

Trabajo Fin de Máster

Máster en Ingeniería Industrial

Estudio mediante elementos finitos de las condiciones óptimas de calentamiento por aplicación de ultrasonidos para criopreservación.

Autor: Pablo Garijo Forcada

Tutor: Ramón de Jesús Risco Delgado

Dpto. de Física Aplicada III
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020



Trabajo Fin de Máster
Máster en Ingeniería Industrial

Estudio mediante elementos finitos de las condiciones óptimas de calentamiento por aplicación de ultrasonidos para criopreservación.

Autor:

Pablo Garijo Forcada

Tutor:

Ramón de Jesús Risco Delgado

Profesor titular

Dpto. de Física Aplicado III

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020

Trabajo Fin de Máster: Estudio mediante elementos finitos de las condiciones óptimas de calentamiento por aplicación de ultrasonidos para criopreservación.

Autor: Pablo Garijo Forcada

Tutor: Ramón de Jesús Risco Delgado

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2020

El Secretario del Tribunal

A mi familia y amigos

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es el de encontrar unos valores aceptables para los parámetros que definen un sistema HIFU en el software de simulación Comsol Multiphysics. Todo ello para llevar a cabo un calentamiento óptimo de una muestra de tejido biológica. El valor de la frecuencia en este proyecto será de 2MHz y se utilizará la geometría de 6 transductores para el calentamiento de la muestra. Se estudiará como varían las condiciones de calentamiento a medida que se va modificando el tamaño del sistema para finalmente elegir cual es el valor más adecuado.

ABSTRACT

The objective of this Project is to find acceptable values for the parameters that define a HIFU system in Comsol Multiphysics simulation software. All this to carry out an optimal heating of a biological tissue sample. The value of the frequency in this project will be 2MHz and the geometry of 6 transducers will be used to heat the sample. It will be studied how the heating conditions vary as the size of the system is modified to finally choose which is the most appropriate value.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	19
1.1 INTRODUCCIÓN A LA CRIOPRESERVACIÓN	19
1.2 TÉCNICAS UTILIZADAS	19
1.2.1 <i>Slow freezing</i>	19
1.2.2 <i>Vitrificación</i>	20
1.3 BANCO DE ÓRGANOS	20
1.3.1 <i>Impacto del Banco de Órganos</i>	20
1.3.2 <i>Principal problema técnico para implementar la banca de órganos</i>	21
1.3.3 <i>Otros intentos de resolver el problema.</i>	23
1.3.4 <i>Solución</i>	23
2. OBJETIVOS DEL PROYECTO	26
3. METODOLOGÍA	27
3.1 SOFTWARE UTILIZADO (COMSOL MULTIPHYSICS)	27
3.2 DESCRIPCIÓN DEL MODELO	28
3.3 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO	29
3.4 MATERIALES DEL MODELO	30
3.5 ECUACIONES DEL MODELO	32
3.5.1 <i>Módulo de presión acústica</i>	32
3.5.2 <i>Transferencia de biocalor</i>	36
3.6 MALLADO	38
3.7 SUPOSICIONES DEL MODELO	39
4. RESULTADOS	40
4.1 CASO DE 600 W	43
4.1.1 <i>Evolución de temperaturas</i>	43
4.1.2 <i>Presión acústica</i>	44
4.1.3 <i>Transferencia de biocalor</i>	45
4.1.4 <i>Distribución del calentamiento por la muestra</i>	47
4.2 CASO DE 1500 W	52
4.2.1 <i>Evolución de temperaturas</i>	52
4.2.2 <i>Presión acústica</i>	53
4.2.3 <i>Transferencia de biocalor</i>	54
4.2.4 <i>Distribución del calentamiento por la muestra</i>	56
5. CONCLUSIONES	60
	13

6.	FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	61
7.	REFERENCIAS	62
8.	ANEXO	63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1: TECNOLOGÍA CT PATENTADA POR RAMÓN RISCO	21
ILUSTRACIÓN 2: PROBABILIDAD DE FORMACIÓN DE NUCLEOS DE HIELO Y DE CRECIMIENTO	22
ILUSTRACIÓN 3: PRINCIPIO DE ACCIÓN DEL HIFU	24
ILUSTRACIÓN 4: ESQUEMA HIFU	24
ILUSTRACIÓN 5: DISPOSITIVO DE RMN	25
ILUSTRACIÓN 6: DISPOSICIÓN DEL MODELO	28
ILUSTRACIÓN 7: 6 TRANSDUCTORES	29
ILUSTRACIÓN 8: PLANO INTERIOR DEL SISTEMA	30
ILUSTRACIÓN 9: PROPIEDADES MÚSCULO	30
ILUSTRACIÓN 10: PROPIEDADES HIELO	31
ILUSTRACIÓN 11: PROPIEDADES ETILENGLICOL	31
ILUSTRACIÓN 12: MODELOS DE FUENTES ACÚSTICAS MULTIPOLARES	34
ILUSTRACIÓN 13: MALLADO DEL SISTEMA	38
ILUSTRACIÓN 14: VARIACIÓN DE TEMPERATURAS EN CASO DE 600 W	43
ILUSTRACIÓN 15: CAMPO DE PRESIÓN ACÚSTICA 2D	44
ILUSTRACIÓN 16: CAMPO DE PRESIÓN ACÚSTICA 3D	44
ILUSTRACIÓN 17: NIVEL DE PRESION SONORA 2D	45
ILUSTRACIÓN 18: TEMPERATURA EN PLANO DE CORTE DE SUPERFICIE 3D	45
ILUSTRACIÓN 19: CONTORNOS ISOTÉRMICOS 3D EN EL SEGUNDO 0	46
ILUSTRACIÓN 20: CONTORNOS ISOTÉRMICOS 3D EN EL SEGUNDO 60	46
ILUSTRACIÓN 21: NUMERACIÓN VÉRTICES PARA STUDIO EN PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA	47
ILUSTRACIÓN 22: CALENTAMIENTO VÉRTICE 1 (600 W)	47
ILUSTRACIÓN 23: CALENTAMIENTO VÉRTICE 2 (600 W)	48
ILUSTRACIÓN 24: CALENTAMIENTO VÉRTICE 3 (600 W)	48
ILUSTRACIÓN 25: CALENTAMIENTO VÉRTICE 4 (600 W)	49
ILUSTRACIÓN 26: CALENTAMIENTO VÉRTICE 5 (600 W)	49
ILUSTRACIÓN 27: CALENTAMIENTO VÉRTICE 6 (600 W)	50
ILUSTRACIÓN 28: CALENTAMIENTO VÉRTICE 7 (600 W)	50
ILUSTRACIÓN 29: CALENTAMIENTO VÉRTICE 8 (600 W)	51
ILUSTRACIÓN 30: VARIACIÓN DE TEMPERATURAS EN CASO DE 1500 W	52
ILUSTRACIÓN 31: CAMPO DE PRESIÓN ACÚSTICA 2D	53
ILUSTRACIÓN 32: CAMPO DE PRESIÓN ACÚSTICA 3D	53
ILUSTRACIÓN 33: NIVEL DE PRESION SONORA 2D	54
ILUSTRACIÓN 34: TEMPERATURA EN PLANO DE CORTE DE SUPERFICIE 3D	54
ILUSTRACIÓN 35: CONTORNOS ISOTÉRMICOS 3D EN EL SEGUNDO 0	55
ILUSTRACIÓN 36: CONTORNOS ISOTÉRMICOS 3D EN EL SEGUNDO 60	55
ILUSTRACIÓN 37: CALENTAMIENTO VÉRTICE 1 (1500 W)	56

ILUSTRACIÓN 38: CALENTAMIENTO VÉRTICE 2 (1500 W)	56
ILUSTRACIÓN 39: CALENTAMIENTO VÉRTICE 3 (1500 W)	57
ILUSTRACIÓN 40: CALENTAMIENTO VÉRTICE 4 (1500 W)	57
ILUSTRACIÓN 41: CALENTAMIENTO VÉRTICE 5 (1500 W)	58
ILUSTRACIÓN 42: CALENTAMIENTO VÉRTICE 6 (1500 W)	58
ILUSTRACIÓN 43: CALENTAMIENTO VÉRTICE 7 (1500 W)	59
ILUSTRACIÓN 44: CALENTAMIENTO VÉRTICE 8 (1500 W)	59

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción a la criopreservación

La preservación de órganos y tejidos es un campo no muy explorado por la comunidad científica. Avances en esta área podría suponer un gran impulso en el ámbito de trasplantes, medicina regenerativa, descubrimiento de nuevos fármacos y cura del cáncer, entre otros.

La disponibilidad de órganos y tejidos es muy escasa, y el margen de tiempo para poder trasplantarlos demasiado corto, por lo que es de vital importancia encontrar una forma de conservación de las pocas unidades disponibles. De esta manera surge el concepto de los Banco de Órganos, que permitiría el almacenamiento de órganos y tejidos para ser utilizados cuando se requieran, es decir, la **criopreservación** de muestras.

La criopreservación de un tejido biológico es un proceso que nos permite guardar durante un intervalo de tiempo indefinido estos tejidos a unas temperaturas de 77 K (-196 °C).

La criopreservación está compuesta de dos etapas clave, el enfriamiento y el recalentamiento. El principal problema que presenta actualmente es la formación de cristales de hielo que causan daño a los órganos. Esto se debe a que en la etapa de enfriamiento se forman pequeños cristales de hielo, que no son perjudiciales en sí mismos (debido a su pequeño tamaño), sin embargo, crecen en la etapa de recalentamiento. Este problema se puede evitar en pequeñas muestras, realizando un recalentamiento rápido, pero no es tan sencillo de conseguir para muestras voluminosas.

1.2 Técnicas utilizadas

Las técnicas que se aplican en la criopreservación se pueden agrupar dentro de dos grupos: el slow freezing y la vitrificación.

1.2.1 Slow freezing

En este grupo de técnicas de criopreservación la muestra se encuentra sumergida en una solución isotónica con aproximadamente un 10% de un agente crioprotector. Una solución isotónica es aquella en la que la concentración de soluto es igual fuera y dentro de una célula.

El agente crioprotector deberá permanecer disuelto en agua en un amplio rango de temperaturas, deberá tener toxicidad baja y una alta permeabilidad de las membranas celulares a él.

El proceso del slow freezing empieza con un enfriamiento gradual del recipiente en el que se encuentra la muestra biológica y la solución con el crioprotector, aproximadamente a $-1^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Una vez alcanzada la congelación de la solución, a unos -5°C , se induce la formación de hielo en el medio extracelular. Este hielo

provoca que el agua del interior de las células biológicas salga por ósmosis, haciendo que la solución sea más concentrada y que descienda la temperatura de congelación interna de la célula. Un lento crecimiento del hielo permite que el agua del interior de la célula salga de la misma permitiendo la entrada del agente crioprotector, de manera que conforme disminuye la temperatura la concentración de crioprotector en la célula aumenta, permitiendo que no se forme hielo en el interior de esta.

Este proceso convierte la solución intracelular en un sólido amorfo, evitando que se formen cristales de agua congelada ya que sería letal para la célula.

Este método solamente es útil si las células tienen libertad para reubicarse entre las dendritas del hielo extracelular, es decir, en las zonas donde la concentración de soluto es alta.

1.2.2 Vitrificación

En esta técnica no se produce formación de hielo ni en el interior ni en el exterior de la célula, ya que está basada en el principio de que cualquier líquido solidifica sin formar cristales si la velocidad de enfriamiento es suficientemente alta. En principio, la velocidad de enfriamiento necesaria para vitrificar el tejido biológico tendría que ser del orden de $10^7\text{C}/\text{min}$, pero con la adición de algunos solutos se puede reducir esta velocidad de enfriamiento tanto como se desee, alterando la concentración de estos.

Se distinguen dos tipos de vitrificaciones: vitrificación mediante enfriamiento ultrarrápido (de no equilibrio) y vitrificación de equilibrio. La primera sería viable para sujetos del tamaño de una célula y la segunda lo sería para muestras grandes

1.3 Banco de órganos

1.3.1 Impacto del Banco de Órganos

La escasez de órganos para trasplantes aumenta aún más por la limitación logística (conservación, transporte, etc.) que afecta a un número significativo de injertos disponibles para trasplante. Casi el 70 % de los corazones de los donantes de la UE no se trasplantan, principalmente debido a los límites de conservación de la evaluación y la compatibilidad [1,2,3,4]. Por lo tanto, una mejor tecnología de conservación de órganos capaz de prolongar la vida y la calidad de los injertos aumentaría el número de trasplantes ya que facilitaría una mejor correspondencia entre los injertos y los receptores, reduciendo el período de espera y aumentando el número de trasplantes reales. Además, la criopreservación y los avances en el Banco de Órganos permitirán el uso de órganos y tejidos de donantes como herramientas para el descubrimiento de fármacos preclínicos; esto se traducirá en prometedoras plataformas experimentales disponibles y resultados en la industria biotecnológica y farmacéutica [5,6].

Los productos manufacturados procedentes de los avances en la impresión de órganos 3D y la ingeniería de tejidos, cuando estén optimizados, requerirán un método eficiente de almacenamiento y entrega [7]. En cuanto

a los pacientes de cáncer, debido a la quimioterapia y los tratamientos de radiación, los pacientes (mujeres en su mayoría) se vuelven infértiles y con un equilibrio hormonal deteriorado. Esto no sólo afecta los efectos sexuales de por vida en los pacientes, sino también su estado psicológico y otras condiciones que amenazan su vida.

La criopreservación tiene el potencial de ovarios y testículos enteros Organ Banking, lo que permite salvar la fertilidad de pacientes jóvenes con cáncer. Se definiría de ese modo la criopreservación como la solución para asegurar a millones de pacientes una vida normal y segura y mejorar su vida después de ganar su batalla contra el cáncer [8]. Los avances de la banca de órganos son esenciales para ayudar a los enfoques que buscan tratar las neoplasias malignas, enfermedades neurodegenerativas y otros desordenes [9]. Su relevancia también es evidente en la preparación para emergencias: la médula ósea y la sangre del cordón umbilical podrían beneficiar a decenas de miles de pacientes después de un accidente nuclear, de la recuperación y trasplante de extremidad [10] o después de quemaduras.

Para finalizar esta sección, a partir de un análisis puramente financiero, el actual proceso de donación + trasplante + tratamiento tiene unos costes muy elevados. En Europa, cambiar un pulmón enfermo por uno sano, cuesta 135.000€ y 130.000€, si hablamos de hígado. Le siguen el corazón (125.000€), el intestino (100.000€), la médula ósea (82.000€) y el páncreas (60.000€). La Banca de Órganos reducirá hasta un 80% estas cifras y aumentará el potencial del trasplante.

1.3.2 Principal problema técnico para implementar la banca de órganos

Una criopreservación efectiva implica ser capaz de superar con éxito tres etapas: enfriamiento, almacenamiento y calentamiento. Los dos primeros pasos, enfriamiento y almacenamiento se han resuelto hoy en día.



Ilustración 1: Tecnología CT patentada por Ramón Risco

Sin embargo, como se mencionó anteriormente, una dificultad importante sigue siendo: la recrystalización, que es, el crecimiento de grandes cristales de hielo, durante el proceso de recalentamiento [11]. La explicación del origen de este fenómeno es la siguiente: cuando la temperatura del órgano es inferior a 0 °C, se forma hielo. Sin embargo, dos fenómenos deben tener lugar para que los cristales de hielo aparezcan: la nucleación del hielo y el crecimiento del hielo:

- **Nucleación:** Las moléculas en medio acuoso tienden a agruparse y desagruparse aleatoriamente en núcleos. Si la agrupación de moléculas de agua alcanza cierto tamaño, la agitación térmica no es capaz de destruir dichos núcleos. Cuanto más baja sea la temperatura, menor tamaño necesitarán los núcleos porque la agitación térmica disminuye. La nucleación del hielo tiene lugar alrededor de $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (a estas bajas temperaturas la probabilidad termodinámica de formación de núcleos de hielo es alta)
- **Crecimiento:** formación de dendritas en los núcleos de hielo formados en el proceso de nucleación. Este crecimiento es un proceso impulsado por la viscosidad. En condiciones de alta viscosidad, la nucleación se detiene; el crecimiento de los núcleos de hielo sólo se produce si la viscosidad está por debajo de cierto umbral. Para los mejores crioprotectores disponibles (M22, VS55), estas dos regiones de temperatura relevantes, para la nucleación del hielo y para el crecimiento del hielo, no se superponen.

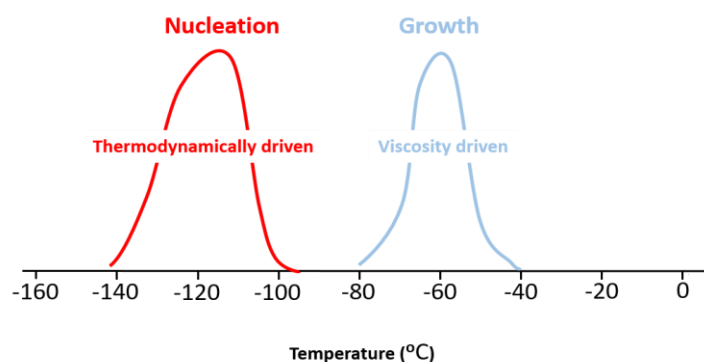


Ilustración 2: Probabilidad de formación de núcleos de hielo y de crecimiento

La región de crecimiento del hielo es de alrededor de $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (porque a esta temperatura no tan baja la viscosidad sigue siendo lo suficientemente baja como para permitir el crecimiento del hielo). Esto significa que, al enfriar la muestra, en primer lugar, cruza la región de cultivo de hielo ($-50\text{ }^{\circ}\text{C}$), pero no hay nada que crecer porque los núcleos no han aparecido todavía. Después cruza la región de nucleación del hielo ($-100\text{ }^{\circ}\text{C}$), pero los núcleos no pueden crecer porque la temperatura es tan baja que la alta viscosidad impide su crecimiento. Finalmente, la muestra se puede almacenar con estos diminutos núcleos (inocuos) sin ningún riesgo.

Sin embargo, durante el recalentamiento, la muestra tendrá que cruzar de nuevo la zona de $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, la región donde la viscosidad es baja, y el crecimiento se produce. Alrededor del nivel de $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, los núcleos de hielo adquirirán dimensiones macroscópicas, interrumpiendo los tejidos por daño mecánico y deteriorando la muestra.

La cascada de procesos ha sido bien establecida en lo que se considera como el mejor estudio sobre la vitrificación de órganos hasta ahora reportado²³. En este estudio, Fahy's et al perfundieron un riñón de conejo con crioprotector M22. Después de alcanzar temperaturas criogénicas, el órgano fue rearmado y trasplantado. El conejo receptor sobrevivió con este único riñón criopreservado Sin embargo, después, cuando se analizó el órgano, el daño claro por el hielo, procedente de la re-cristalización durante el calentamiento, fue evidente.

1.3.3 Otros intentos de resolver el problema.

Ya se han probado varios enfoques para evitar el crecimiento de los cristales de hielo durante el recalentamiento:

- Uso de microondas para un calentamiento rápido
- Optimización de la composición crioprotectiva
- Flowlock approach
- Uso de nano-calentamiento para un calentamiento rápido
- Altas presiones y conservación isocórica
- Uso de Tomografía
- Uso de proteínas anticongelantes.

Sin embargo, ninguno de ellos ha logrado la recuperación segura de tejidos y órganos vitrificados.

1.3.4 Solución

La solución sería la aplicación novedosa y disruptiva de la tecnología de ultrasonido, específicamente, la técnica de Ultrasonido Enfocado de Alta Potencia (HIFU). Esta técnica consiste en la aplicación de un haz de ultrasonido de alta frecuencia y gran energía para producir calentamiento, con la particularidad de que los tejidos circundantes no se ven afectados.

Los ultrasonidos son unas ondas de presión frecuencias de un rango inaudible para el ser humano (18Hz - 20 kHz), y son generados por un movimiento mecánico que induce una oscilación en las moléculas de un medio adyacente al de su posición de reposo. Las uniones de las moléculas del medio permiten que la onda mecánica se transmita, creando compresiones y rarefacciones en el mismo.

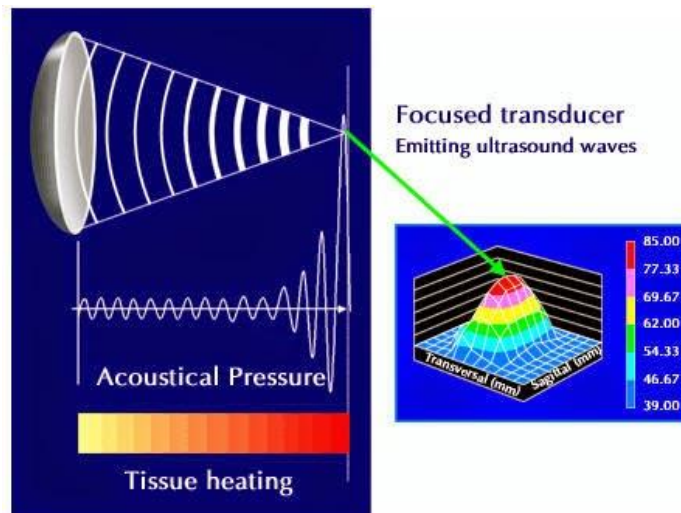


Ilustración 3: Principio de acción del HIFU

Los ultrasonidos son generados mediante un material piezoeléctrico sometido a una tensión, de forma que el material sufre contracciones y expansiones proporcionales a la corriente a la que se somete (desplazamiento normal del transductor, “Amplitud”). Los materiales piezoeléctricos más utilizados para aplicaciones médicas de HIFU son los policristalinos ferroeléctricos polarizados. Los campos de ultrasonidos generados por transductores acústicos dependen del tamaño, forma y frecuencia de la fuente.

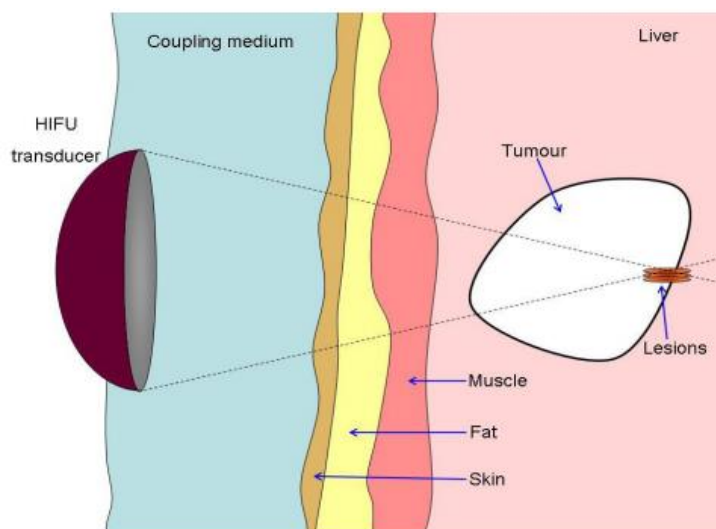


Ilustración 4: Esquema HIFU

La frecuencia de los ultrasonidos está directamente relacionada con la absorción y atenuación de estos en el medio; cuanto más aumenta la frecuencia del ultrasonido más rápidamente es absorbido. A la pérdida de intensidad del haz de ultrasonidos conforme avanza por los tejidos se le denomina atenuación.

