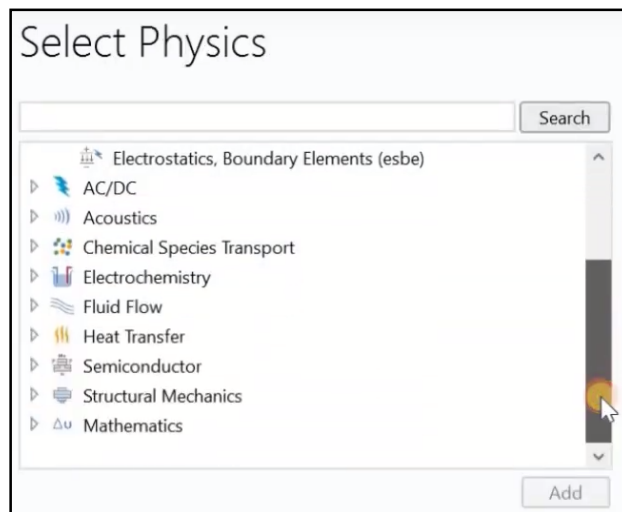


## Descripción de la interface de Software Comsol

COMSOL Multiphysics (antes conocido como FEMLAB) es un paquete de software de análisis y resolución por elementos finitos para varias aplicaciones físicas y de ingeniería, especialmente fenómenos acoplados, o multifísicos.

En otras palabras, este software se encarga de Modelar y analizar el comportamiento y el cambio de las propiedades de la mezcla a las diferentes condiciones a las que se le somete los elementos en la transferencia de calor.

### MÓDULOS DE COMSOL MULTIPHYSICS.



Los Módulos creados en este programa, se definen en base al tipo de análisis que se pretenda realizar (Eléctrico, Mecánico, Fluidos, Químicos o de Usos Múltiples). Alguno de ellos contiene un cúmulo de físicas para realizar el análisis, otros módulos permiten importar geometrías de otros programas y otros permiten modificar parámetros que están definidos por el programa (como ecuaciones, rangos de valores o valores en propiedades de un material).

- AC/DC Module.
- Acoustics Module.
- Batteries & Fuel Cells Module.
- CFD (Computational Fluid Dynamics) Module.
- Chemical Reaction Engineering Module.
- Electrodeposition Module.
- Heat Transfer Module.
- MEMS Module.
- Microfluidics Module.

- Optimization Module.
- Particle Tracing Module.
- Plasma Module.
- RF Module.
- Structural Mechanics Module.
- Subsurface Flow Module.

A continuación, se describen varios Módulos de COMSOL Multiphysics de manera muy general



#### **AC/DC Module (Módulo de Corriente Alterna/ Corriente Directa).**

Este módulo se utiliza para analizar el rendimiento o funcionamiento de dispositivos como capacitores, inductores, motores y micro sensores. Aunque este tipo de mecanismos se caracterizan por estar influenciados de fenómenos electromagnéticos primordialmente, también se encuentran afectados por otros efectos, por ejemplo, térmicos, deflexiones y vibraciones electromecánicas.



#### **Acoustic Module (Módulo de Acústica).**

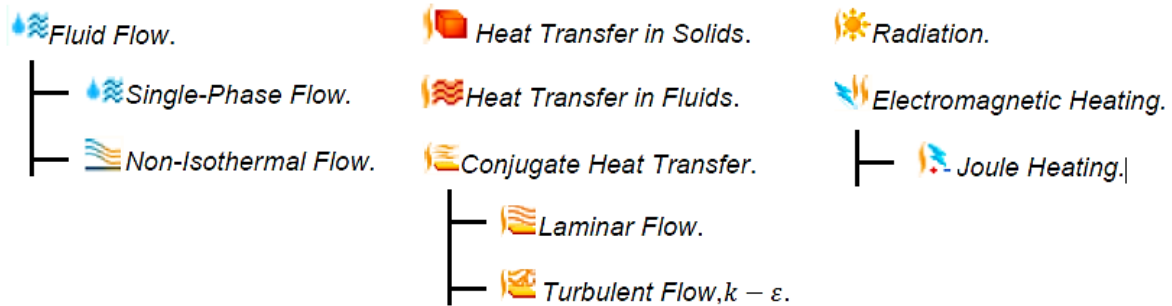
Este módulo resuelve problemas en el área general de la acústica, tales como: la propagación acústica en sólidos, fluidos estacionarios, vibración y también aplicaciones Aero acústicas en fluidos móviles.



