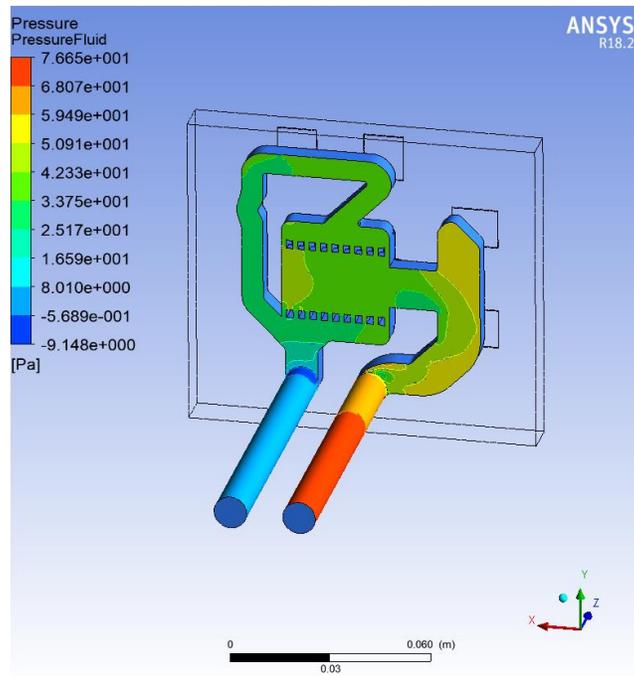


Con el objetivo de no hacer el más extenso este manual, los resultados que aquí se muestran serán sólo para un parámetro ya que todos los demás se calculan de la misma manera siguiendo los mismos pasos.

- Calculando la caída de presión de nuestro sistema sabiendo que $P_{out} = 0$ Pa. A continuación, se muestra cómo obtener un perfil (en este caso el de presión) y el cálculo de P_{in} .



Lo cual deberá mostrar el siguiente perfil.



Como ejemplo, se calcula la caída de presión que está denotada con la siguiente ecuación.

$$\Delta P = P_{in} - P_{out}$$

Tomando los datos obtenidos en **Results**, la caída de presión sería $\Delta P = P_{in} - P_{out}$

$$\Delta P = 76.645 \text{ Pa}$$

Del mismo modo se pueden calcular las otras variables y caracterizar nuestro sistema.

- **Gráfica de Resultados con Python**

En esta sección se construyen las gráficas partiendo de los resultados obtenidos en las simulaciones empleando el entorno de desarrollo **Spyder** para programación en **Python**. A continuación de muestra una tabla con los resultados obtenidos para diferentes fluidos de trabajo variando la velocidad de entrada del fluido.

Ui[m/s]	Tmax [K]			Pressure Drop[kPa]		
	Ga	Water	EGaInSn	Ga	Water	EGaInSn
0.05	329.317	333.494	333.406	0.075	0.018	0.083
0.1	320.703	326.393	323.469	0.266	0.056	0.289
0.15	317.597	323.65	319.879	0.568	0.113	0.614
0.2	315.82	322.133	317.833	0.978	0.189	1.054
0.25	314.642	321.164	316.425	1.487	0.283	1.608
0.3	313.769	320.476	315.417	2.096	0.397	2.264
0.35	313.101	319.957	314.632	2.827	0.528	3.026