La atenuación se debe a diversos factores como la absorción de los ultrasonidos por el tejido, reflexiones, dispersiones y refracciones provocados por la falta de homogeneidad en el medio, es decir, a que dos medios tengan una impedancia acústica distinta. La atenuación se mide mediante el coeficiente de atenuación

A pesar de la eficacia demostrada de HIFU en este tipo de aplicaciones médicas, hasta la fecha, no se ha aplicado esta técnica en el campo de la criopreservación. Mediante el uso de HIFU se podría lograr un recalentamiento suficientemente rápido y homogéneo y, de esta manera, evitar los fenómenos de recristalización en material biológico vitrificado, asegurando así su viabilidad. Una tasa alrededor de 55 - 100 ° C por minuto sería suficiente para evitar la recristalización, aunque esta tasa también dependerá de la concentración de CPA (agentes crioprotectores) utilizada. Cuanto menor sea la concentración de CPA, mayor será la tasa de recalentamiento necesaria, que es la razón principal para minimizar la concentración de CPA. Además, es necesario lograr un recalentamiento homogéneo del material biológico, lo que implica aumentar el área focal a un área similar a un tejido o un órgano. Esto se logra aumentando el área de los transductores de ultrasonido unas pocas decenas de cm modificando su geometría, o utilizando una serie de transductores.



Ilustración 5: Dispositivo de RMN

Esto sería suficiente para muchas aplicaciones de criopreservación. Para mejorar la aplicación de HIFU, con frecuencia, se utiliza una imagen en tiempo real. De esta manera, en las aplicaciones oncológicas de HIFU, los pacientes son introducidos en un dispositivo de Resonancia Magnética (RMN), como el de la ilustración 5. La RMN permite la visualización del tumor, estableciéndose en la zona donde se encuentra y su volumen con gran precisión. Este dispositivo genera un campo magnético que provoca la alineación de los átomos de hidrógeno contenidos en las moléculas de agua. Luego se aplica un pulso de radiofrecuencia que altera la alineación de estos átomos, produciendo así una señal detectable por un escáner. Esta tecnología es una gran ventaja para asegurar que el proceso de recalentamiento sea uniforme en todo el órgano, lo que garantiza la ausencia de crecimiento de cristales de hielo y el consiguiente daño al órgano.

2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

En este trabajo fin de máster va a realizar un estudio que simula como se comporta un sistema HIFU aplicado al ámbito de la criopreservación. Para la realización de este trabajo se va a utilizar el software de elementos finitos llamado Comsol Multiphysics.

La frecuencia del sistema será de 2 MHz generados por 6 transductores esféricos. Mediante la aplicación de dichos ultrasonidos se pretende el recalentamiento de una muestra de tejido biológico.

Los apartados del trabajo serán:

- Descripción del modelo
- Construcción del modelo
- Definición de materiales del modelo
- Definición del módulo de presión acústica
- Definición del módulo de transferencia de biocalor
- Mallado del modelo
- Estudio e interpretación de resultados

En este trabajo se va a estudiar también el comportamiento del sistema al variar el tamaño del mismo, teniendo fijos tanto la amplitud de los transductores como la frecuencia del sistema.

3. METODOLOGÍA

En este capítulo se desarrollarán todos los apartados de nuestro proyecto, desde la descripción del software a utilizar, hasta la obtención del modelo más fiable.

3.1 Software utilizado (Comsol multiphysics)

Los ingenieros y científicos han tenido que hacer suposiciones durante mucho tiempo para poder hacer realidad sus ideas de diseño. A medida que pasa el tiempo, estos supuestos se van perfeccionando, y en algunos casos incluso se eliminan, lo que permite obtener resultados más precisos. La multifísica es uno de los principales facilitadores para eliminar los supuestos. ¿Cómo? Acoplando aplicaciones físicas relacionadas para incluir todos los factores necesarios para un modelo completo. COMSOL Multiphysics es un software de simulación diseñado para proporcionar los resultados más precisos minimizando las suposiciones que deben hacer sus usuarios.

Los usuarios de COMSOL Multiphysics están libres de la naturaleza restrictiva generalmente asociada con el software de simulación. El usuario de COMSOL tiene el control total de su modelo. La capacidad de acoplar cualquier número de física e ingresar expresiones y físicas definidas por el usuario directamente en un modelo permite a los usuarios de COMSOL ser creativos de una manera que no es posible o simplemente mucho más difícil con otro software de simulación.

Para comprobar como influyen la variación de una serie de parámetros en el calentamiento de una muestra, se han llevado a cabo diferentes simulaciones en el programa Comsol Multiphysics, que es un software de simulación de uso general para modelar diseños, dispositivos y procesos en todos los campos de la ciencia. En este proyecto, se han usado dos de los módulos que posee el software, transferencia de biocalor y presión acústica.

3.2 Descripción del modelo

En este proyecto se va a llevar a cabo el calentamiento de una muestra de tejido biológico por medio de la utilización de 6 transductores dispuestos en cada una de las caras de un cubo alrededor de la muestra.

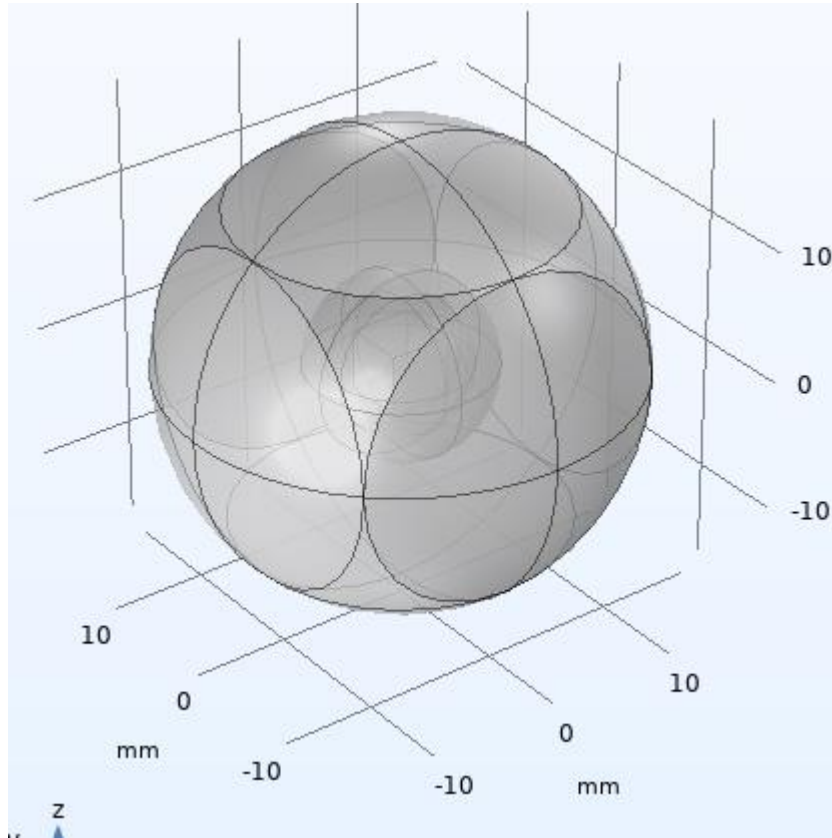


Ilustración 6: Disposición del modelo

Las partes que formarán el Sistema con el que se va a realizar el trabajo son las siguientes:

- **Muestra de tejido muscular:** será el objeto a calentar para ser recuperado de un estado de criopreservación. Se estudiará cuál es su tamaño óptimo para obtener un calentamiento adecuado con las potencias disponibles.
- **Hielo:** será un bloque que contenga dentro la muestra de tejido biológico.
- **Transductores:** Los elementos encargados de producir los ultrasonidos que se utilizarán para calentar la muestra de tejido biológico. Al igual que con la muestra de tejido muscular, se estudiará cuáles son sus dimensiones óptimas para obtener unas condiciones de calentamiento adecuadas.
- **Etilenglicol:** fluido que ocupa el resto de las dimensiones del Sistema y que es el encargado de transmitir las ondas de ultrasonidos desde los transductores hasta la muestra de tejido a calentar.

3.3 Construcción del modelo

En este apartado se explicará al detalle como se ha llevado a cabo la construcción del sistema con el que se va a trabajar. El software a utilizar es el COMSOL Multiphysics, como se ha comentado con anterioridad.

La geometría será creada mediante la propia herramienta que ofrece el COMSOL Multiphysics, aunque se podría importar esta misma desde otros programas como AutoCad.

Al utilizar 6 transductores en nuestro ensayo, se optará por una geometría en 3 dimensiones, que facilitará el proceso. Otra opción sería crear el sistema en 2 dimensiones y revolucionarlo.

- **Transductores:** se construirá una esfera de radio R a la que se restará mediante la función “diferencia” un cubo con la siguiente expresión de lado:

$$L = \sqrt{2 * R^2} \quad (1)$$

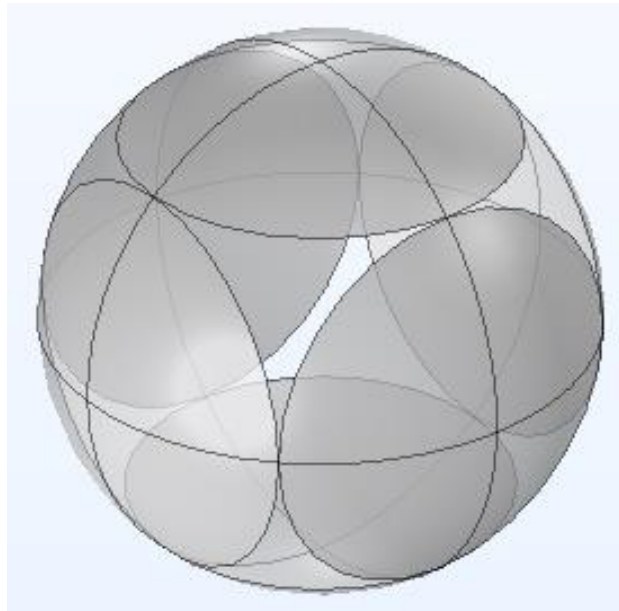


Ilustración 7: 6 Transductores

- **Muestra de tejido biológico:** se creará un cubo con lado $R/3.75$ que representará la muestra de tejido muscular a calentar.
- **Hielo:** bloque esférico de radio $0.3*R$ que contendrá la muestra de tejido biológica.
- **Etilenglicol:** Se rellenará el espacio restante del sistema con este fluido.
- **Se creará una esfera de radio $0.4*R$** que se utilizará más adelante como foco de calentamiento de los ultrasonidos.

El resultado de todos estos pasos es el siguiente

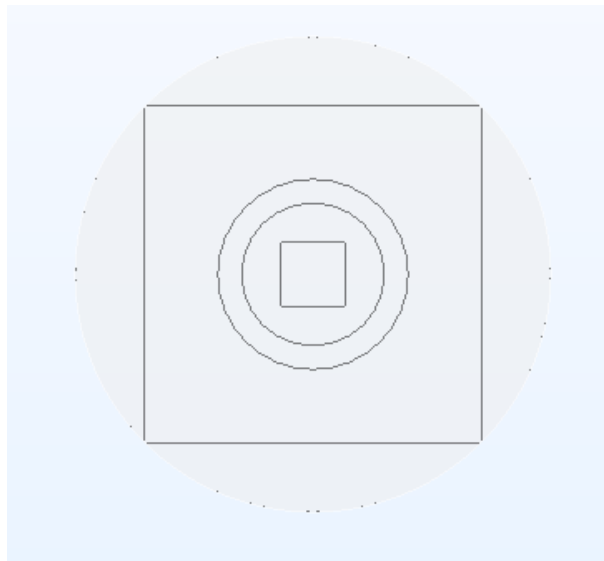


Ilustración 8: Plano interior del Sistema

Al finalizar el proceso de construcción de la geometría hay que materializar las uniones mediante la función “Unión”, ya que podría dar problemas a la hora de trabajar con el sistema en caso de no hacerlo. Obtendremos así un sistema cuyas dimensiones dependen todas de un radio, de manera que se podrá ir escalando el sistema en función a ese radio e ir observando los cambios en los resultados y en el calentamiento.

3.4 Materiales del modelo

Una vez creada la geometría y definidas todas las secciones del modelo, es necesario la asignación de unas propiedades físicas a cada una para que el programa pueda aplicar las ecuaciones propias del sistema que se quiere estudiar. Para ello, COMSOL cuenta con una amplia librería de materiales de la que se escogerán y asignarán los necesarios para el modelo. Los parámetros que no se correspondan con lo que se va a utilizar en el ensayo pueden ser ajustados a mano

- **Músculo:** es el material con el que se va a definir al bloque de tejido biológico. Será el material que se va a someter al calentamiento.

» Propiedad	Variable	Expresión	Unidad	Tamaño	Info
Capacidad térmica con presi...	Cp	3421[J/(kg*K)]	J/(kg·K)	1x1	
Densidad	rho	1090[kg/m^3]	kg/m ³	1x1	
Conductividad térmica	k_iso ; kii = k...	0.49[W/(m*K)]	W/(m·K)	3x3	
Velocidad del sonido	c	1585	m/s	1x1	
Coefficiente de dilatación adi...	gamma	0.5	1	1x1	

Ilustración 9: Propiedades músculo

- **Hielo:** Será el material que rodeará la muestra de tejido biológico. En los ensayos reales se utiliza una solución isotónica que reduce la creación de cristales en el proceso de cristalización, pero para este ensayo se va a utilizar el hielo ya que este proceso de cristalización no va a ser representado en el programa y se cuenta con unas propiedades similares a las de la solución isotónica.

»	Propiedad	Variable	Valor	Unidad	Grupo de propiedad
✓	Conductividad térmica	k_iso ; ki...	k_solid_1(T...	W/(m·K)	Básico
✓	Capacidad térmica con presión consta...	Cp	C_solid_1(T...	J/(kg·K)	Básico
✓	Densidad	rho	rho_solid_1...	kg/m ³	Básico
✓	Velocidad del sonido	c	5130	m/s	Básico
	Propiedad local Syt	Syt	Syt_solid_t...	Pa	Propiedades locales
	Coefficiente de expansión térmica	alpha_is...	(alpha_soli...	1/K	Básico
	Propiedad local HC	HC	HC_solid_1...	J/(mol·K)	Propiedades locales
	Propiedad local VP	VP	VP_solid_1(...	Pa	Propiedades locales
	Propiedad local TD	TD	TD_solid_1(...	m ² /s	Propiedades locales
	Coefficiente de dilatación adiabática	gamma	1.3	1	Básico
	Coefficiente tangencial de expansión t...	alphatan...	CTE_solid_...	1/K	Expansión térmica
	Deformación térmica	dL_iso ;...	(dL_solid_1...	1	Expansión térmica
	Coefficiente tangencial isotrópico de e...	alphatan...	CTE_solid_...	1/K	Expansión térmica
	Deformación térmica isotrópica	dLiso	(dL_solid_1...	1	Expansión térmica
	Módulo de Young	E	E(T[1/K])[Pa]	Pa	Módulo de Young y coeficiente...
	Coefficiente de Poisson	nu	1	1	Módulo de Young y coeficiente...

Ilustración 10: Propiedades hielo

- **Etilenglicol:** Será el fluido encargado de la transmisión de las ondas de ultrasonidos. Cuenta con un punto de solidificación bajo y una viscosidad alta, por lo que es difícil que se solidifique a bajas temperaturas.

»	Propiedad	Variable	Valor	Unidad	Grupo de propiedad
✓	Capacidad térmica con presión consta...	Cp	Cp(T)	J/(kg·K)	Básico
✓	Densidad	rho	rho(T)	kg/m ³	Básico
✓	Conductividad térmica	k_iso ; ki...	k(T)	W/(m·K)	Básico
✓	Velocidad del sonido	c	1500	m/s	Básico
✓	Coefficiente de dilatación adiabática	gamma	0.0062	1	Básico
	Viscosidad dinámica	mu	eta(T)	Pa·s	Básico

Ilustración 11: Propiedades etilenglicol

3.5 Ecuaciones del modelo

En este apartado se van a definir las ecuaciones que rigen el sistema físico con el que se va a trabajar. Dentro de nuestro sistema se va a hacer uso de dos módulos (módulo de presión acústica y módulo de transferencia de biocalor) de forma simultánea de modo que las ondas de ultrasonido que producen los transductores y que se propagan por el etilenglicol hasta la muestra, se conviertan en calor, provocando en esta un calentamiento.

3.5.1 Módulo de presión acústica

El módulo de presión acústica trabaja siguiendo la ecuación de Helmholtz:

$$\nabla \cdot \left(-\frac{1}{\rho_c} (\nabla p_t - q_d) \right) - \frac{k_{eq}^2 \cdot p_t}{\rho_c} = Q_m \quad (2)$$

$$\rho_c = \frac{\rho \cdot c^2}{c_c^2} \quad (3)$$

$$p_t = p + p_b \quad (4)$$

$$k_{eq}^2 = \left(\frac{\omega}{c_c} \right)^2 \quad (5)$$

$$c_c = \frac{\omega}{k} \quad (6)$$

$$k = \frac{\omega}{c} - i \cdot \ln(10) \cdot \frac{\alpha}{20} \quad (7)$$

Dónde:

Q_m Fuente acústica monopolar

q_d Fuente acústica dipolar

ρ Densidad del medio

c Velocidad del sonido en el medio

p_t Presión total ejercida por ondas acústicas

p_b Campo de presión de fondo

ω Frecuencia angular

α Coeficiente de atenuación

La ecuación de Helmholtz se deduce de la ecuación de onda aplicando la técnica de separación de variables de la forma en la que se desarrolla a continuación. La ecuación de onda depende de una variable espacial (r) y de una variable temporal (t):

$$\left(\nabla^2 - \frac{1}{c^2} \frac{\delta^2}{\delta t^2} \right) u(r, t) = 0 \quad (8)$$

Separación de variables:

$$u(r, t) = A(r)T(t) \quad (9)$$

Sustituyendo y simplificando se obtiene:

$$\frac{\nabla^2 A}{A} = \frac{1}{c^2 T} \frac{d^2 T}{dt^2} \quad (10)$$

$$\frac{\nabla^2 A}{A} = -k^2 \quad (11)$$

$$\frac{1}{c^2 T} \frac{d^2 T}{dt^2} = -k^2 \quad (12)$$

Donde la ecuación (11) depende exclusivamente de la variable espacial y la ecuación (12) depende del tiempo. Reorganizando la ecuación (11) se obtiene la ecuación de Helmholtz:

$$\nabla^2 A + k^2 A = (\nabla^2 + k^2)A = 0 \quad (13)$$

En la ecuación (2) se observan dos tipos de fuentes acústicas, fuente acústica monopolar y fuente acústica dipolar.

Un monopolo es una fuente que irradia sonido igualmente en todas direcciones. El ejemplo más simple de una fuente monopolar sería una esfera cuyo radio se expande y contrae alternativamente sinusoidal

La fuente monopolar crea una onda de sonido alternativamente por la introducción y la extracción de líquido en la zona circundante. Un altavoz en caja a bajas frecuencias actúa como un monopolo.

Una fuente monopolar puede modelarse con una fuente puntual acústica que exhibe un patrón de simetría esférica de la radiación que emite.

Las fuentes multipolo de orden n pueden construirse a partir de la colección de $2n$ fuentes puntuales monopolo que emitan a la misma frecuencia ubicadas periódicamente en el mismo plano, a lo largo de un círculo, pero con signo contrario.

Una fuente de dipolo consiste en dos fuentes de monopolo de igual intensidad pero de fase opuesta y separados por una distancia pequeña en comparación con la longitud de onda del sonido. El resultado es que el fluido cerca de las dos fuentes salpica de un lado a otro para producir el sonido. Una esfera que oscila hacia adelante y hacia atrás actúa como una fuente dipolar, al igual que un altavoz sin embalaje (mientras que el frente está empujando hacia afuera la parte de atrás está chupando). Una fuente dipolar irradia en todas las direcciones por igual.

Si dos monopolos de fases opuestas forman un dipolo, dos dipolos opuestos constituyen una fuente cuadrupolo. En un cuadrupolo lateral, la disposición de los dos dipolos no se encuentran en la misma línea (cuatro monopolos con fases alternas en las esquinas de un cuadrado) [12].

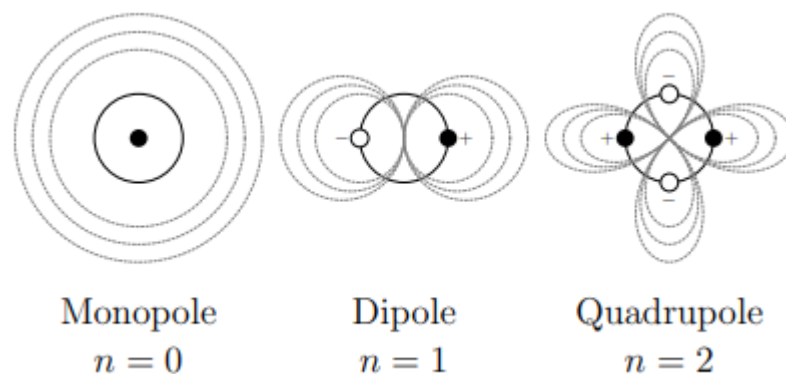


Ilustración 12: Modelos de fuentes acústicas multipolares

Ya que ninguno de estos tipos de Fuente se corresponde con lo que encontramos en nuestra simulación, se considerará que la fuente acústica la formarán los transductores del sistema. La ecuación (2) es la ecuación de Helmholtz no homogénea, pero es equivalente a la ecuación (10) para $A = \frac{p_t}{\rho_c}$ ya que las fuentes monopulares y dipolares se consideran nulas.

$$\nabla^2 A(x) + k^2 A(x) = -f(x) \quad (14)$$

Los transductores serán sometidos a un desplazamiento normal a su posición a alta frecuencia. Obedeciendo a la ecuación (15) se aplica sobre estas superficies un desplazamiento normal, que genera los ultrasonidos causantes del calentamiento.

$$-n \cdot \left(-\frac{1}{\rho c} (\nabla p_t - q_d) \right) = (i \cdot \omega)^2 \cdot d_n \quad (15)$$

Donde:

n es el vector normal a la superficie.

d_n es el desplazamiento normal del transductor.

En el software Comsol Multiphysics no se puede introducir el parámetro de potencia directamente, pero este valor está directamente relacionado con el desplazamiento normal de los transductores, que sí que es necesario introducir. La relación entre estas dos magnitudes se da de la siguiente forma

$$u_0 = 2\pi f d_n \quad (16)$$

$$I = \frac{1}{2} \rho c u_0^2 \quad (17)$$

$$I = \frac{P}{A} \quad (18)$$

Dónde:

u_0 : Velocidad instantánea de la partícula

f : Frecuencia.

I : Intensidad acústica sobre la superficie del transductor

d_n : Desplazamiento normal del transductor

ρ : Densidad del medio

c : Velocidad del sonido en el medio

A : Área del transductor

P : Potencia del transductor

De esta forma, el valor de la potencia de cada uno de los transductores vendrá dado por la siguiente expresión:

$$P = \frac{1}{2} * \rho * c * (2\pi f d_n)^2 * (\pi r^2) \quad (19)$$

Siendo r el radio del transductor

El módulo de presión acústica vendrá definido por:

- **Presiones acústicas:** incluirá las ecuaciones anteriormente mencionadas que modelan el comportamiento en las diferentes secciones teniendo en cuenta la temperatura de dicha sección, su presión absoluta y el tipo de modelo de presiones con el que se trabajará (se ha definido uno propio teniendo en cuenta el coeficiente de atenuación de cada tipo de material)
- **Valores iniciales:** se definen las presiones iniciales de todas las secciones que forman parte del modelo.
- **Radiación de onda esférica:** es necesario indicarle al programa cómo se comportarán las ondas en los límites del modelo indicado al expandirse por el recipiente, de tal forma que la simulación sea lo más real posible. En nuestro caso, al tratarse de un recipiente esférico, tendremos que asignar ese tipo de radiación en los límites exteriores.
- **Desplazamiento normal:** será necesario asignarles a los 6 contornos exteriores del sistema (transductores) la capacidad de desplazarse normalmente, para así producir las ondas de ultrasonidos a la frecuencia indicada. La amplitud de este desplazamiento estará determinada en el apartado “parámetros” con el nombre “Amplitud”.