#### **Heat Transfer Module (Módulo de Transferencia de Calor).**

Transferencia de Calor se define como el movimiento de la energía debido a una diferencia en la temperatura. En base a la importancia de este fenómeno, se realizó esta interfaz con los alcances necesarios para simular análisis de transferencia de calor por medio de conducción, convección y radiación. Las físicas de este módulo también se pueden acoplar con una gran variedad de físicas, debido a que en casi todos los procesos de fabricación se toman en cuenta los efectos térmicos.

Por otra parte, Heat Transfer contiene dentro de su lista de físicas algunas interfaces que se encuentran acopladas con otros módulos, por ejemplo, el Módulo Subsurface Flow. En seguida se muestran algunas interfaces de Heat Transfer:



### **Structural Mechanics Module (Módulo de Mecánica Estructural).**

Como su nombre lo indica este módulo contiene una gama muy amplia de interfaces en la categoría de Mecánica Estructural. Este módulo, tiene la finalidad de analizar ciertos componentes y sistemas que se encuentran sometidos a cargas y, a cambios de temperatura los cuales provocan una deformación en la estructura. Así mismo, existe una diversidad de fenómenos que intervienen en estructuras y provocan algún efecto mecánico.

Se mostrarán algunas físicas que contempla este módulo:



*Solid Mechanics.*



*Thermal Stress.*



*Beam.*



*Joule Heating and Thermal Expansion.*

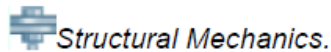
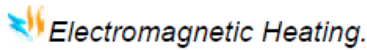
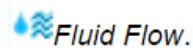
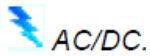
### **MEMS Module (Módulo de MEMS).**

El término MEMS es un acrónimo de Sistemas Micro-electromecánicos (MEMS- Microelectromechanical Systems por sus siglas en inglés), la tecnología de MEMS permite la integración de sistemas que combinan componentes eléctricos, mecánicos y ópticos elaborados en una escala de micrométrica.

Este módulo proporciona interfaces para analizar procesos en los dispositivos microelectromecánicos y microfluídicos. También se puede realizar estudios para mejorar el diseño de sistemas como, actuadores, acelerómetros y resonadores.

Algunas de las aplicaciones de este módulo, son para estudios de: flujo electroosmótico, amortiguamiento pelicular, piezoelectricidad e interacción de fluido-estructura.

Estos son algunos de los módulos con los que puede acoplarse MEMS:



### **CAD Import Module (Módulo para importar CAD).**

Este modulo contiene un paquete para importar geometrías CAD (Computer-Aided Design) en el software de COMSOL Multiphysics, desde interfaces como: Autodesk Inventor, CATIA V5, Parasolid, Pro/ENGINEER, SolidWorks. En los anexos se agrega una tabla con las extensiones compatibles correspondientes a cada programa que puede importar figuras a COMSOL Multiphysics.



### **Biblioteca de Materiales.**

Dentro del programa de COMSOL Multiphysics existe una sección (Material Browser) específicamente para identificar la extensa variedad de materiales que se encuentran disponibles para cada módulo del programa.

La biblioteca de Materiales contiene más de 2500 materiales, cada uno con sus respectivas propiedades, las propiedades de los materiales pueden ser modificadas durante el proceso de simulación más adelante se explicará cómo.

Cada módulo comprende materiales para las diferentes físicas, como, por ejemplo, metales, semiconductores, polímeros, gases, líquidos. También, existe la posibilidad de agregar un material nuevo, simplemente se debe identificar la física relacionada para poder agregar las propiedades necesarias.

## PROCESO DE SIMULACIÓN.

Durante esta etapa se anexan las propiedades que terminaran por definir el modelo, dentro de ellas se encuentra; el material, el potencial y la temperatura, también se adicionan condiciones de frontera, físicas, tipos de solución y la definición de la malla. Aquí se explica cada una de estas características:

- Especificaciones del modelo. Estas definiciones consisten en especificar el tipo de material que se agregará a la geometría con sus respectivos coeficientes, además, se formarán condicionantes en el modelo para especificar el potencial, la temperatura y algunas restricciones para el análisis.
- Adicionar Físicas al modelo. Comprende una serie de pasos para seleccionar las físicas que se integrarán en el análisis, cada uno de las físicas contiene apartados para modificar sus coeficientes. Al inicio del proceso se eligió la física, pero en esta etapa se termina por definir sus características.
- Seleccionar el tipo de estudio. El tipo de estudio se elige de igual manera que la física, al inicio del programa, las opciones que se muestran depende de la física que se elija para el análisis.
- Mallado. La generación de la malla se lleva a cabo con la selección del tamaño y del tipo de la misma.

