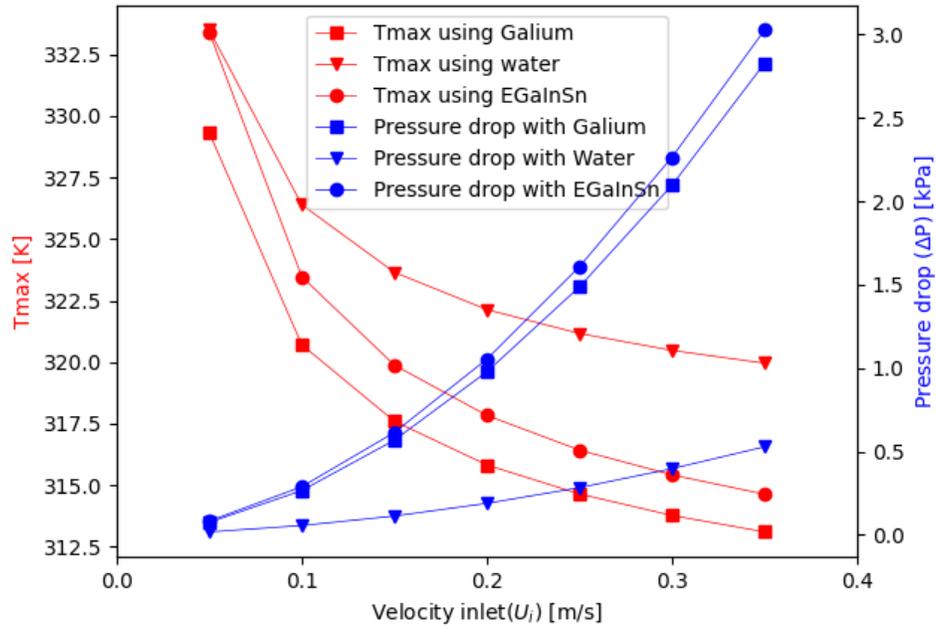
Para realizar la gráfica de los datos anteriores, se utiliza el siguiente código.

```

1 import matplotlib.pyplot as plt
2 import pylab as pl
3 #import matplotlib.ticker as ticker
4
5 x = [0.05,0.1,0.15,0.2,0.25,0.3,0.35] #Velocidad de entrada
6 y = [329.317,320.703,317.597,315.82,314.642,313.769,313.101] #Temperatura máxima con Galio
7 y1 = [333.494,326.393,323.65,322.133,321.164,320.476,319.957] #Temperatura máxima con agua
8 y2 = [333.406,323.469,319.879,317.833,316.425,315.417,314.632] #Temperatura máxima con EGaInSn
9 yy = [0.075,0.266,0.568,0.978,1.487,2.096,2.827] #Caída de presión con Galio
10 yy1 = [0.018,0.056,0.113,0.189,0.283,0.397,0.528] #Caída de presión con agua
11 yy2 = [0.083,0.289,0.614,1.054,1.608,2.264,3.026] #Caída de presión con EGaInSn
12
13
14
15 fig, ax1 = plt.subplots() # Declarando la gráfica en el eje primario
16 line1 = ax1.plot(x,y, color = 'red', label = "Tmax using Galium", linewidth=0.5, linestyle="solid", marker = 's') #Gráfica de Tmax para Ga
17 line2 = ax1.plot(x,y1, color = 'red', label = "Tmax using water", linewidth=0.5, linestyle="solid", marker = 'v') #Gráfica de Tmax para Agua
18 line3 = ax1.plot(x,y2, color = 'red', label = "Tmax using EGaInSn", linewidth=0.5, linestyle="solid", marker = 'o') #Gráfica de Tmax para EGaInSn
19 #ax1.legend(loc = 'upper center')
20
21 ax2 = ax1.twinx() # Declarando la gráfica en el eje secundario
22 line4 = ax2.plot(x,yy, color = 'blue', label = "Pressure drop with Galium", linewidth=0.5, linestyle="solid", marker = 's') #Gráfica de caída de presión para Ga
23 line5 = ax2.plot(x,yy1, color = 'blue', label = "Pressure drop with Water", linewidth=0.5, linestyle="solid", marker = 'v') #Gráfica de caída de presión para Agua
24 line6 = ax2.plot(x,yy2, color = 'blue', label = "Pressure drop with EGaInSn", linewidth=0.5, linestyle="solid", marker = 'o') #Gráfica de caída de presión para EGaInSn
25
26 # El siguiente código es para juntar todas las label y que aparezcan en una sola
27 lns = line1+line2+line3+line4+line5+line6
28 labs = [l.get_label() for l in lns]
29 ax1.legend(lns, labs, loc = 'upper center') #Posición de las etiquetas
30
31
32 ax1.set_ylabel('Tmax [K]', color = 'red') # Nombre del eje primario y asignación de color
33 ax1.set_xlabel('Velocity inlet($U_{is}$) [m/s]', # Nombre del eje x
34 ax2.set_ylabel('Pressure drop ($\Delta P$) [kPa]', color = 'blue') # Nombre del eje secundario y asignación de color
35
36 plt.xticks([0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4]) # definimos el paso en los valores del eje x
37
38
39
40
41
42 plt.savefig('plot2.png')
43 #plt.savefig('plot1.svg') # Esta instruccion sirve para crear el archivo de la grafica(imagen)
44
45 #plt.tight_layout()
46
47 plt.show()

```

El cual nos compila con la siguiente gráfica



La cual nos permite visualizar mejor los resultados y elegir el mejor fluido de trabajo para el sistema.