3.5.2 Transferencia de biocalor

El modulo de la transferencia de biocalor se rige por las siguientes ecuaciones:

$$\rho c_p u \cdot \nabla T + \nabla \cdot q = Q + Q_{bio} \quad (20)$$

$$q = -k \nabla T \quad (21)$$

Dónde:

u Vector de velocidad del fluido

c_p : capacidad calorífica a presión constante

K : Conductividad térmica

Q : Fuente de calor

q : Flujo de calor conductivo

Q_{bio} : Amortiguación termoelástica

La amortiguación termoelástica es una fuente de amortiguación intrínseca del material debido a la termoelasticidad presente en él. Como su nombre sugiere, describe el acoplamiento entre el campo elástico causado por la deformación y el campo de temperaturas.

Para cualquier material vibrante, el campo de deformación causa un cambio en la energía interna, de modo que la región comprimida se calienta (suponiendo un coeficiente de expansión térmica positivo) y la región extendida se enfría. La causa de la amortiguación termoelástica es la falta de equilibrio térmico entre los distintos puntos del material. La energía se disipa cuando se produce un flujo de calor irreversible impulsado por el gradiente de temperatura.

Para simular las fuentes de calor, COMSOL resuelve la siguiente ecuación:

$$\rho \cdot c_p u \cdot \nabla T + \nabla \cdot q = Q + Q_{ted} + Q_{vd} \quad (22)$$

Donde Q_{vd} hace referencia a la disipación viscosa, que es el proceso irreversible mediante el cual el trabajo realizado por un fluido en capas adyacentes por a la acción de las fuerzas de corte se transforma en calor.

El módulo de transferencia de biocalor viene definido por:

- **Tejido biológico:** aquí se definirá la muestra de tejido biológico indicando la temperatura a la que se encuentra.
- **Valores iniciales:** Se definirán en este apartado las temperaturas iniciales de todos los elementos del sistema:
 - o Tejido biológico: 133 K
 - o Hielo: 133 K
 - o Etilenglicol: 225 K
 - o Transductores: temperatura ambiente (293 K)
- **Etilenglicol:** Al igual que con la muestra de tejido biológico, se definirá que elementos están formados por etilenglicol indicando su temperatura.
- **Hielo:** Se definirá como sólido el bloque de hielo para que la simulación sea lo más real posible.
- **Fuente de calor:** Será la función que transforme la energía acústica, producida en el módulo de presión acústica, en energía calorífica. El valor que utiliza para esta transformación es el de la densidad de potencia del modulo anterior (acpr.Q_pw).

3.6 Mallado

En otros ensayos se había creado una malla específica para cada módulo. Sin embargo al trabajar en 3 dimensiones, se encontraban algunos problemas con el tema del mallado, ya que era complicado ver bien cómo se estaban mallando las superficies interiores.

Finalmente se concluyó que lo más adecuado sería utilizar una malla controlada por la física con el tamaño de elemento lo suficientemente pequeño como para obtener unos resultados coherentes y buenos. El tamaño de element utilizado fue el “más fino”.

La malla quedó de la siguiente forma:

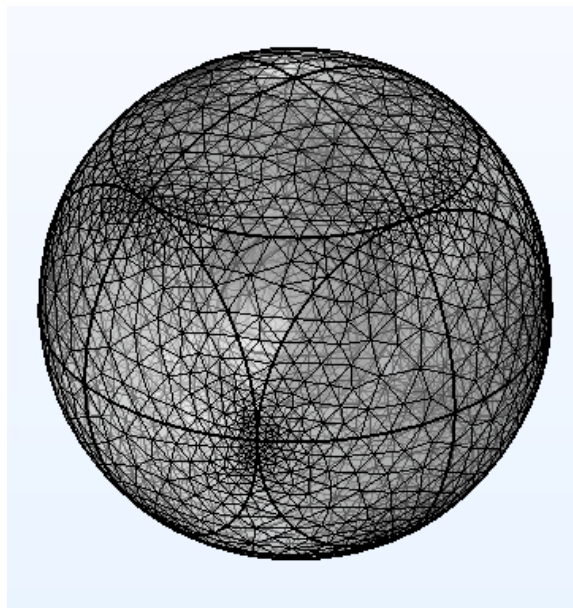


Ilustración 13: Mallado del Sistema

3.7 Suposiciones del modelo

Durante la realización de este proyecto se han llevado a cabo una serie de suposiciones:

- Las temperaturas iniciales de los elementos del modelo son:
 - Tejido biológico: 133K
 - Hielo: 133K
 - Etilenglicol: 225K
 - Transductores: 293K
- La frecuencia utilizada será de 2 MHz
- Los coeficientes de atenuación serán:
 - Músculo: 0.7 1/m
 - Hielo: 0.05 1/m
 - Etilenglicol: 0.855 1/m
- El tiempo que va a durar el ensayo va a ser de 60 segundos
- El trabajo es un estudio de las condiciones de calentamiento del sistema a medida que este cambia de tamaño. Todo el sistema está en función de un parámetro, que será el que vaya variando.
- El parámetro de “Amplitud” tiene un valor de 100 nm
- Se comprobará hasta qué tamaño se producen calentamientos aceptables en la muestra, teniendo en cuenta que un calentamiento aceptable consiste en:
 - Velocidad de calentamiento cercana a los 100 K/min
 - Diferencia de temperaturas entre puntos de la muestra a calentar < 10K

4. RESULTADOS

Al ser este trabajo un estudio de condiciones de calentamiento se va a comprobar como afecta la variación del tamaño a estas. Se va a dejar fija la variable del tiempo en unos 60 segundos para disminuir el rango del estudio ya que, si se varía también esta variable, el estudio sería demasiado amplio y no se obtendrían resultados en un periodo de tiempo corto.

Se realizará el estudio del módulo del sonido en el dominio de la frecuencia y posteriormente se hará lo mismo con el módulo de la transferencia de biocalor para un intervalo temporal de 60 segundos como se ha explicado.

Teniendo en cuenta todos los parámetros anteriormente descritos, se ha realizado un estudio de cómo varían los calentamientos a medida que aumenta el tamaño del sistema y los resultados son los siguientes:

Nº TRANSD.	R TRANSD. [m]	POTENCIA/TRANSD [W]	POTENCIA TOTAL [W]	CALENTAMIENTO [K]	TIEMPO [s]	DIFERENCIA T	VÁLIDO	R ESFERA [m]	VOLUMEN TOTAL [m³]	KG ETILENGLICOL	BLOQUE A CALENTAR
6	0,00212132	18,68562258	112,1137355	133-225	10	<10	SI	0,003	1,13097E-07	0,000126217	0,0008
6	0,002474874	25,43320851	152,5392511	133-320	60	<10	SI	0,0035	1,79594E-07	0,000200427	0,0009333333
6	0,002828427	33,21888458	199,3133075	133-800	60	>140	SI	0,004	2,68083E-07	0,00029318	0,001066667
6	0,003181981	42,0426508	252,2559048	133-380	60	<10	SI	0,0045	3,81704E-07	0,000425981	0,0012
6	0,003535534	51,90450716	311,427043	133-420	60	<10	SI	0,005	5,23599E-07	0,000584336	0,001333333
6	0,003889087	62,80445367	376,826722	133-650	60	<50	SI	0,0055	6,9691E-07	0,000777752	0,001466667
6	0,004242641	74,74249031	448,4549419	133-540	60	<20	SI	0,006	9,04779E-07	0,001009733	0,0016
6	0,004596194	87,71861711	526,3117026	133-570	60	<10	SI	0,0065	1,15035E-06	0,001283787	0,001733333
6	0,004949747	101,732834	610,3970042	133-1050	60	<50	SI	0,007	1,43676E-06	0,001603419	0,001866667
6	0,005303301	116,7851411	700,7108467	133-940	60	<10	SI	0,0075	1,76715E-06	0,001972135	0,002
6	0,005656854	132,8755383	797,25323	133-1200	60	<15	SI	0,008	2,14466E-06	0,002393441	0,002133333
6	0,006010408	150,0040257	900,0241542	133-2000	60	<20	SI	0,0085	2,57244E-06	0,002870844	0,002266667
6	0,006363961	168,1706032	1009,023619	133-750	60	<10	SI	0,009	3,05363E-06	0,003407849	0,0024
6	0,006717514	187,3752709	1124,251625	133-2400	60	<50	SI	0,0095	3,59136E-06	0,004007962	0,002533333
6	0,007071068	207,6180287	1245,708172	133-920	60	<10	SI	0,01	4,18879E-06	0,00467469	0,002666667
6	0,007424621	228,8988766	1373,39326	133-720	60	<10	SI	0,0105	4,84905E-06	0,005411538	0,0028
6	0,007778175	251,2178147	1507,306888	133-920	60	<10	SI	0,011	5,57528E-06	0,006222012	0,002933333
6	0,008131728	274,5748429	1647,449057	133-1060	60	<10	SI	0,0115	6,37063E-06	0,007109619	0,003066667
6	0,008485281	298,9699613	1793,819768	133-670	60	<10	SI	0,012	7,23823E-06	0,008077864	0,0032
6	0,008838835	324,4031698	1946,419019	133-660	60	<10	SI	0,0125	8,18123E-06	0,009130254	0,003333333
6	0,009192388	350,8744684	2105,246811	133-660	60	<10	SI	0,013	9,20277E-06	0,010270294	0,003466667
6	0,009545942	378,3838572	2270,303143	133-710	60	<10	SI	0,0135	1,0306E-05	0,01150149	0,0036
6	0,009899495	406,9313362	2441,588017	133-420	60	<10	SI	0,014	1,1494E-05	0,012827349	0,003733333
6	0,010253048	436,5169052	2619,101431	133-470	60	<10	SI	0,0145	1,27701E-05	0,014251376	0,003866667
6	0,010606602	467,1405645	2802,843387	133-330	60	<10	SI	0,015	1,41372E-05	0,015777078	0,004
7	0,010748023	479,6806934	3357,764854	133-270	60	<10	SI	0,0152	1,47102E-05	0,016416613	0,004053333
8	0,010889444	492,3869167	3939,095334	133-250	60	<10	SI	0,0154	1,52986E-05	0,017073202	0,004106667
6	0,010960155	498,8023138	2992,813883	133-225	60	<10	SI	0,0155	1,55985E-05	0,017407961	0,004133333
6	0,011313708	531,5021533	3189,01292	133-225	60	<10	SI	0,016	1,71573E-05	0,01914753	0,004266667
6	0,011667262	565,240083	3391,440498	133-220	60	<10	SI	0,0165	1,88166E-05	0,020999291	0,0044
6	0,012020815	600,0161028	3600,096617	133-220	60	<10	SI	0,017	2,05795E-05	0,022966751	0,004533333
6	0,019091883	1513,535429	9081,212573	133-220	60	<10	SI	0,027	8,2448E-05	0,092011921	0,0072
6	0,026162951	2842,290812	17053,74487	133-215	150	<10	NO	0,037	0,000212175	0,236787066	0,009866667
6	0,031819805	4204,26508	25225,59048	133-215	450	<10	NO	0,045	0,000381704	0,425981114	0,012

Haciendo calentamientos de 60 segundos, se obtienen valores válidos hasta la utilización de transductores de unos 2cm de radio (1500 W de potencia). La franja azul es donde se aprecia mucha similitud en las gráficas, pero a partir de ese valor de los 2cm (1500 W) el calentamiento tarda más, por lo que pasa a ser valores no válidos para los 60 segundos ya que se producirían velocidades de calentamiento que no llegarían a los 100 K/min.

A continuación, se estudiarán más en profundidad los casos de 600 y 1500 W ya que lo que se busca es saber cual es el máximo tamaño de muestra que se podría calentar de forma eficiente y con unas condiciones de calentamiento adecuadas en 60 segundos.

En ambos casos el calentamiento tiene condiciones similares:

- 90K/min
- Gradiente de temperaturas menor a 10 K

4.1 Caso de 600 W

4.1.1 Evolución de temperaturas

A continuación, se mostrarán las graficas de la variación de temperaturas a lo largo de los 60 segundos de ensayo.

Se han colocado sondas en intervalos de 0.25 mm desde el centro de la muestra de tejido biológico hasta los 2.8 mm (Esquina de un cubo de lado 2mm) y los resultados que dan estas sondas son los siguientes.

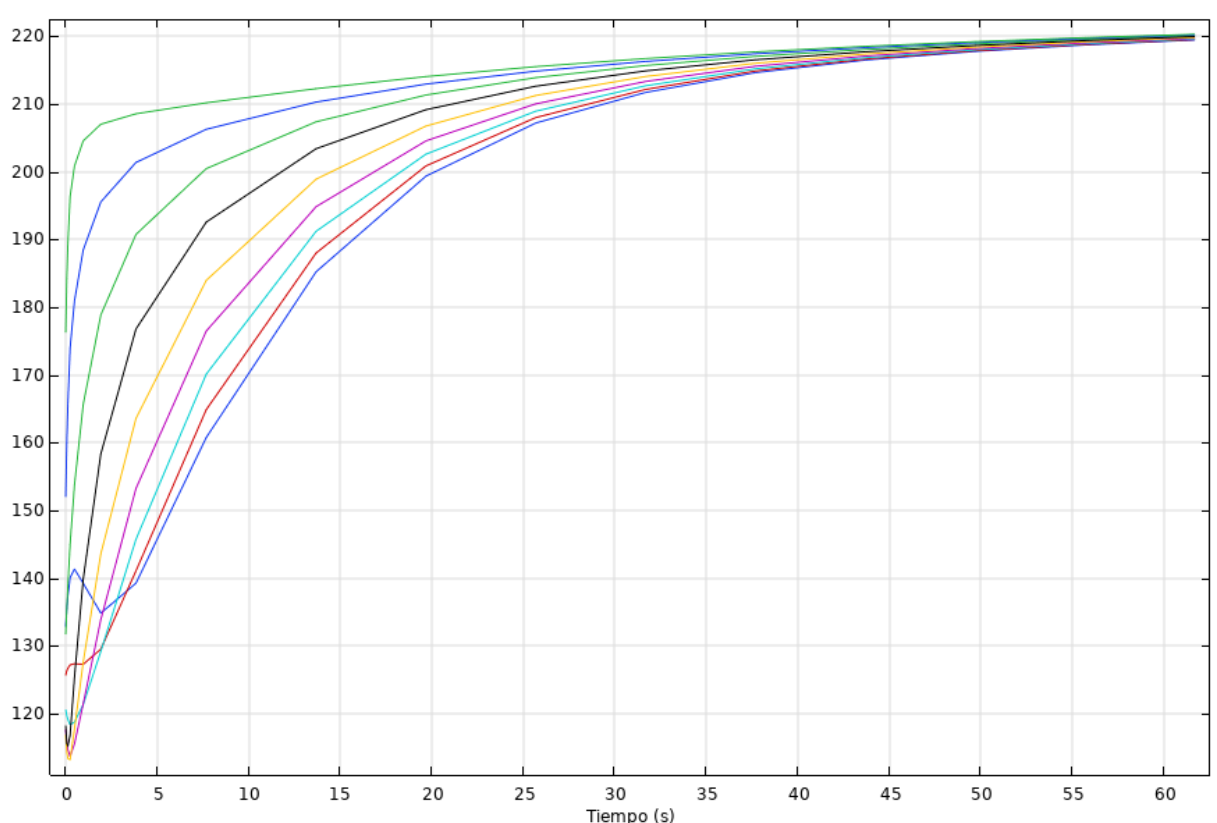


Ilustración 14: Variación de temperaturas en caso de 600 W

En el caso de 600 W de potencia, la muestra a calentar es, en principio, de unos 4,5 mm de lado por lo que las sondas llegan casi hasta su parte más externa. Se observa un calentamiento rápido de 133 a 205 K en aproximadamente 20 segundos. La velocidad de calentamiento es en ese tramo cercana a los 240°C/min.

Sin embargo se puede apreciar como al principio el calentamiento es Desigual entre el centro de la muestra (gráfica negra) y la sonda más externa (gráfica verde) habiendo diferencias grandes de temperature.

Un calentamiento con condiciones adecuadas sería el que se da con la sonda de 0.75 mm (Sonda violeta), donde la máxima diferencia de temperature entre ella y la del centro de la pieza es de 10 K

4.1.2 Presión acústica

A continuación, se muestran las gráficas más representativas del estudio de presión acústica que Comsol ofrece, para una potencia de 600W y una frecuencia de 2MHz.

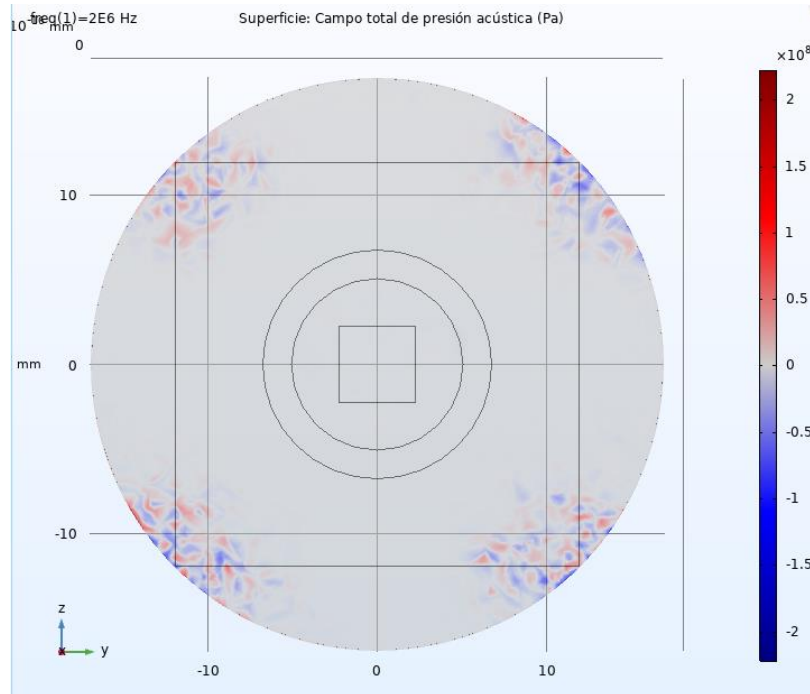


Ilustración 15: Campo de presión acústica 2D

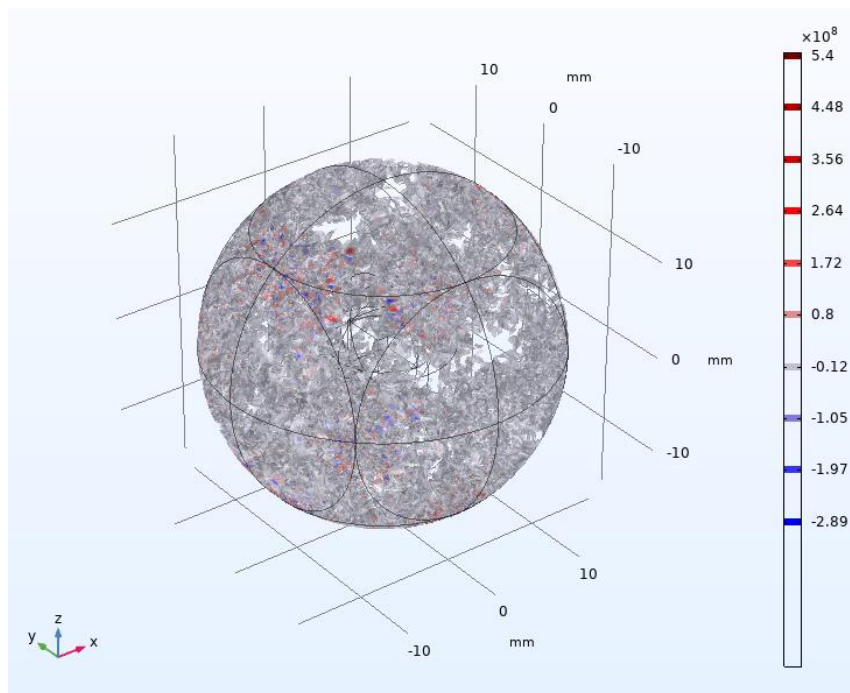


Ilustración 16: Campo de presión acústica 3D

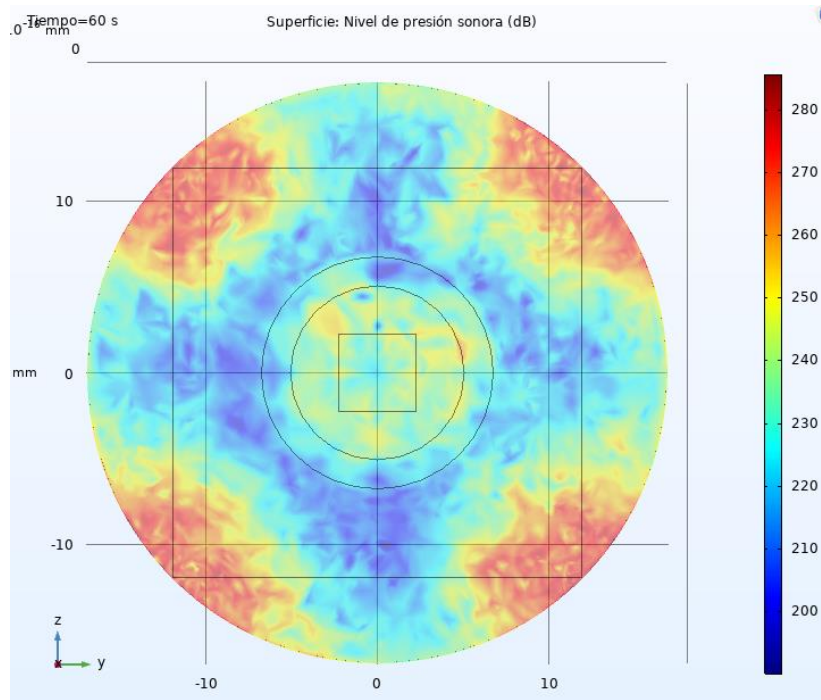


Ilustración 17: Nivel de presión Sonora 2D

4.1.3 Transferencia de biocalor

A continuación se mostrarán los resultados obtenidos del estudio de transferencia de biocalor. Este estudio parte directamente de los resultados obtenidos en el estudio de presión acústica dependiente de la frecuencia.