NOMBRE DE LA CARPETA O SUBCARPETA	SÍMBOLO	CARACTERÍSTICA O FUNCIÓN
<i>Definitions</i>		Sirve para agregar definiciones locales al modelo.
<i>Explicit 1</i>		Permite crear conjuntos definidos por el usuario dentro del modelo.
<i>Material Browser</i>		Muestra la biblioteca de materiales.
<i>Material</i>		Sirve para definir propiedades en el material.
Calentamiento por Efecto Joule y Expansión Térmica.		Es la interfaz elegida por el usuario.
<i>Joule Heating Model 1</i>		Define propiedades en la física seleccionada.
<i>Thermal Linear Elastic 1</i>		Define propiedades en la física seleccionada.
<i>Initial Values 1</i>		Es para definir parámetros en el análisis.
<i>Ground 1</i>		Permite definir algunas condiciones dentro de la geometría.
<i>Electric Potential 1</i>		Permite definir algunas condiciones dentro de la geometría.
<i>Heat Flux 1</i>		Permite definir algunas condiciones dentro de la geometría.
<i>Temperature 1</i>		Permite definir algunas condiciones dentro de la geometría.
<i>Fixed Constraint 1</i>		Permite definir algunas condiciones dentro de la geometría.
<i>Mesh 1</i>		Crea una malla en la geometría.
<i>Size</i>		Permite definir el tipo de malla.
<i>Study 1</i>		Adiciona los cambios realizados y realiza el análisis.

Tabla. Lista de carpetas y subcarpetas de la etapa proceso de simulación.

## Calentamiento por Efecto Joule y Expansión Térmica.

Después de haber seleccionado la física al inicio de la simulación, dentro de esta etapa se agregan algunas especificaciones para determinar la manera en la que se llevará a cabo el análisis. Si se desea agregar una física nueva, dar un clic derecho a la carpeta que se define con la extensión “root” (el nombre de esta carpeta lo asigna el usuario al guardar el archivo) y seleccionar la opción de Add Physics.

Cada una de las físicas (interfaz) contiene sus propias subcarpetas, las que aparecen a continuación corresponden a la interfaz de Joule Heating and Thermal Expansion (tem), y está formada por el acoplamiento de la interfaz Thermal Stress con la interfaz de Joule Heating. Aquí se describe la conducción de la corriente eléctrica en una estructura, posteriormente un calentamiento eléctrico causado por pérdidas óhmicas en la estructura y finalmente las tensiones térmicas.

Joule Heating and Thermal Expansión se encuentra en el módulo de MEMS y a continuación se mencionan las físicas que intervienen en esta combinación:



Joule Heating. Acopla la interfaz de Heat Transfer in Solids con la interfaz Electric Currents.



Electric Currents. Simula la corriente en algún conductor o un material capacitivo bajo la influencia de un campo eléctrico. Se puede realizar un análisis con los tres tipos de estudio (Estacionario, Dominio de la Frecuencia y dependiente del tiempo).



Heat Transfer in Solids. Esta opción analiza la transferencia de calor por conducción.



Thermal Stress. Define las características para el análisis de esfuerzos y sólidos mecánicos lineales y no lineales. El modelo del material es representado por un material elástico lineal, el modelo del material elástico se puede ampliar por medio de plasticidad, expansión térmica, amortiguación, tensión inicial y deformación.

En la siguiente figura se muestran las subcarpetas de la física Joule Heating and Thermal Expansión, el usuario debe recordar que cada física contiene carpetas diferentes, más adelante se indica como manipular las subcarpetas de esta física con el fin de completar la explicación de esta etapa.