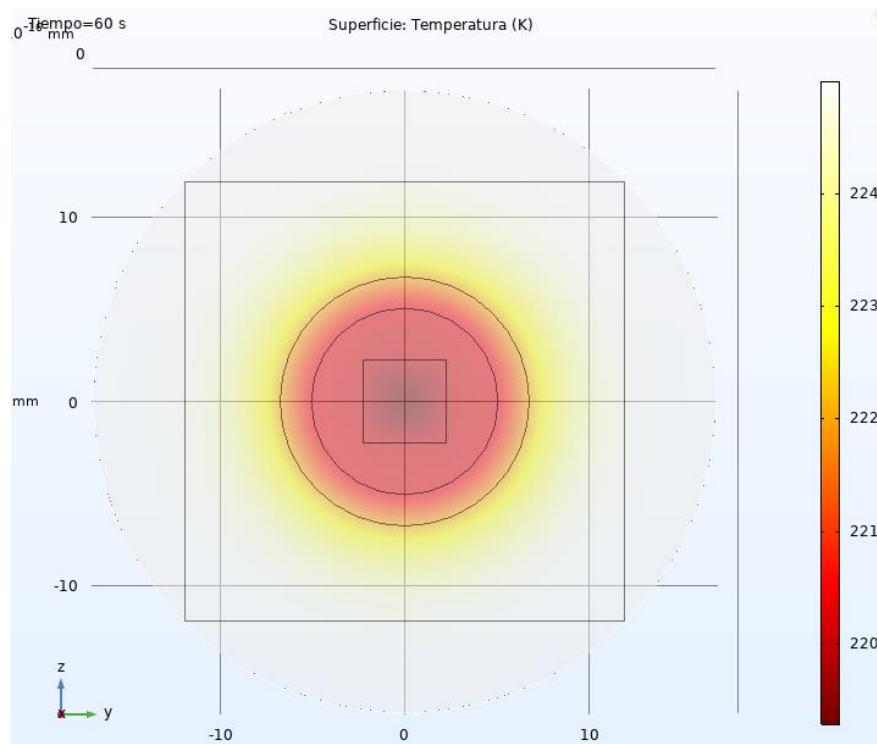


Ilustración 18: Temperatura en plano de corte de superficie 3D

Se puede apreciar que con este tamaño del sistema, la muestra lograría calentarse de forma rápida hasta la temperatura a la que se encuentra el etilenglicol, pero a partir de ella el calentamiento se da de forma mucho más lenta.

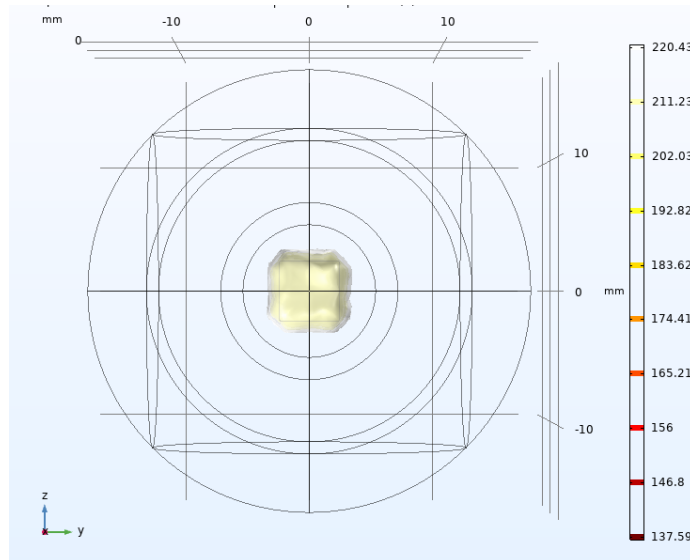


Ilustración 19: Contornos isotérmicos 3D en el segundo 0

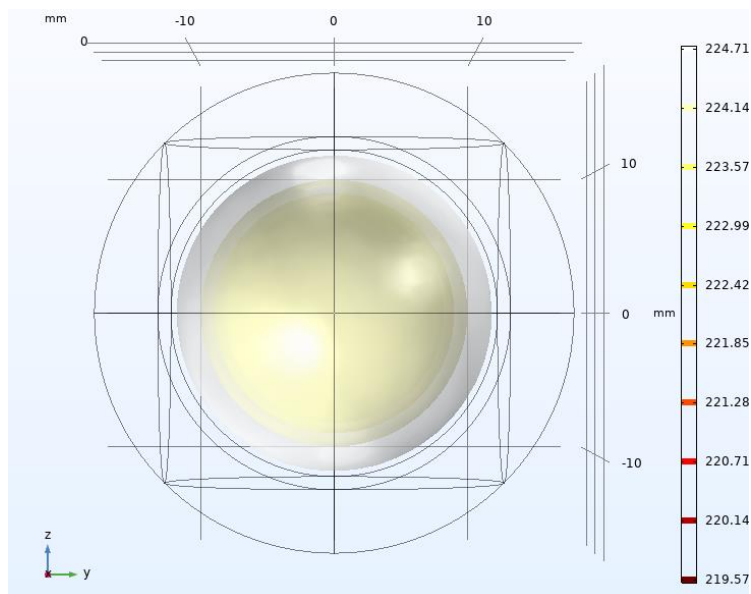


Ilustración 20: Contornos isotérmicos 3D en el segundo 60

Gracias a estas imágenes se puede apreciar como se produce el calentamiento de la zona focal y de la zona que lo rodea.

4.1.4 Distribución del calentamiento por la muestra

Como en todo Sistema real, el calentamiento no se da de forma uniforme en la muestra de tejido biológico que estamos sometiendo. Esta es la razón de que se haya hecho un estudio intensivo de como se calienta cada parte de la muestra.

Se han colocado sondas, en intervalos de 0.28 mm, en las líneas que unen el centro de la muestra con cada uno de sus vértices de forma que se pueda ver como se calienta cada una de las esquinas de la muestra. La numeración de los vertices será la siguiente:

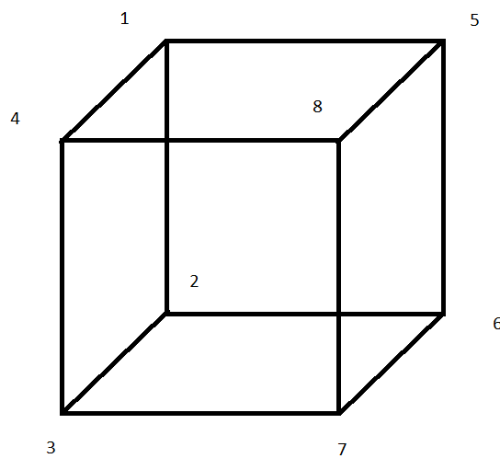


Ilustración 21: Numeración vértices para estudio en profundidad de la muestra

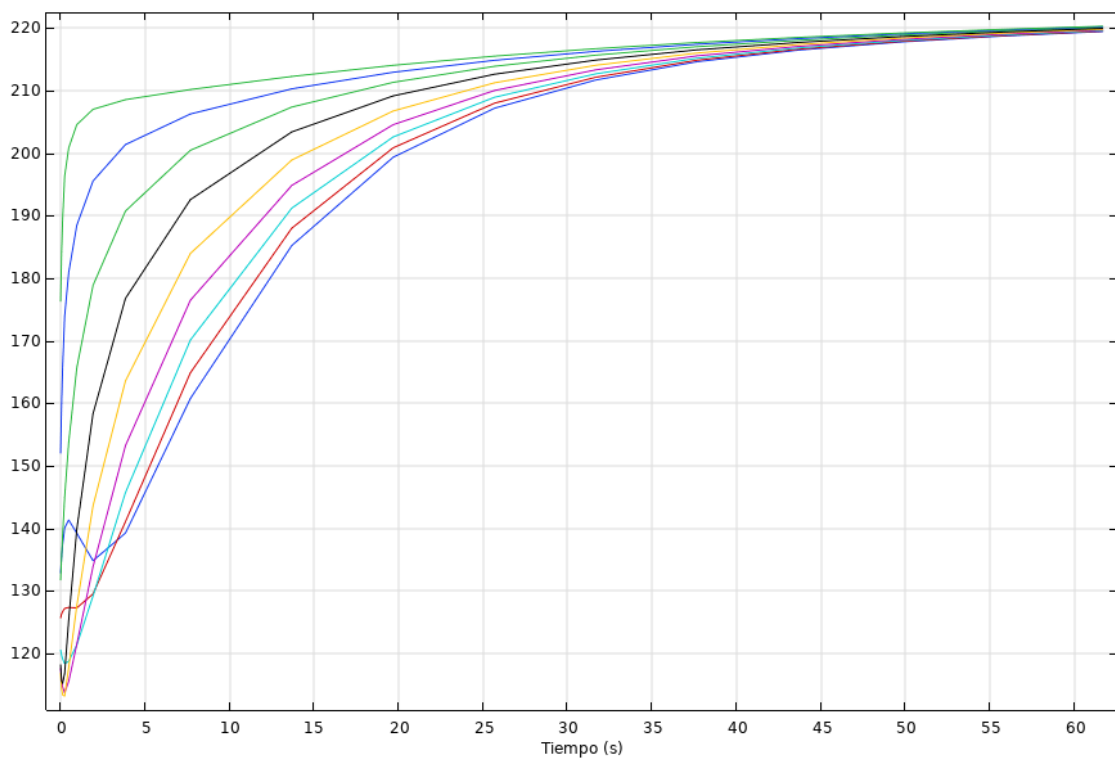


Ilustración 22: Calentamiento vértice 1 (600 W)

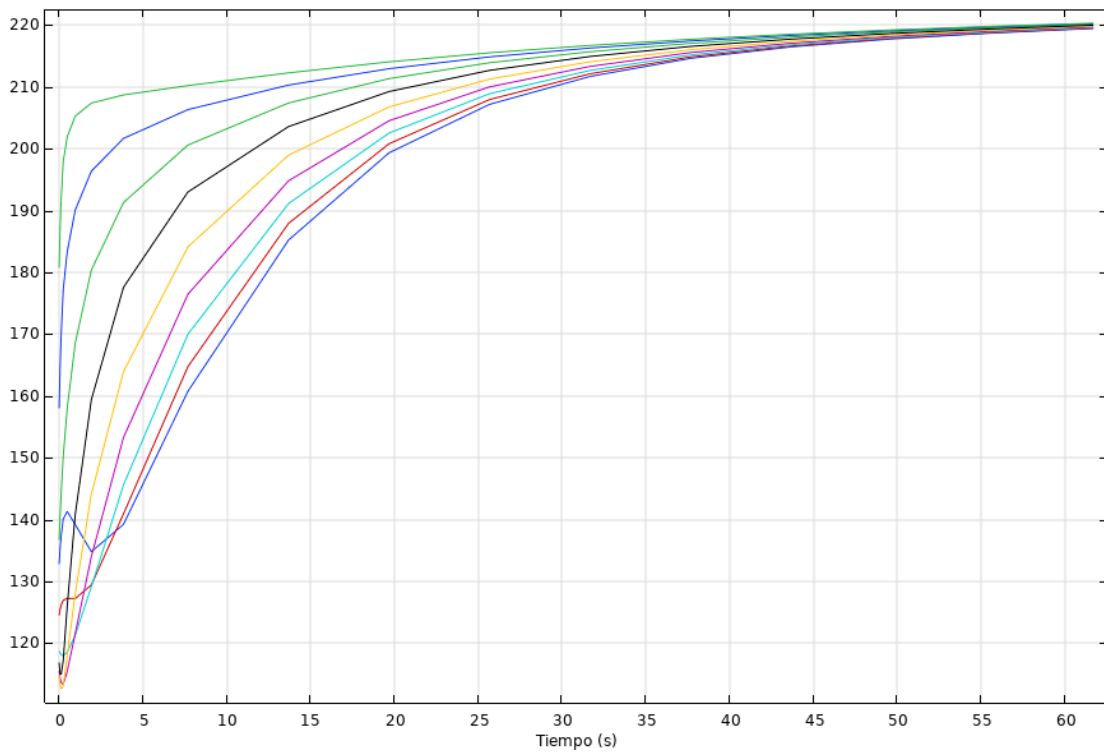


Ilustración 23: Calentamiento vértice 2 (600 W)

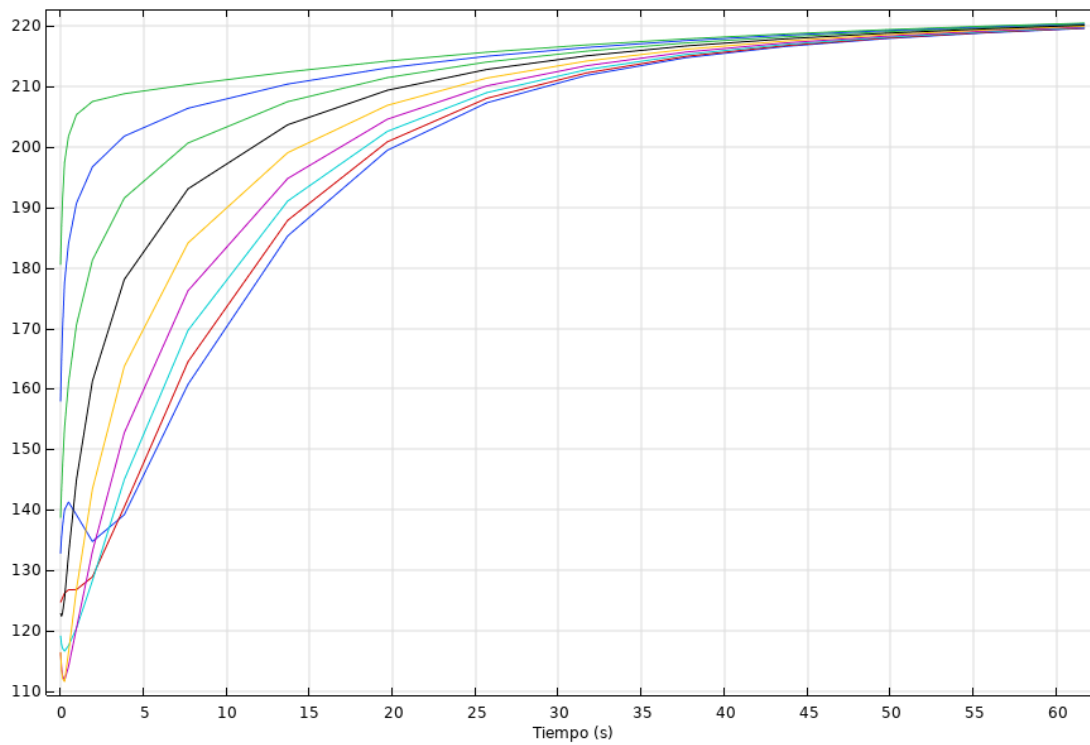


Ilustración 24: Calentamiento vértice 3 (600 W)

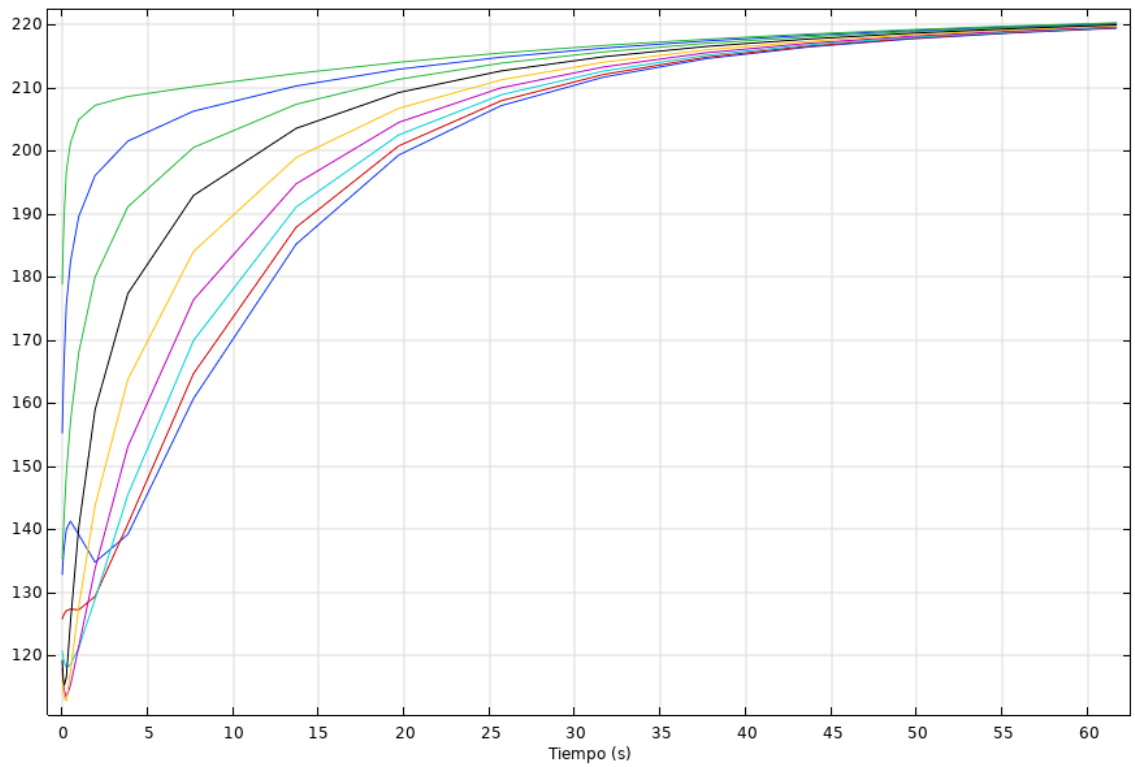


Ilustración 25: Calentamiento vértice 4 (600 W)

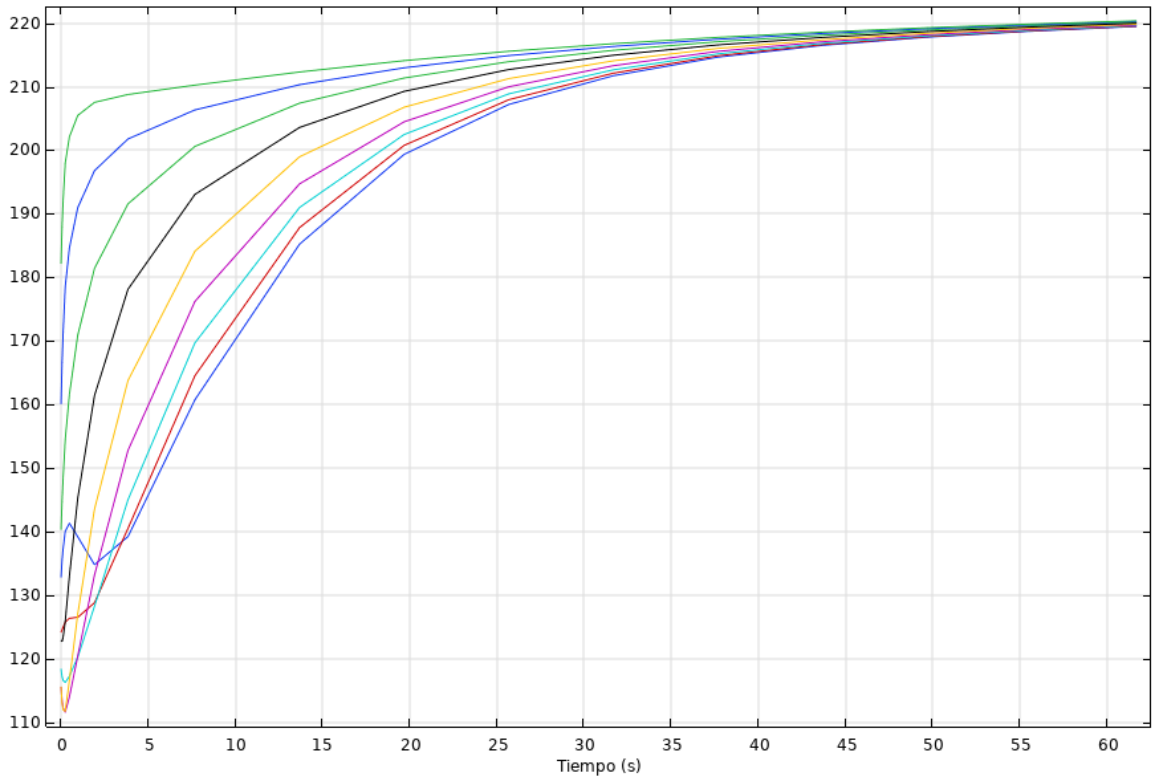


Ilustración 26: Calentamiento vértice 5 (600 W)

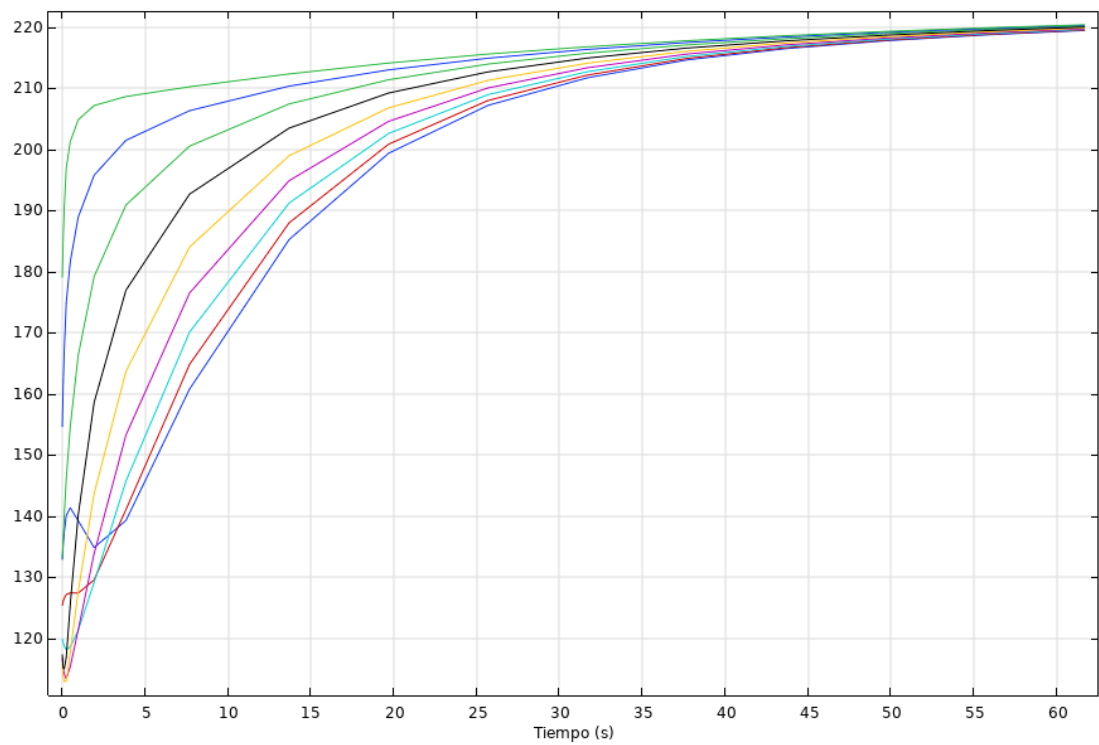


Ilustración 27: Calentamiento vértice 6 (600 W)

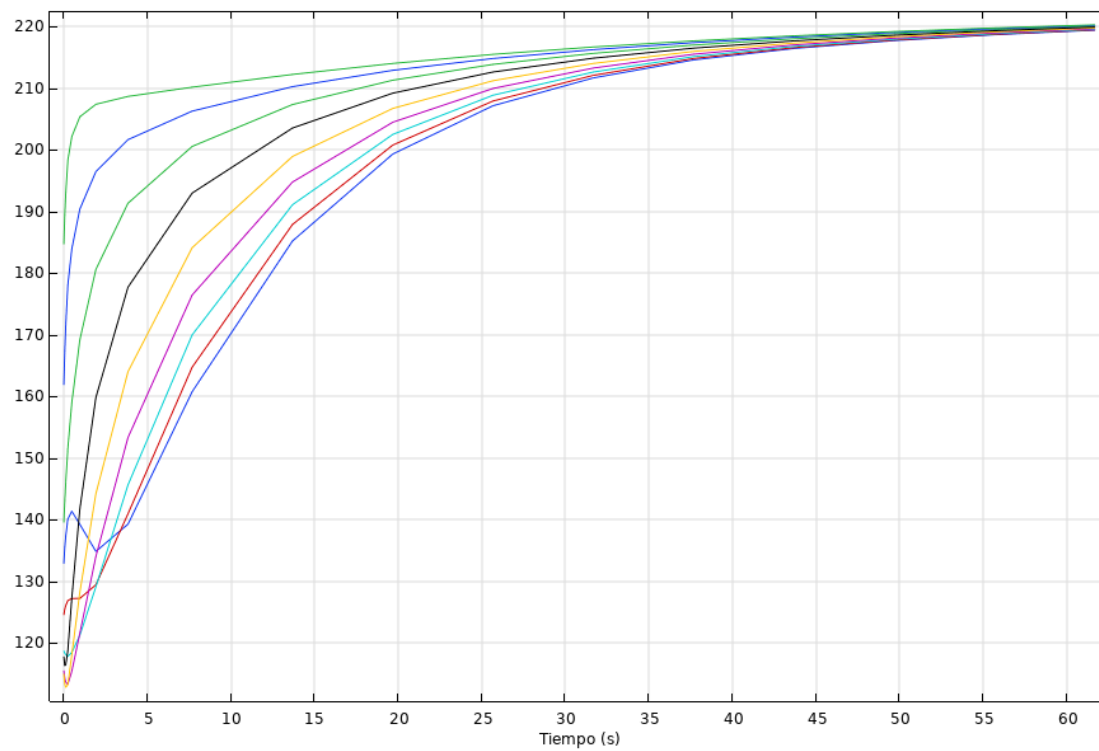


Ilustración 28: Calentamiento vértice 7 (600 W)

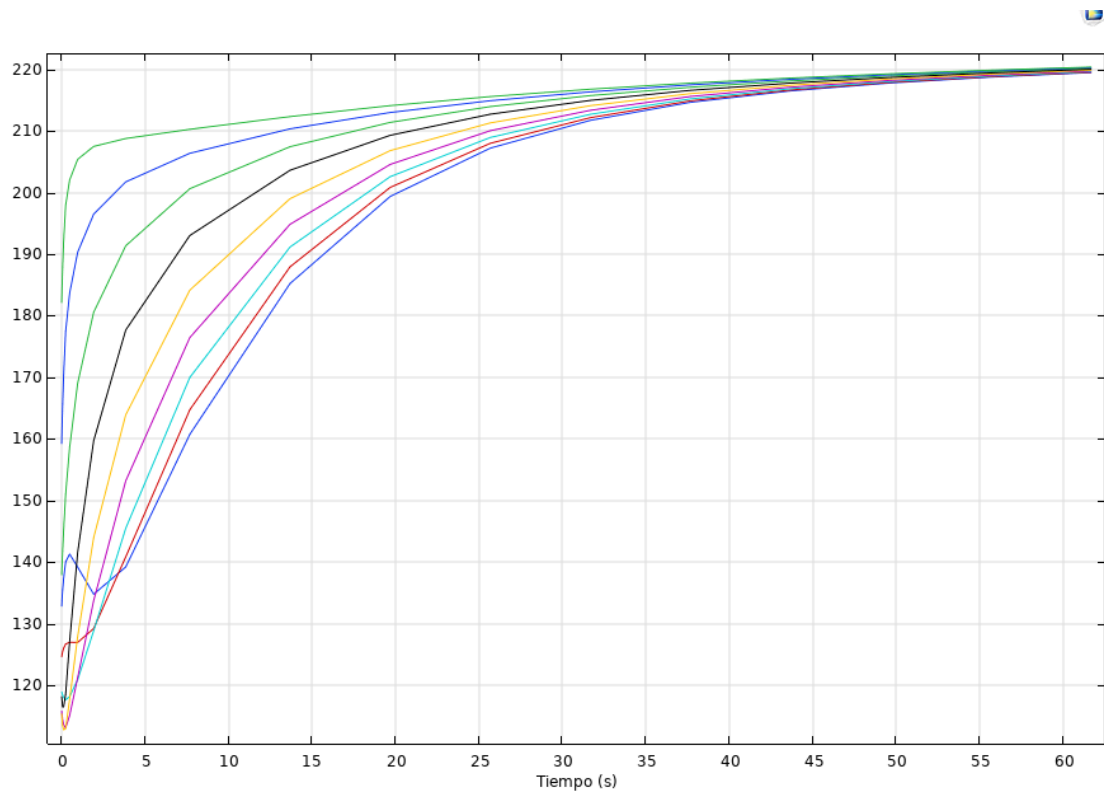


Ilustración 29: Calentamiento vértice 8 (600 W)

Aunque los calentamientos no son exactamente iguales, se asemejan mucho los unos a los otros, por lo que la muestra se calienta casi uniformemente.

4.2 Caso de 1500 W

4.2.1 Evolución de temperaturas

A continuación, se mostrarán las graficas de la variación de temperaturas a lo largo de los 60 segundos de ensayo.

Al igual que en el caso de 600 W, se han colocado sondas en intervalos de 0.25 mm desde el centro de la muestra de tejido biológico hasta los 2.8 mm (Esquina de un cubo de lado 2mm) y los resultados que dan estas sondas son los siguientes.

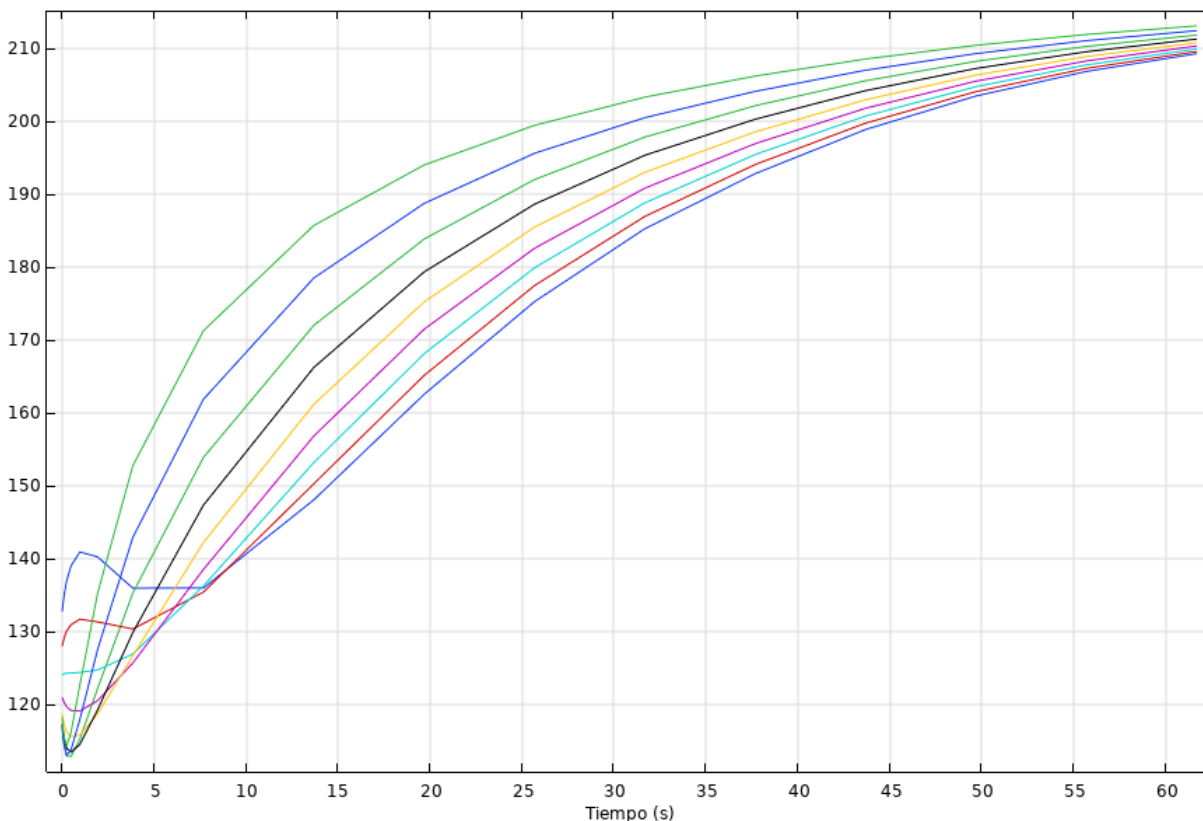


Ilustración 30: Variación de temperaturas en caso de 1500 W

Por otro lado en el caso de 1500 W de potencia, la muestra a calendar es de unos 7,2 mm de lado.

Se observa un calentamiento más uniforme que en el caso anterior, consumiéndose los 60 segundos para calendar la muestra desde 133 a 220. La velocidad de calentamiento es en ese tramo es de 90 °C/min.

El calentamiento es más uniforme pero aun así aparecen diferencias excesivamente grandes entre las sondas más externas y la sonda del centro de la muestra (Diferencias de unos 30 K).

Un calentamiento con condiciones adecuadas en este caso sería el que se da con la sonda de 1,25 mm (Sonda morada), donde la máxima diferencia de temperature entre ella y la del centro de la pieza es de unos 15 K

4.2.2 Presión acústica

A continuación, se muestran las gráficas más representativas del estudio de presión acústica que Comsol ofrece, para una potencia de 1500 W y una frecuencia de 2MHz.

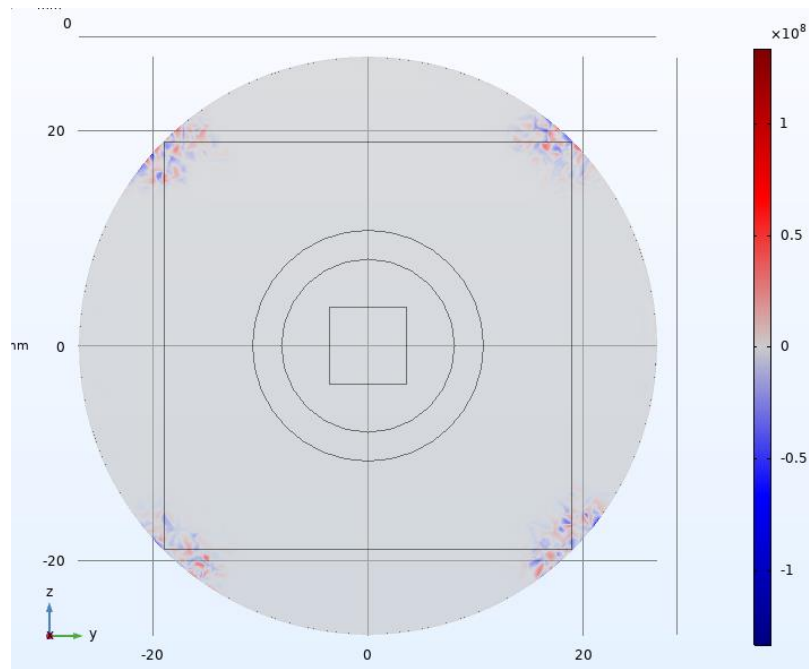


Ilustración 31: Campo de presión acústica 2D

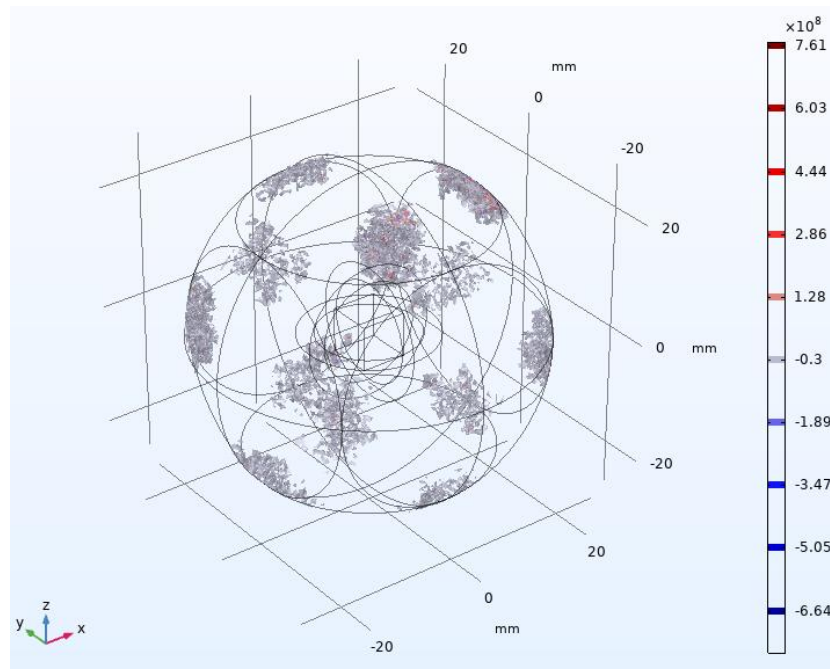


Ilustración 32: Campo de presión acústica 3D

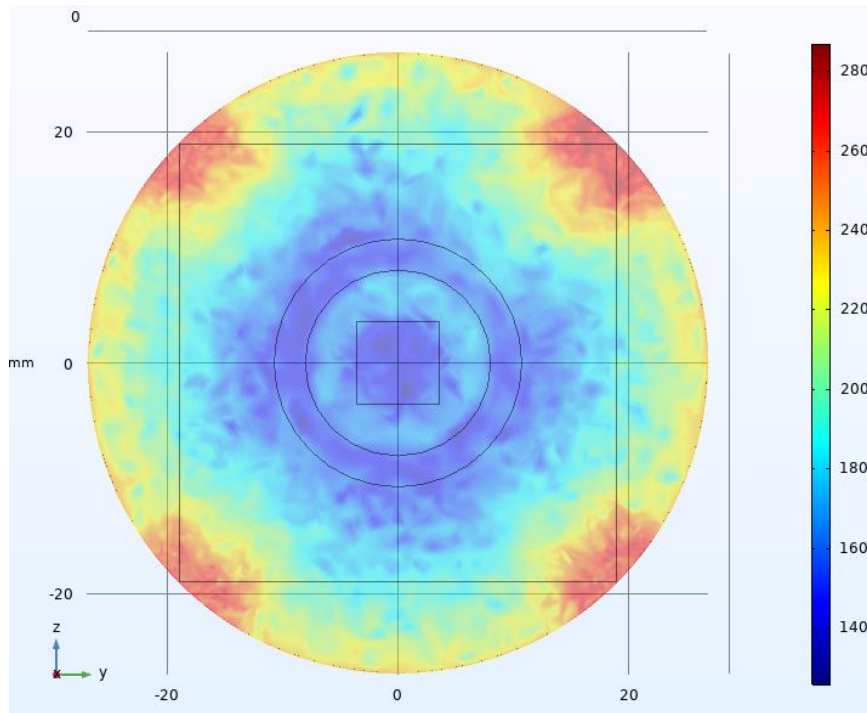


Ilustración 33: Nivel de presión Sonora 2D

4.2.3 Transferencia de biocalor

A continuación se mostrarán los resultados obtenidos del estudio de transferencia de biocalor. Este estudio parte directamente de los resultados obtenidos en el estudio de presión acústica dependiente de la frecuencia.

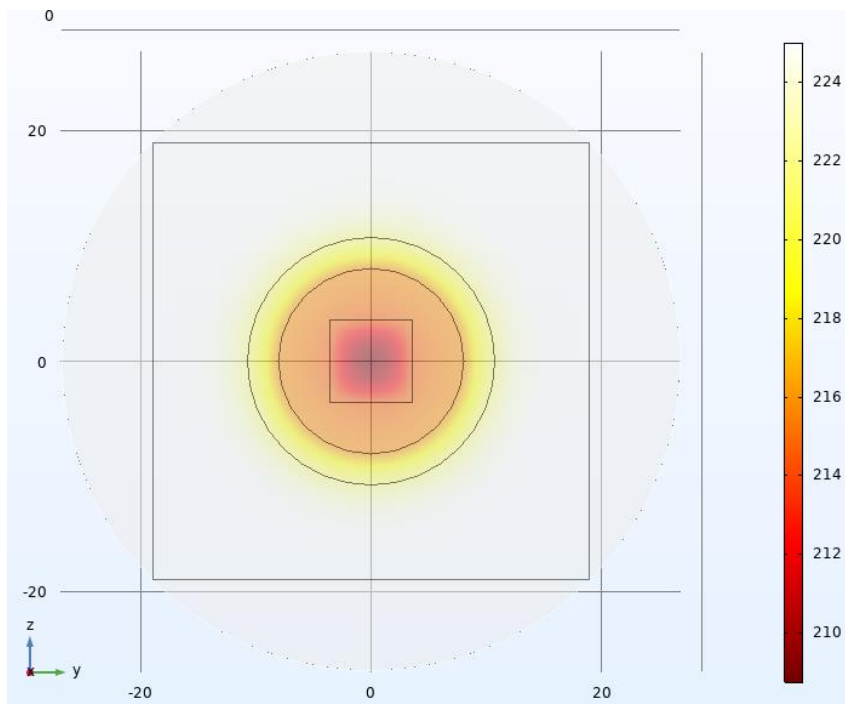


Ilustración 34: Temperatura en plano de corte de superficie 3D

Ocurre el mismo fenómeno que en el ensayo de 600 W, la muestra lograría calentarse de forma rápida hasta la temperatura a la que se encuentra el etilenglicol, pero a partir de ahí el calentamiento se da de forma mucho más lenta.

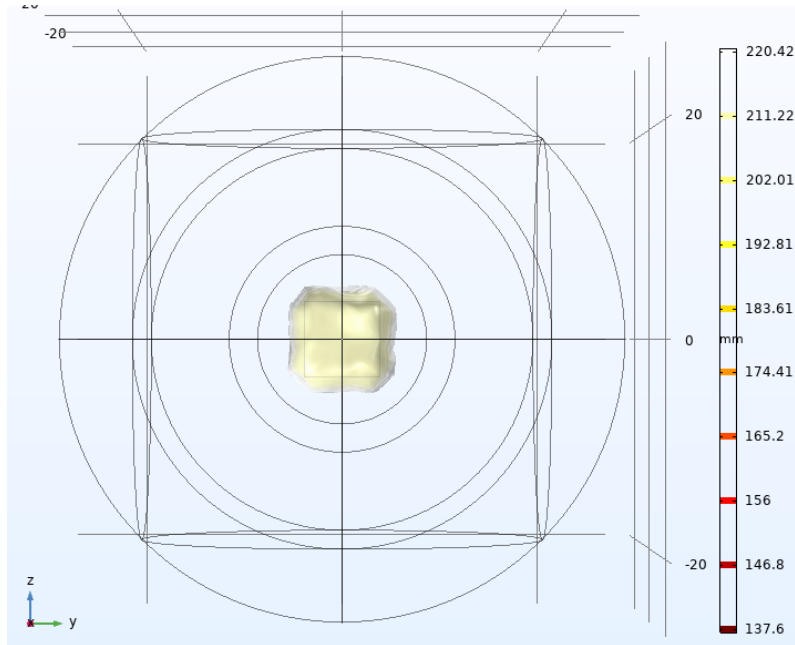


Ilustración 35: Contornos isotérmicos 3D en el segundo 0

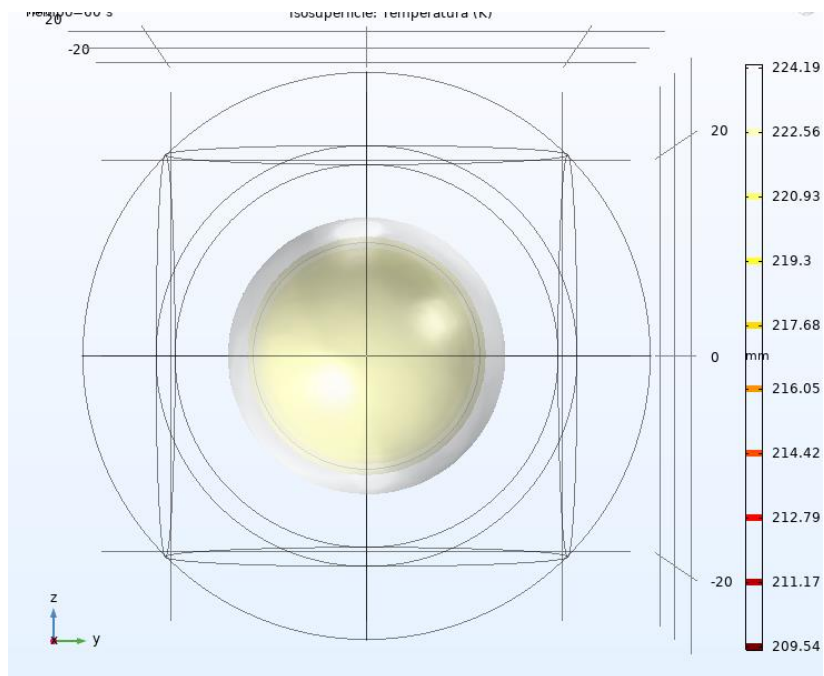


Ilustración 36: Contornos isotérmicos 3D en el segundo 60

Gracias a estas imágenes se puede apreciar como se produce el calentamiento de la zona focal y de la zona que lo rodea.