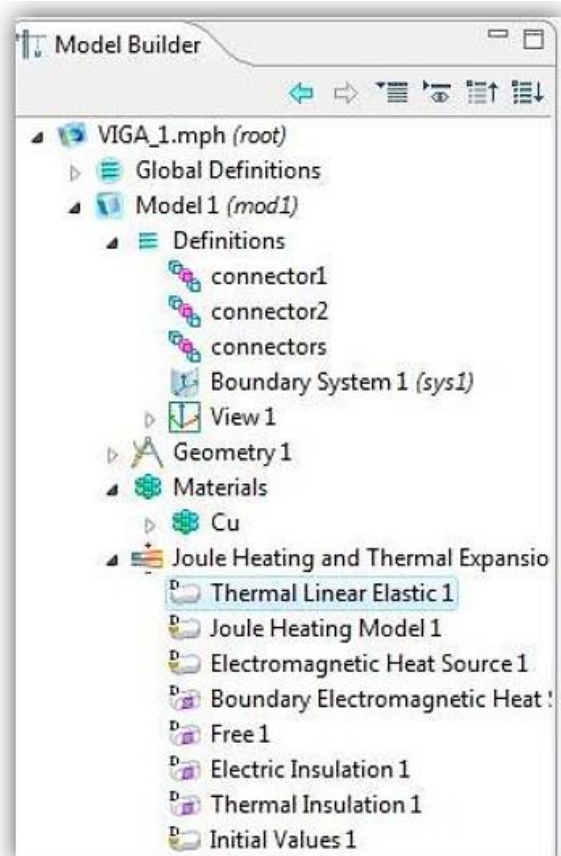


Figura. Menú de subcarpetas para la interfaz *Joule Heating and Thermal Expansion*.

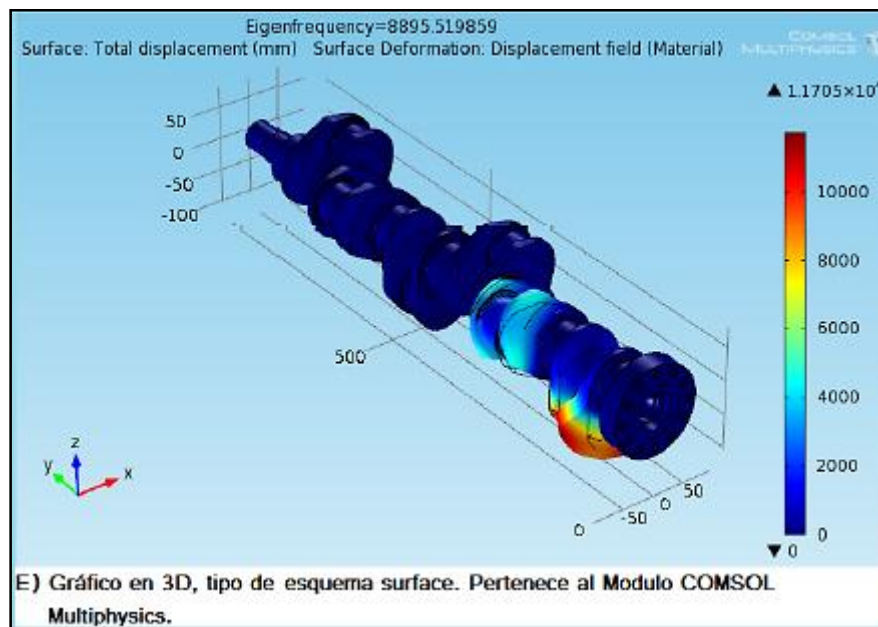
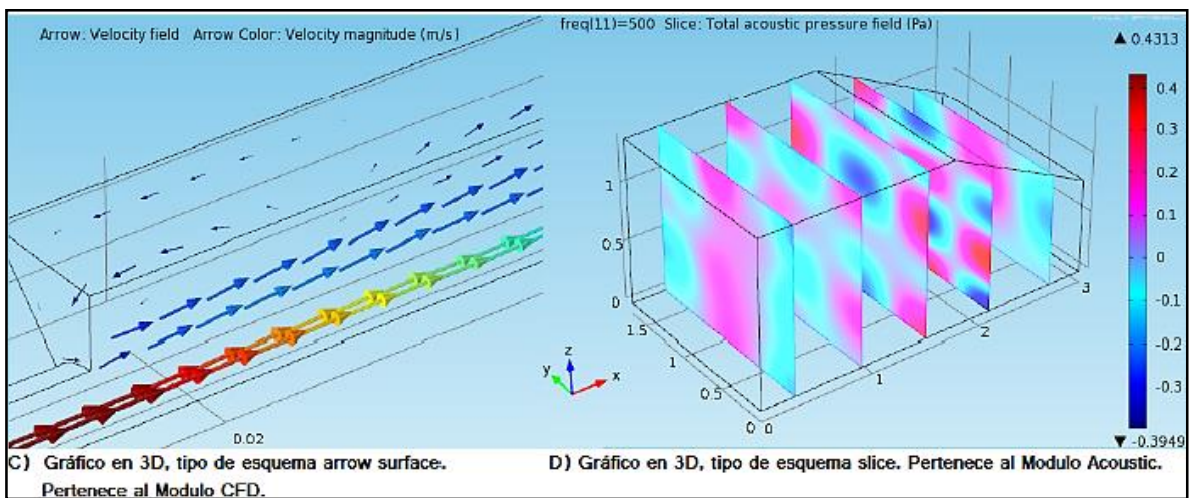
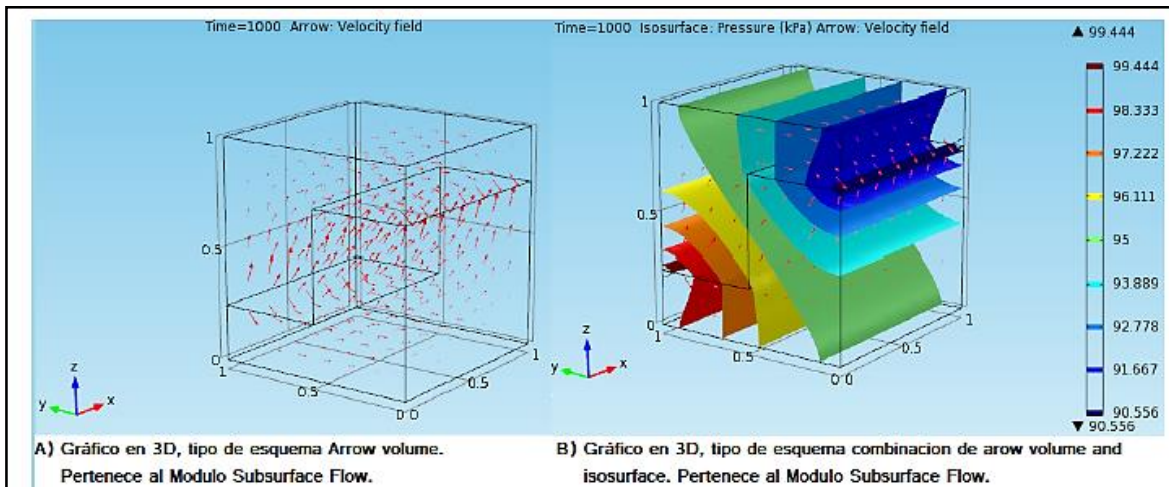
## VISUALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS.