4.2.4 Distribución del calentamiento por la muestra

Los calentamientos medidos por las sondas distribuidas a lo largo del Sistema son los siguientes:

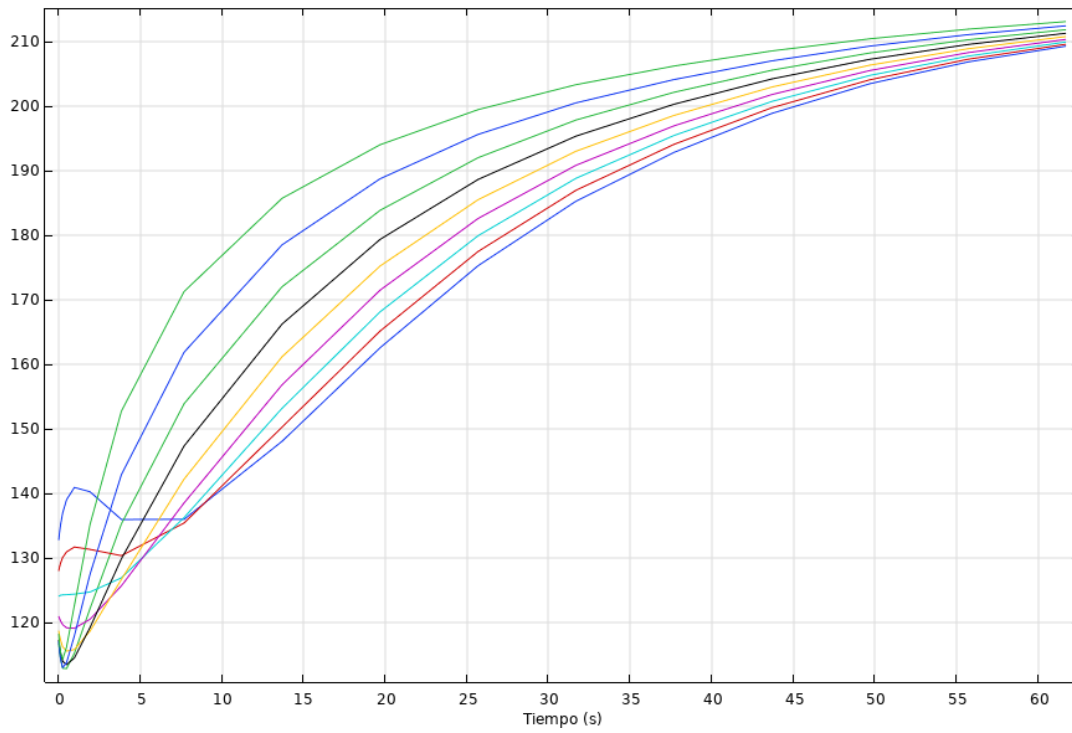


Ilustración 37: Calentamiento vértice 1 (1500 W)

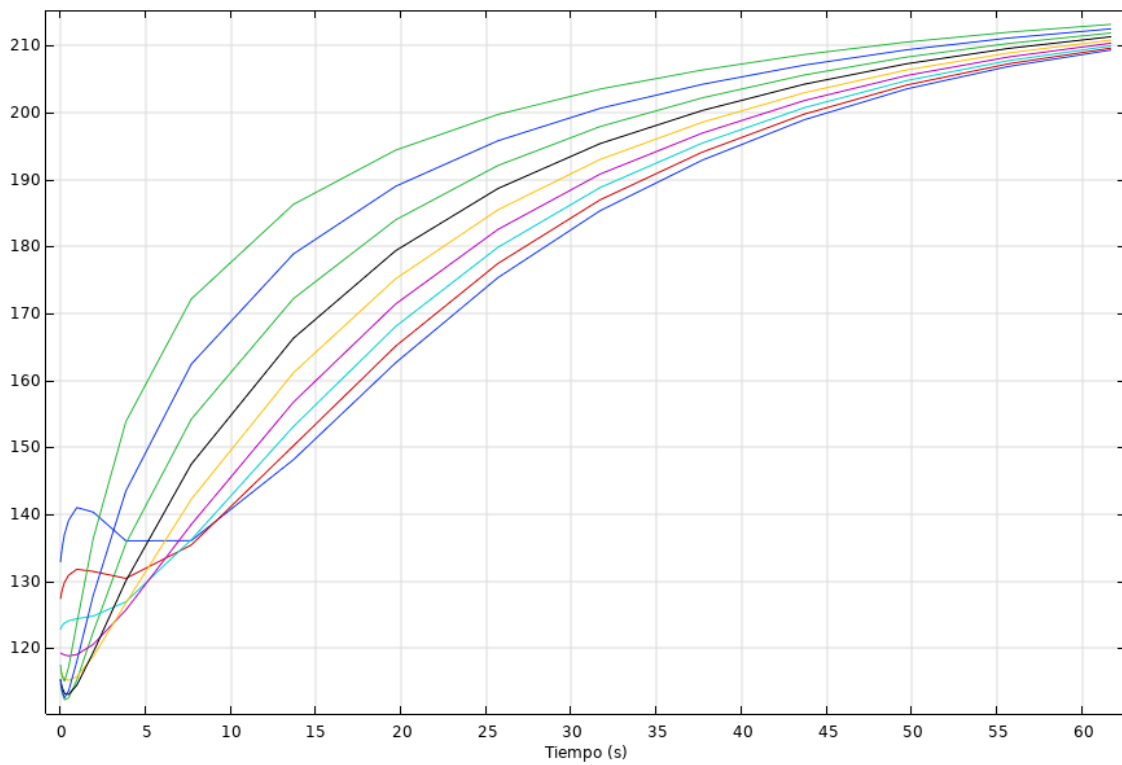


Ilustración 38: Calentamiento vértice 2 (1500 W)

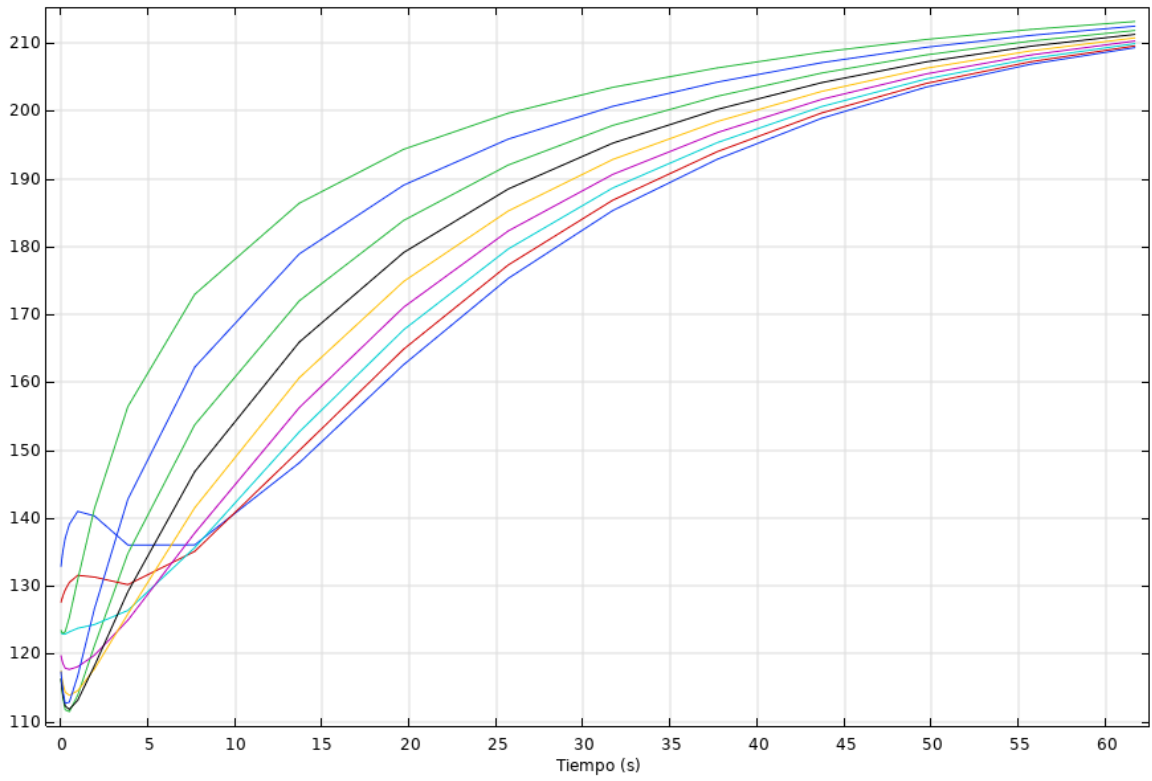


Ilustración 39: Calentamiento vértice 3 (1500 W)

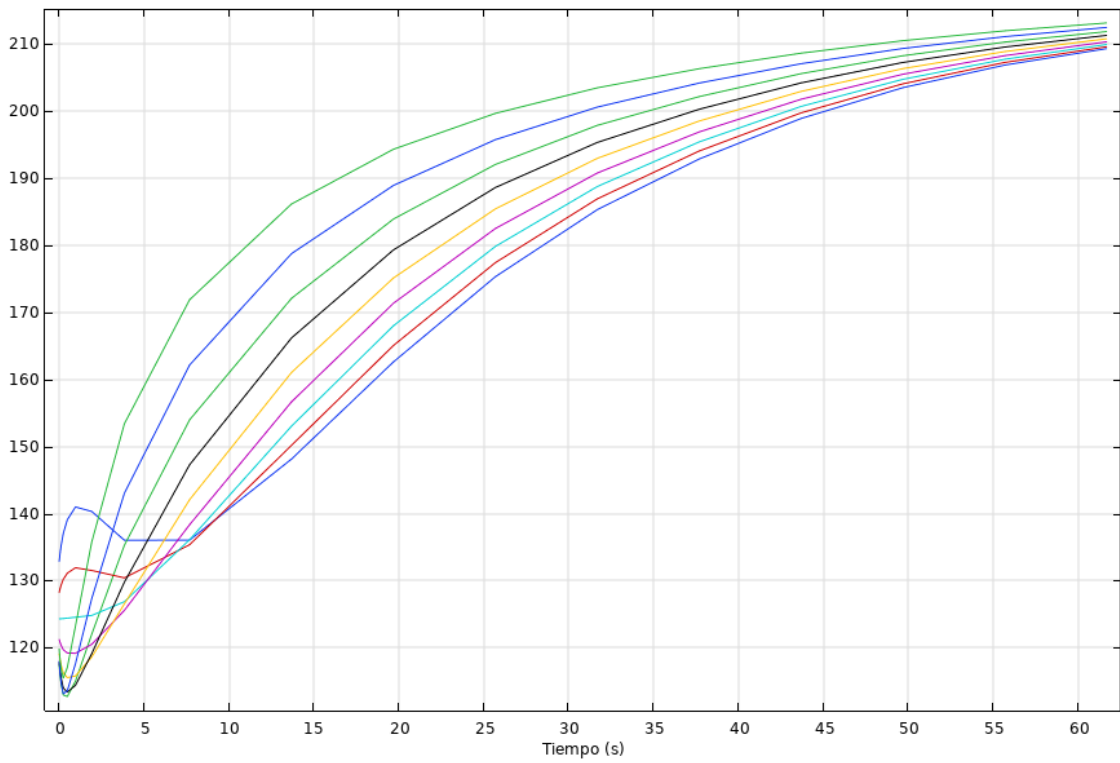


Ilustración 40: Calentamiento vértice 4 (1500 W)

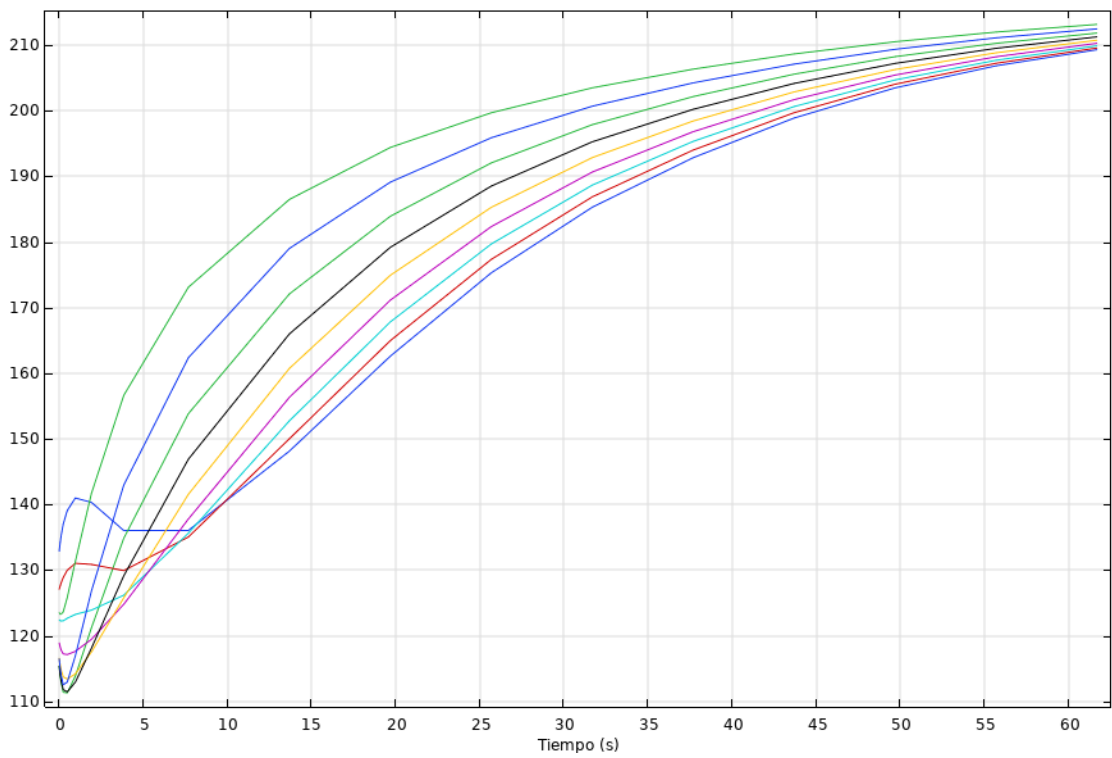


Ilustración 41: Calentamiento vértice 5 (1500 W)

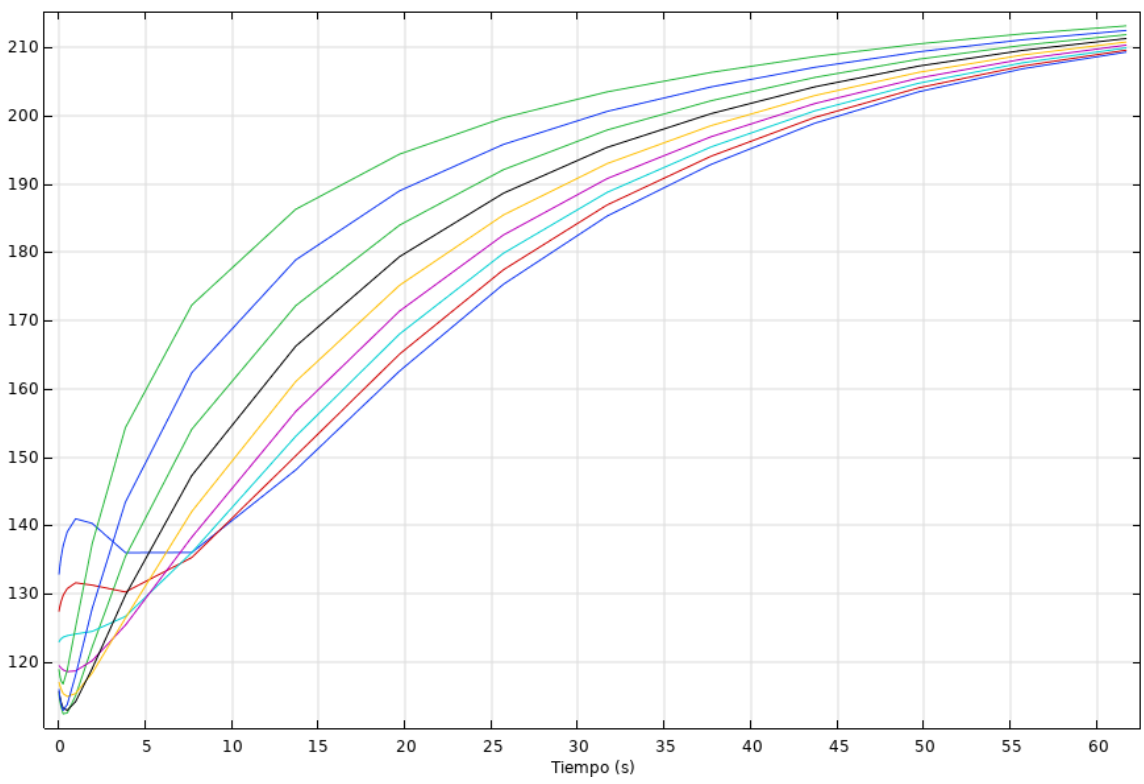


Ilustración 42: Calentamiento vértice 6 (1500 W)

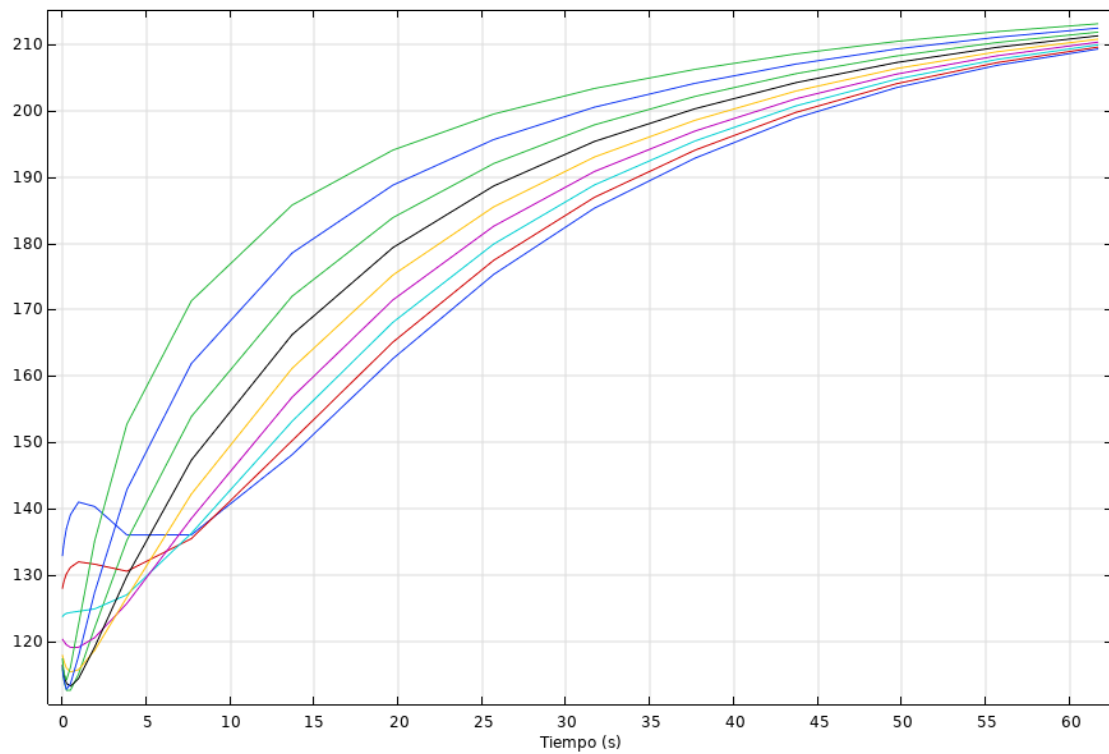


Ilustración 43: Calentamiento vértice 7 (1500 W)

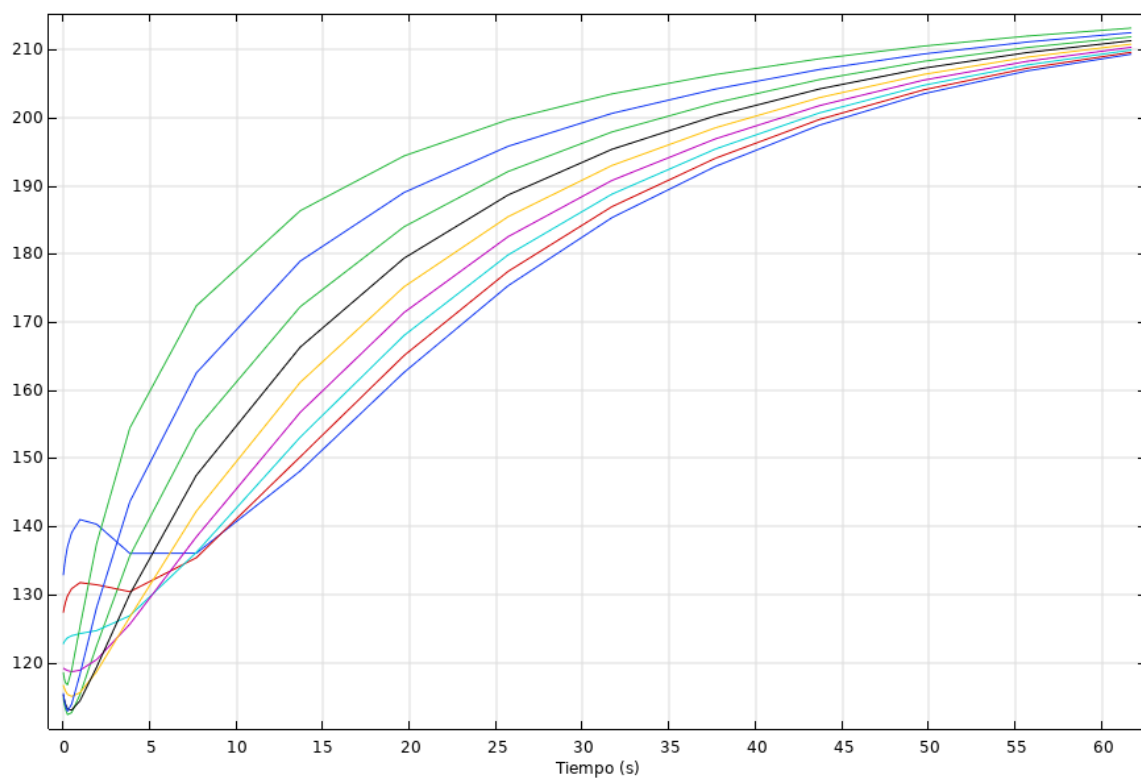


Ilustración 44: Calentamiento vértice 8 (1500 W)

Al igual que en el caso de 600 W, la muestra se calienta casi uniformemente.

5. CONCLUSIONES

En este trabajo fin de máster se ha llevado a cabo un estudio que simula como se comporta un sistema HIFU aplicado al ámbito de la criopreservación. Para la realización de este trabajo se ha utilizado el software de elementos finitos llamado Comsol Multiphysics.

En este trabajo se ha estudiado el comportamiento del sistema al variar el tamaño del mismo, teniendo fijos tanto la amplitud de los transductores como la frecuencia del sistema. Se ha querido ver hasta qué tamaños se producían las condiciones de calentamiento adecuadas y buscadas:

- Velocidades de calentamiento del orden de 100 grados/min
- Gradiente de temperaturas cercano a los 10 grados.

Con los datos obtenidos en las simulaciones se ha marcado la frontera en los casos de:

- 600 W por transductor, con transductores de radio 1,2 cm
- 1500 W por transductor, con transductores de radio 1,9 cm

Se han estudiado en profundidad estas dos opciones y vemos que en los dos casos se cumple el requisito de que la velocidad de calentamiento sea cercana a los 100 grados por minuto. Los resultados que se obtienen nos indican que el calentamiento sería óptimo (Con gradiente de temperaturas cercano a los 10 grados) si:

- En el caso de 600 W, la muestra midiese menos de 2 mm de lado
- En el caso de 1500 W la muestra midiese menos de 2,5 mm de lado

6. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Para completar y avanzar el estudio desarrollado en este TFM, se sugieren distintas líneas que pueden explotar las capacidades potenciales de este:

- Sistema de amplificación global, para poder utilizar cualquier transductor únicamente teniendo que variar la frecuencia de trabajo.
- Aumento del volumen focal: para calentar órganos de un tamaño considerable. Se construiría un array de transductores con posicionamiento de foco mediante fase de onda, o se adquiriría uno más grande
- Reducción del tamaño del foco: mediante la inclusión de un mayor número de transductores.
- Estudio de las propiedades acústicas del material a irradiar: esto serviría para conocer cómo se comporta el tejido criopreservado ante la irradiación de las ondas de ultrasonidos, consiguiendo así mejorar el resultado del proceso de recalentamiento.

7. REFERENCIAS

- [1] Israni AK, Zaun D, Rosendale, JD, Snyder, J.J. & Kasiske. *Am. J. Transplant.* 14 (Suppl. 1), 167–183 (2014).
- [2] Messer S, Ardehali, A. & Tsui, S. *Transpl. Int.* 28, 634–642 (2015).
- [3] Shah MR, Starling RC, Schwartz Longacre L & Mehra MR. *J. Am. Coll. Cardiol.* 59, 1263–1269 (2012).
- [4] Khush KK, Zaroff JG, Nguyen J, Menza R. & Goldstein, B.A. *Am. J. Transplant.* 15, 642–649 (2015).
- [5] Hay M, Thomas DW, Craighead JL, Economides, C. & Rosenthal, J. *Nat. Biotechnol.* 32, 40–51 (2014).
- [6] Cummings JL, Morstorf T & Zhong K. *Alzheimers Res. Ther.* 6, 37 (2014).
- [7] Anonymous. 2020: A New Vision. A Future for Regenerative Medicine. <https://medicine.osu.edu/regenerativemedicine/documents/2020vision.pdf> (Interagency Federal Working Group on Regenerative Medicine, 2005)
- [8] Letourneau JM et al. *Cancer* 118, 1933–1939 (2012).
- [9] Dragunow M. The Adult Brain in Prclinical Drug Development. *Nat.Rev.Drug.Discov.* 7, 659-666 (2008)
- [10] Spanish Office of Patents and Designs) Reference Number: P201300685, 18th July 2013 and worldwide extension PCT/ES2014/000121.
- [11] Wowk B, *Cryobiology* 60 (2010) 11-2
- [12] Blog cosmoecología: <http://cosmoecologos.blogspot.com/2013/09/vibracion-del-sonido.html>

8. ANEXO

1 6TR ESFERA MM

Fecha del informe	18-nov-2020 20:25:48
-------------------	----------------------

Contenido

1. DEFINICIONES GLOBALES	65
1.1. PARÁMETROS.....	65
2. COMPONENTE 3	67
2.1. DEFINICIONES.....	68
2.2. GEOMETRÍA 3	69
2.3. MATERIALES	73
2.4. PRESIÓN ACÚSTICA, FRECUENCIA	88
2.5. TRANSFERENCIA DE BIOCALOR 2.....	143
2.6. MALLA	210
3. ESTUDIO 1	213
3.1. DOMINIO DE LA FRECUENCIA	213
3.2. CONFIGURACIONES DEL RESOLVEDOR	213
4. ESTUDIO 2	218
4.1. TEMPORAL.....	218
4.2. CONFIGURACIONES DEL RESOLVEDOR	219
5. RESULTADOS.....	225
5.1. CONJUNTOS DE DATOS	225
5.2. VALORES DERIVADOS.....	238
5.3. TABLAS.....	242
5.4. TRAZAR GRUPOS.....	244

1 Definiciones globales

Fecha	Oct 22, 2020 1:16:33 PM
-------	-------------------------

AJUSTES GLOBALES

Nombre	6tr esfera mm.mph
Ruta	C:\Users\victor\Downloads\6tr esfera mm.mph
Versión	COMSOL Multiphysics 5.6 (Construcción: 280)
Sistema de unidades	SI

UTILIZAR PRODUCTOS

COMSOL Multiphysics
Acoustics Module
Heat Transfer Module

INFORMACIÓN DE LA COMPUTADORA

CPU	Intel64 Family 6 Model 78 Stepping 3, 2 núcleos
Sistema operativo	Windows 10

1.1 PARÁMETROS

PARÁMETROS 1

Nombre	Expresión	Valor	Descripción
TiempoFinal	60[s]	60 s	
TempHielo	133[K]	133 K	
TempEtilenglicol	225[K]	225 K	
TempAmbiente	293[K]	293 K	

Nombre	Expresión	Valor	Descripción
RIE	$RI/1.25$	0.0136 m	
RI	1.7[cm]	0.017 m	
Lado	$\text{sqrt}(2*RI^2)$	0.024042 m	
Frecuencia	2[MHz]	2E6 Hz	
Amplitud	100[nm]	1E-7 m	
Alpha_Recipiente	0.3[1/m]	0.3 1/m	
Alpha_Musculo	0.7[1/m]	0.7 1/m	
Alpha_Hielo	0.05[1/m]	0.05 1/m	
Alpha_Etilenglicol	0.855[1/m]	0.855 1/m	
Alpha_Agua	0.025[1/m]	0.025 1/m	

2 Componente 3

Fecha	Sep 24, 2020 5:45:02 AM
-------	-------------------------

AJUSTES

Descripción	Valor
Sistema de unidades	SI (sistema global)
Función de forma geométrica	Automático

COORDENADAS DEL MARCO ESPACIAL

Primero	Segunda	Tercera
x	y	z

COORDENADAS DE MARCO DE MATERIAL

Primero	Segunda	Tercera
X	Y	Z

COORDENADA DE MARCO DE GEOMETRÍA

Primero	Segunda	Tercera
Xg	Yg	Zg

COORDENADAS DEL MARCO DE MALLA

Primero	Segunda	Tercera
Xm	Ym	Zm

2.1 DEFINICIONES

2.1.1 Sondas

8.1.1.1 (0,0,0)

Tipo de sonda	Sonda en un punto del dominio
---------------	-------------------------------

8.1.1.2 (1.5,1.5,1.5)

Tipo de sonda	Sonda en un punto del dominio
---------------	-------------------------------

8.1.1.3 (0.25,0.25,0.25)

Tipo de sonda	Sonda en un punto del dominio
---------------	-------------------------------

8.1.1.4 (0.5,0.5,0.5)

Tipo de sonda	Sonda en un punto del dominio
---------------	-------------------------------

8.1.1.5 (0.75,0.75,0.75)

Tipo de sonda	Sonda en un punto del dominio
---------------	-------------------------------

8.1.1.6 (1,1,1)

Tipo de sonda	Sonda en un punto del dominio
---------------	-------------------------------

8.1.1.7 (1.25,1.25,1.25)

Tipo de sonda	Sonda en un punto del dominio
---------------	-------------------------------

8.1.1.8 (1.75,1.75,1.75)

Tipo de sonda	Sonda en un punto del dominio
---------------	-------------------------------

8.1.1.9 (2,2,2)

Tipo de sonda	Sonda en un punto del dominio
---------------	-------------------------------

2.1.2 Sistemas de coordenadas

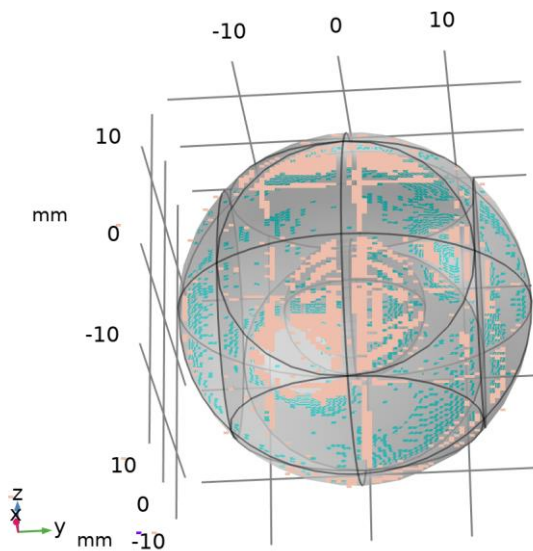
8.1.1.10 Sistema de contornos 3

Tipo de sistema de coordenadas	Sistema de contornos
Etiqueta	sys3

NOMBRES DE COORDENADAS

Primero	Segunda	Tercera
t1	t2	n

2.2 GEOMETRÍA 3



Geometría 3

UNIDADES

Unidad de longitud	mm
Unidad angular	deg

ESTADÍSTICAS DE GEOMETRÍA

Descripción	Valor
Dimensión de espacio	3
Número de dominios	10
Número de contornos	60
Número de aristas	84
Número de vértices	38

2.2.1 Esfera 1 (sph1)

POSICIÓN

Descripción	Valor
Posición	{0, 0, 0}

EJE

Descripción	Valor
Tipo de eje	Cartesiano

TAMAÑO

Descripción	Valor
Radio	RI

2.2.2 Bloque 1 (blk1)

POSICIÓN

Descripción	Valor
Posición	{0, 0, 0}
Base	Centro

EJE

Descripción	Valor
Tipo de eje	Cartesiano

TAMAÑO Y FORMA

Descripción	Valor
Ancho	Lado
Profundidad	Lado
Altura	Lado

2.2.3 Esfera 2 (sph2)

POSICIÓN

Descripción	Valor
Posición	{0, 0, 0}

EJE

Descripción	Valor
Tipo de eje	Cartesiano

TAMAÑO

Descripción	Valor
Radio	RI

2.2.4 Esfera 4 (sph4)

POSICIÓN

Descripción	Valor
Posición	{0, 0, 0}

EJE

Descripción	Valor
Tipo de eje	Cartesiano

TAMAÑO

Descripción	Valor
Radio	0.4*RI

2.2.5 Esfera 3 (sph3)

POSICIÓN

Descripción	Valor
Posición	{0, 0, 0}

EJE

Descripción	Valor
Tipo de eje	Cartesiano

TAMAÑO

Descripción	Valor
Radio	0.3*RI

2.2.6 Bloque 2 (blk2)

POSICIÓN

Descripción	Valor
Posición	{0, 0, 0}
Base	Centro

EJE

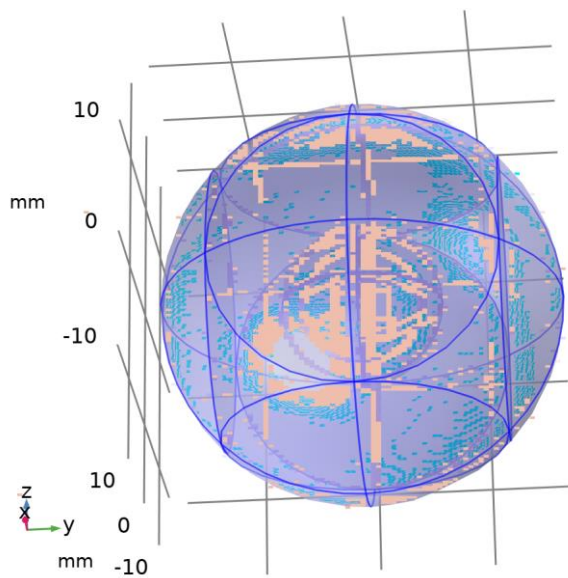
Descripción	Valor
Tipo de eje	Cartesiano

TAMAÑO Y FORMA

Descripción	Valor
Ancho	RIE/3
Profundidad	RIE/3
Altura	RIE/3

2.3 MATERIALES

2.3.1 Ethylene glycol



Ethylene glycol

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrico	Dominio
Selección	Geometría geom3: Dimensión 3: Todos los dominios

PARÁMETROS DE MATERIAL

Nombre	Valor	Unidad
Capacidad calorífica con presión constante	Cp(T)	J/(kg·K)
Densidad	rho(T)	kg/m ³
Conductividad térmica	k(T)	W/(m·K)
Velocidad del sonido	1500	m/s
Coefficiente de dilatación adiabática	0.0062	1

BASIC

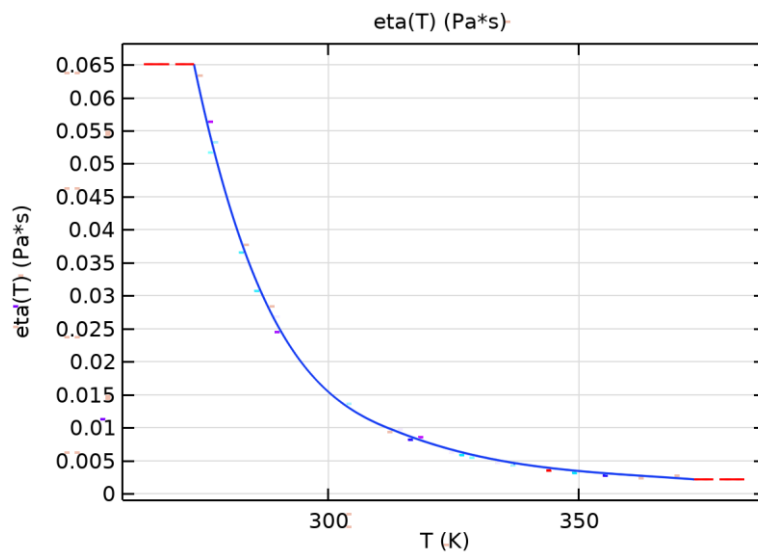
Description	Value
Viscosidad dinámica	eta(T)
dynamicviscosity_symmetry	0
Capacidad calorífica con presión constante	Cp(T)
heatcapacity_symmetry	0
Densidad	rho(T)
density_symmetry	0
Conductividad térmica	{{k(T), 0, 0}, {0, k(T), 0}, {0, 0, k(T)}}
thermalconductivity_symmetry	3
Velocidad del sonido	1500

Description	Value
soundspeed_symmetry	0
Coeficiente de dilatación adiabática	0.0062
ratioofspecificeat_symmetry	0

FUNCTIONS

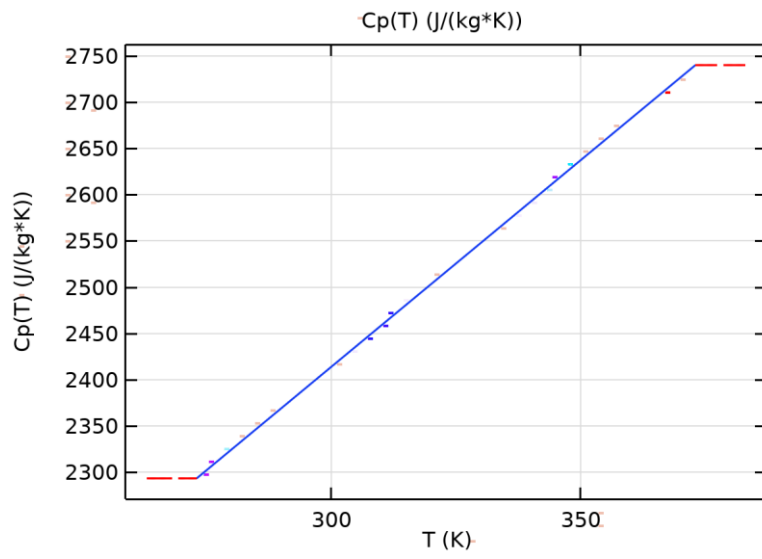
Nombre de función	Tipo
eta	Piecewise
Cp	Piecewise
rho	Piecewise
k	Piecewise

8.1.1.11 Piecewise



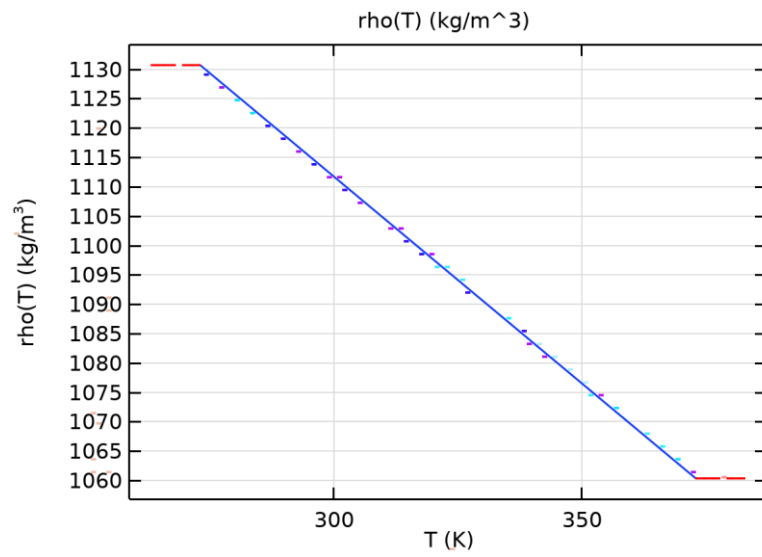
eta

8.1.1.12 Piecewise 2



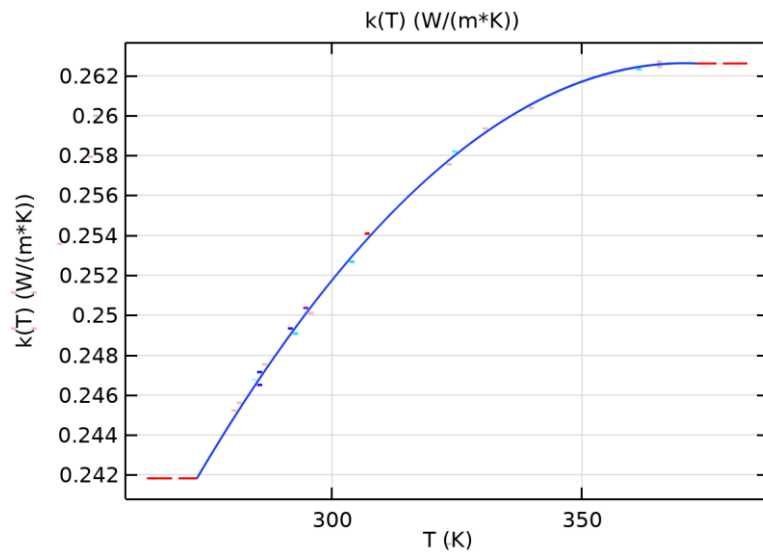
C_p

8.1.1.13 Piecewise 3



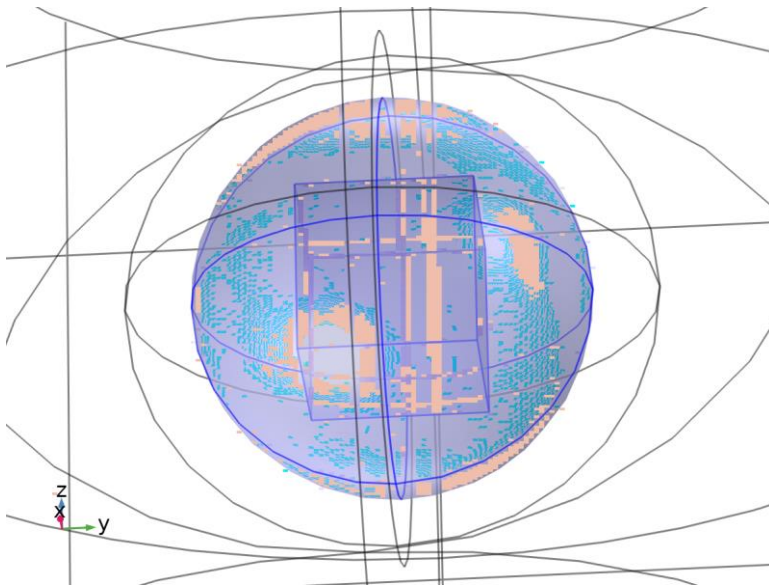
ρ

8.1.1.14 Piecewise 4



k

2.3.2 H2O (water) [solid,tension]



H2O (water) [solid,tension]

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrico	Dominio
Selección	Geometría geom3: Dimensión 3: Dominio 8

PARÁMETROS DE MATERIAL

Nombre	Valor	Unidad
Conductividad térmica	$k_{\text{solid_1}}(T[1/K])[W/(m \cdot K)]$	W/(m·K)
Capacidad calorífica con presión constante	$C_{\text{solid_1}}(T[1/K])[J/(kg \cdot K)]$	J/(kg·K)
Densidad	$\rho_{\text{solid_1}}(T[1/K])[kg/m^3]$	kg/m ³
Velocidad del sonido	5130	m/s

BÁSICO

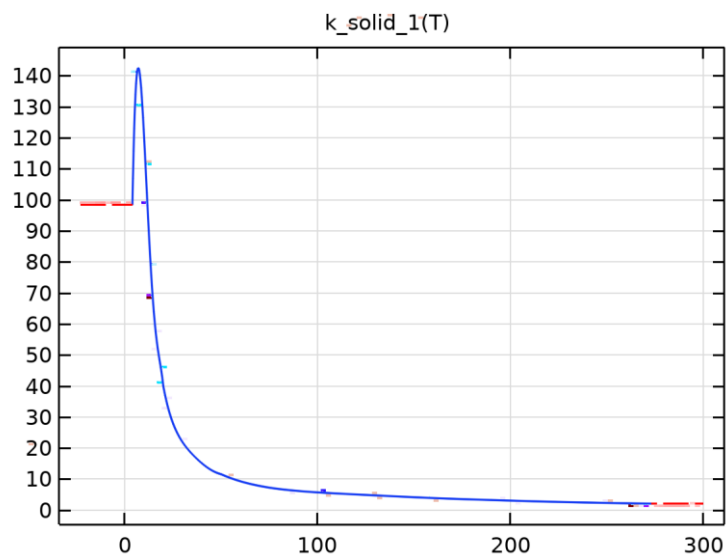
Description	Value
Conductividad térmica	{{ $k_{\text{solid_1}}(T[1/K])[W/(m \cdot K)]$, 0, 0}, {0, $k_{\text{solid_1}}(T[1/K])[W/(m \cdot K)]$, 0}, {0, 0, $k_{\text{solid_1}}(T[1/K])[W/(m \cdot K)]$ }}
thermalconductivity_symmetry	0
Syt	$Syt_{\text{solid_tension_1}}(T[1/K])[Pa]$
Syt_symmetry	0
Coeficiente de expansión térmica	{{ $(\alpha_{\text{solid_1}}(T[1/K])[1/K] + (\text{Tempref} - 273[K]) \cdot \text{if}(\text{abs}(T - \text{Tempref}) > 1e-3, (\alpha_{\text{solid_1}}(T[1/K])[1/K] - \alpha_{\text{solid_1}}(\text{Tempref}[1/K])[1/K]) / (T - \text{Tempref}), d(\alpha_{\text{solid_1}}(T[1/K])[1/K], T))) / (1 + \alpha_{\text{solid_1}}(\text{Tempref}[1/K])[1/K] \cdot (\text{Tempref} - 273[K]))$), 0, 0}, {0, $(\alpha_{\text{solid_1}}(T[1/K])[1/K] + (\text{Tempref} - 273[K]) \cdot \text{if}(\text{abs}(T - \text{Tempref}) > 1e-3, (\alpha_{\text{solid_1}}(T[1/K])[1/K] - \alpha_{\text{solid_1}}(\text{Tempref}[1/K])[1/K]) / (T - \text{Tempref}), d(\alpha_{\text{solid_1}}(T[1/K])[1/K], T))) / (1 + \alpha_{\text{solid_1}}(\text{Tempref}[1/K])[1/K] \cdot (\text{Tempref} - 273[K]))$), 0}, {0, 0, $(\alpha_{\text{solid_1}}(T[1/K])[1/K] +$

Description	Value
	$(Tempref - 273[K])*if(abs(T - Tempref)>1e-3, (alpha_solid_1(T[1/K])[1/K] - alpha_solid_1(Tempref[1/K])[1/K])/(T - Tempref), d(alpha_solid_1(T[1/K])[1/K], T))/(1 + alpha_solid_1(Tempref[1/K])[1/K]*(Tempref - 273[K])))$
thermalexpansioncoefficient_symmetry	0
Capacidad calorífica con presión constante	$C_solid_1(T[1/K])[J/(kg*K)]$
heatcapacity_symmetry	0
HC	$HC_solid_1(T[1/K])[J/(mol*K)]$
HC_symmetry	0
VP	$VP_solid_1(T[1/K])[Pa]$
VP_symmetry	0
Densidad	$rho_solid_1(T[1/K])[kg/m^3]$
density_symmetry	0
TD	$TD_solid_1(T[1/K])[m^2/s]$
TD_symmetry	0
Velocidad del sonido	5130
soundspeed_symmetry	0
Coeficiente de dilatación adiabática	1.3
ratioofspecifichheat_symmetry	0