En esta etapa final se muestran los resultados de la simulación, por lo tanto, aparece una imagen mostrando la solución del modelo. En esta etapa se muestran ciertas subcarpetas que auxilian al usuario a interpretar los resultados desde diferentes representaciones (esquemas o ilustraciones), es decir, mostrando una gráfica, una figura con alguna leyenda o simplemente una tabla con los valores correspondientes a los resultados deseados.

- Resultados de la simulación. Los resultados que se muestran en el último paso de la etapa de Proceso de simulación, contienen las características predeterminadas por el programa y por lo tanto se tienen que realizar algunas modificaciones antes de visualizar la solución esperada.
- Análisis de resultados. Existen diversas formas de representar la solución, la selección de esto depende de la forma en que se le facilite más al usuario la interpretación de la misma.



## DIFERENTES ESQUEMAS EN 3D PARA VISUALIZAR LA SOLUCIÓN.





## Bibliografía

- ❖ Frank kreith. (2012). Transferencia de calor. Santa Fe, México: Cengage learning Editores.
- ❖ McGraw-Hill. (1985). Transferencia de Calor. Mexico: Nueva Editorial interamericana, S.A de C.V.
- ❖ COMSOL (1998–2011, a), COMSOL Multiphysics Reference Guide, Versión 4.2a, disponible en la documentación del software.
- ❖ COMSOL (1998–2011, i), Structural Mechanics Module User's Guide, Versión 4.2a, disponible en la documentación del software.
- ❖ “INTRODUCCIÓN AL USO DEL SOFTWARE COMSOL Multiphysics”, [ADRIANA MENDOZA GUTIÉRREZ]. Available: <https://cutt.ly/lmbDVNV>



### Nota al lector:

Para la realización de elementos y otras funciones del programa Comsol consultar las guías adjuntadas en la aplicación de soporte móvil de la universidad.

i

---

<sup>i</sup> Información extraída del documento introducción al uso del software Comsol Mutiphysics, información comprobada y algunas imágenes propias tomadas de Comsol en su versión 5.6.0