FUNCTIONS

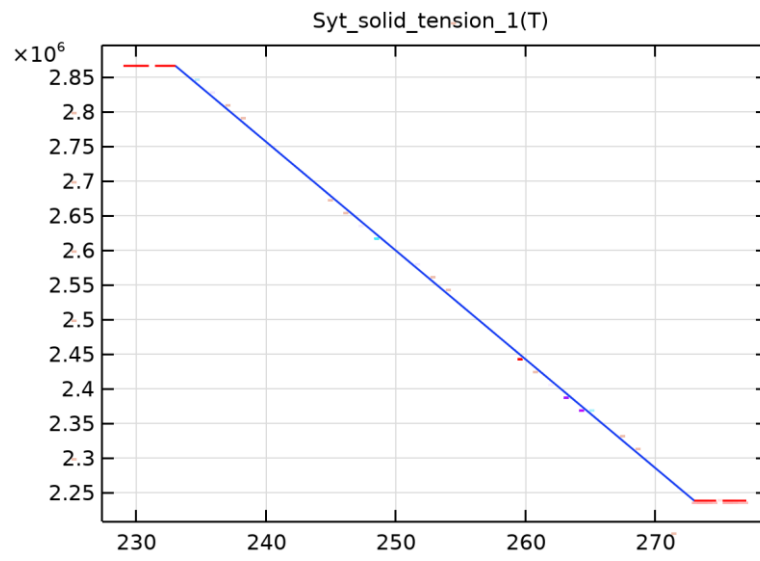
Nombre de función	Tipo
k_solid_1	Piecewise
Syt_solid_tension_1	Piecewise
alpha_solid_1	Piecewise
C_solid_1	Piecewise
HC_solid_1	Piecewise
VP_solid_1	Piecewise
rho_solid_1	Piecewise
TD_solid_1	Piecewise

8.1.1.15 Piecewise



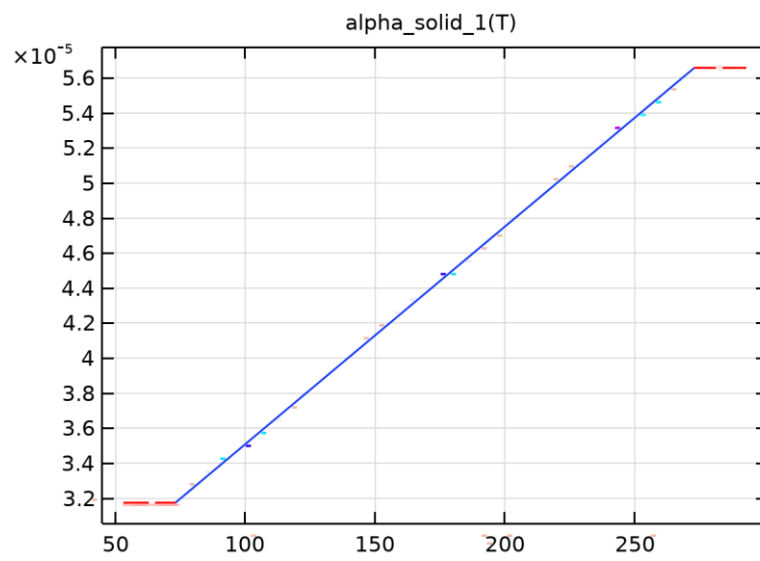
k_solid_1

8.1.1.16 Piecewise 1



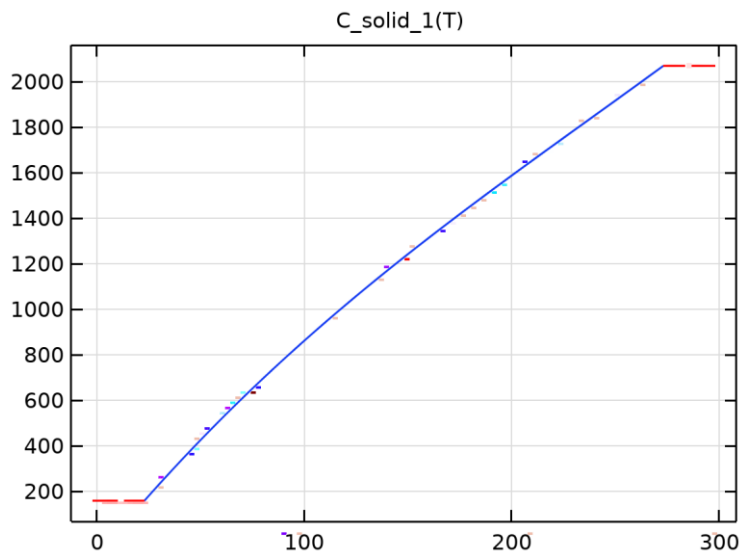
Syt_solid_tension_1

8.1.1.17 Piecewise 2



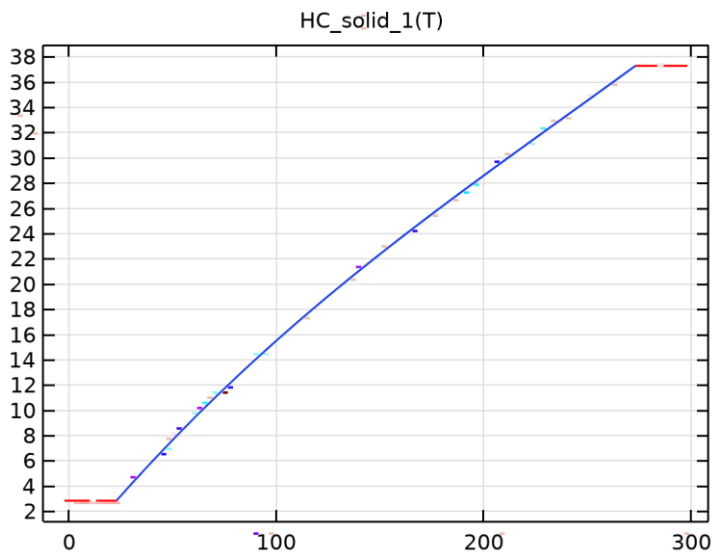
alpha_solid_1

8.1.1.18 Piecewise 3



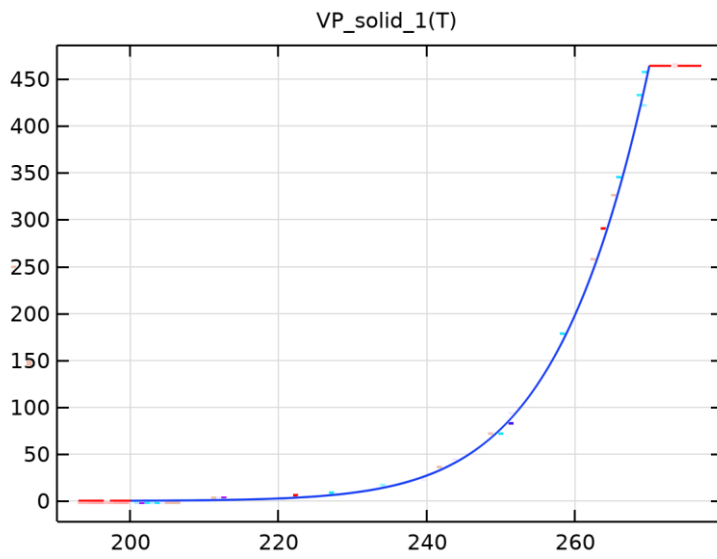
C_solid_1

8.1.1.19 Piecewise 4



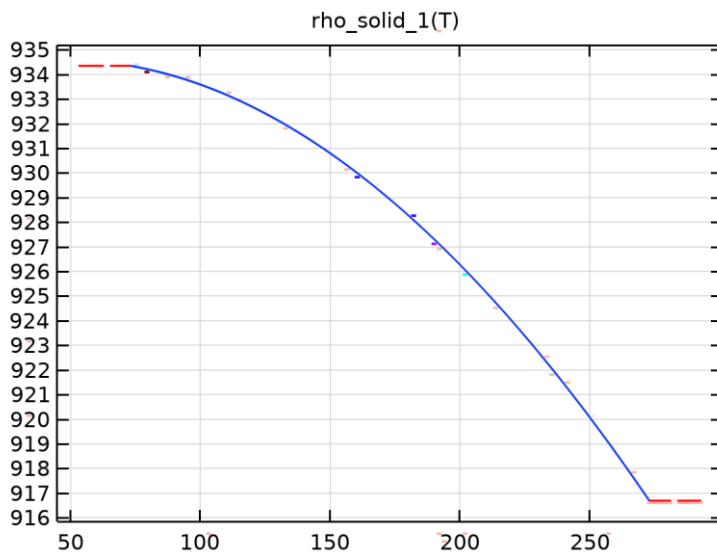
HC_solid_1

8.1.1.20 Piecewise 5



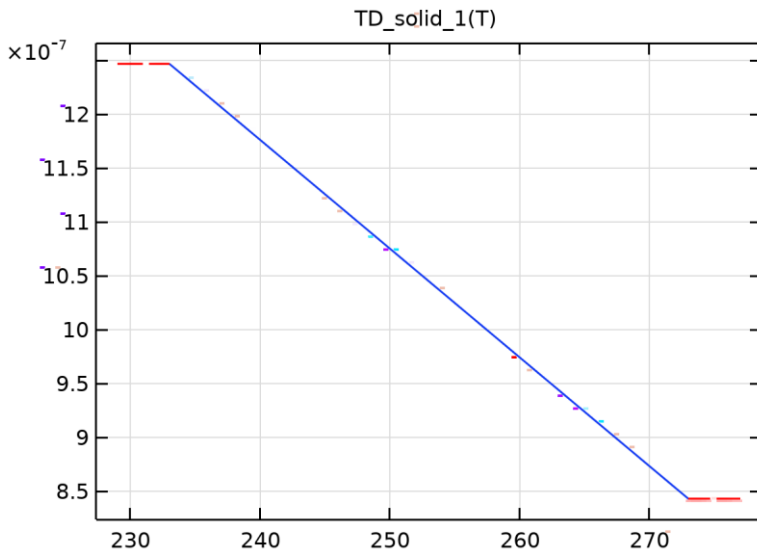
VP_{solid_1}

8.1.1.21 Piecewise 6



ρ_{solid_1}

8.1.1.22 Piecewise 7



TD_solid_1

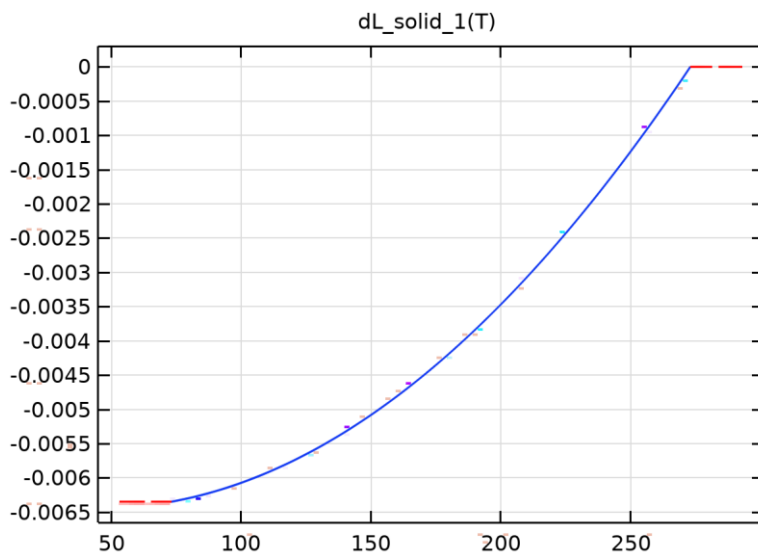
EXPANSIÓN TÉRMICA

Description	Value
Coefficiente tangencial de expansión térmica	{{CTE_solid_1(T[1/K])[1/K], 0, 0}, {0, CTE_solid_1(T[1/K])[1/K], 0}, {0, 0, CTE_solid_1(T[1/K])[1/K]}}
Deformación térmica	{{(dL_solid_1(T[1/K]) - dL_solid_1(Tempref[1/K]))/(1 + dL_solid_1(Tempref[1/K])), 0, 0}, {0, (dL_solid_1(T[1/K]) - dL_solid_1(Tempref[1/K]))/(1 + dL_solid_1(Tempref[1/K])), 0}, {0, 0, (dL_solid_1(T[1/K]) - dL_solid_1(Tempref[1/K]))/(1 + dL_solid_1(Tempref[1/K]))}}
alphatan_symmetry	0
dL_symmetry	0
alphatanIso_symmetry	0
dLIso_symmetry	0

FUNCTIONS

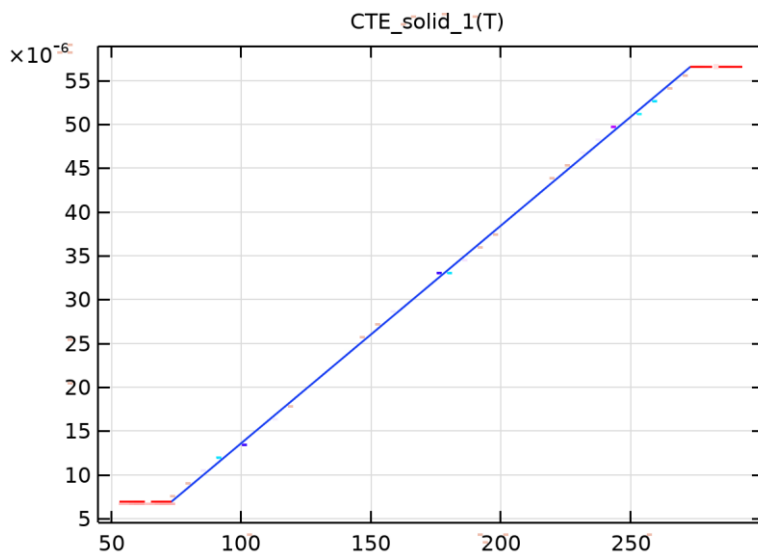
Nombre de función	Tipo
dL_solid_1	Piecewise
CTE_solid_1	Piecewise

8.1.1.23 Piecewise



dL_{solid_1}

8.1.1.24 Piecewise 1



CTE_{solid_1}

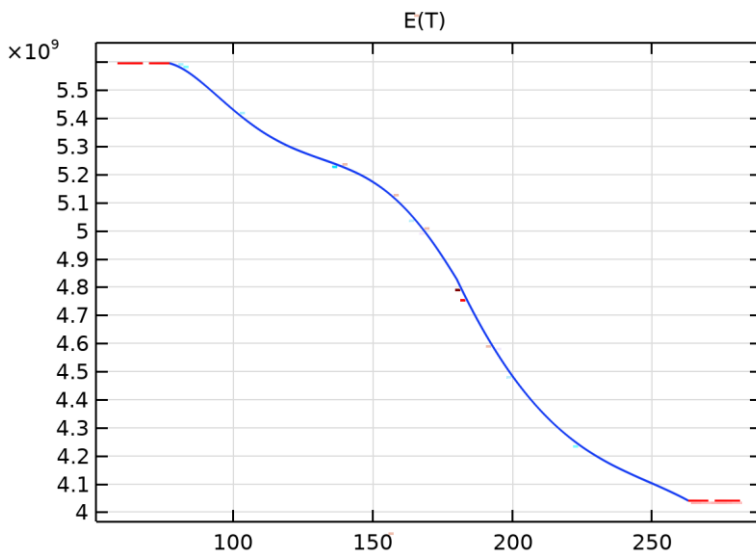
MÓDULO DE YOUNG Y COEFICIENTE DE POISSON

Description	Value
Módulo de Young	$E(T[1/K])[Pa]$
youngsmodulus_symmetry	0
Coeficiente de Poisson	1
poissonsratio_symmetry	0

FUNCTIONS

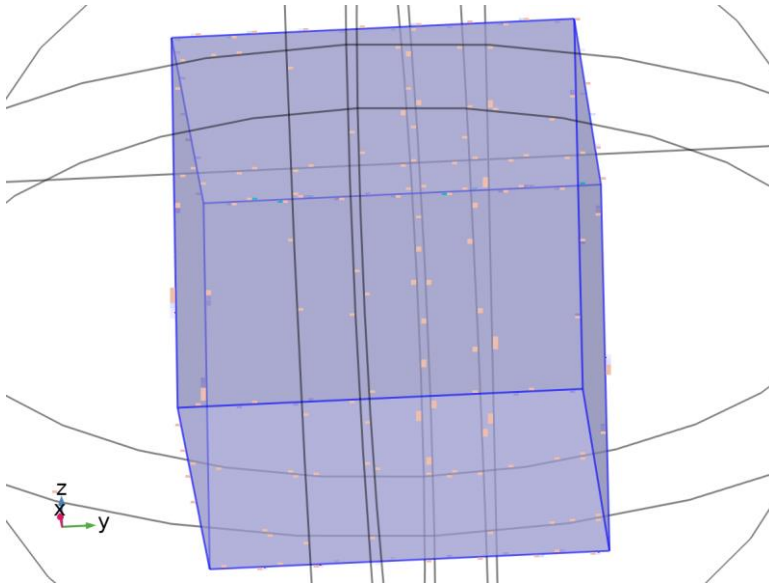
Nombre de función	Tipo
E	Piecewise

8.1.1.25 Piecewise



E

2.3.3 Muscle



Muscle

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrica	Dominio
Selección	Geometría geom3: Dimensión 3: Dominio 9

PARÁMETROS DE MATERIAL

Nombre	Valor	Unidad
Capacidad calorífica con presión constante	3421[J/(kg*K)]	J/(kg·K)
Densidad	1090[kg/m ³]	kg/m ³
Conductividad térmica	0.49[W/(m*K)]	W/(m·K)
Velocidad del sonido	1585	m/s

BASIC

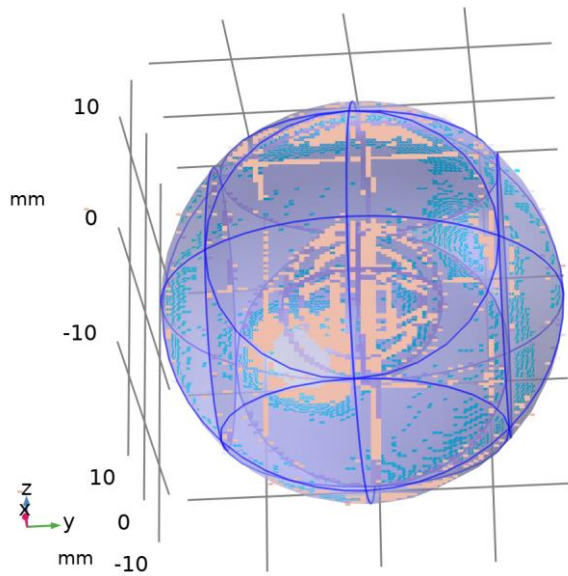
Description	Value
Capacidad calorífica con presión constante	3421[J/(kg*K)]

Description	Value
heatcapacity_symmetry	0
Densidad	1090[kg/m ³]
density_symmetry	0
Conductividad térmica	{{0.49[W/(m*K)], 0, 0}, {0, 0.49[W/(m*K)], 0}, {0, 0, 0.49[W/(m*K)]}}
thermalconductivity_symmetry	3
Velocidad del sonido	1585
soundspeed_symmetry	0
Coeficiente de dilatación adiabática	0.5
ratioofspecificeat_symmetry	0

2.4 PRESIÓN ACÚSTICA, FRECUENCIA

UTILIZAR PRODUCTOS

COMSOL Multiphysics
Acoustics Module



Presión acústica, frecuencia

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrica	Dominio
Selección	Geometría geom3: Dimensión 3: Todos los dominios

EQUATIONS

$$\nabla \cdot \left(-\frac{1}{\rho_c} (\nabla p_t - \mathbf{q}_d) \right) - \frac{k_{eq}^2 p_t}{\rho_c} = Q_m$$

$$p_t = p + p_b$$

$$k_{eq}^2 = \left(\frac{\omega}{c_c} \right)^2$$

2.4.1 Ajustes de interfaz de física

8.1.1.26 Símbolos de física

SETTINGS

Description	Value
Habilitar símbolos físicos	Encendido

8.1.1.27 Discretización

SETTINGS

Description	Value
Orden del elemento	Lagrange cuadrático

8.1.1.28 Global port settings

SETTINGS

Description	Value
Activar barrido de puertos	Apagado
Mode shape normalization	Amplitude normalization

8.1.1.29 Ajustes de nivel de presión de sonido

SETTINGS

Description	Value
Presión de referencia para nivel de sonido	Usar presión de referencia para el agua

8.1.1.30 Velocidad de onda típica para PMLs

SETTINGS

Description	Value
Velocidad de onda típica para PMLs	1500[m/s]

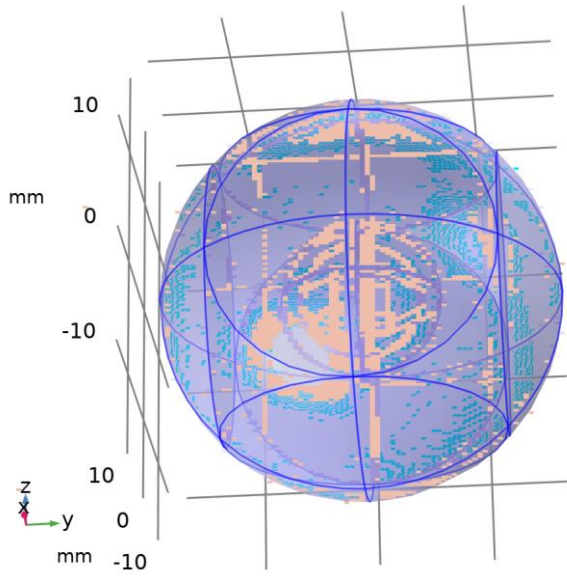
2.4.2 Variables

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección
acpr.freq	freq	Hz	Frecuencia	Global
acpr.omega	$2 \cdot \pi \cdot \text{acpr.freq}$	rad/s	Frecuencia angular	Global
acpr.delta	$1/\text{acpr.omega}^2$	s ²	Factor de escala	Dominios 1–10
acpr.pref_SPL	1.0E-6[Pa]	Pa	Presión de referencia	Global

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección
acpr.lref_SIL	1.0E-12[W/m^2]	W/m ²	Intensidad de referencia	Global
acpr.Pref_SWL	1.0E-12[W]	W	Potencia de referencia	Global
acpr.cref	1500[m/s]	m/s	Velocidad de onda típica para PMLs	Dominios 1–10
acpr.nx	nx	1	Vector normal, componente x	Contornos 5, 10, 13, 17, 19, 22–34, 41–44, 46–49, 55–56
acpr.ny	ny	1	Vector normal, componente y	Contornos 5, 10, 13, 17, 19, 22–34, 41–44, 46–49, 55–56
acpr.nz	nz	1	Vector normal, componente z	Contornos 5, 10, 13, 17, 19, 22–34, 41–44, 46–49, 55–56
acpr.nx	dnx	1	Vector normal, componente x	Contornos 1–4, 6–9, 11–12, 14–16, 18, 20–21, 35–40, 45, 50–54, 57–60
acpr.ny	dny	1	Vector normal, componente y	Contornos 1–4, 6–9, 11–12, 14–16, 18, 20–21, 35–40, 45, 50–54, 57–60
acpr.nz	dnz	1	Vector normal, componente z	Contornos 1–4, 6–9, 11–12, 14–16, 18, 20–21, 35–40, 45, 50–54, 57–60
acpr.nxmesh	nxmesh	1	Vector normal, (malla),	Contornos 5, 10, 13, 17,

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección
			componente x	19, 22–34, 41–44, 46–49, 55–56
acpr.nymesh	nymesh	1	Vector normal, (malla), componente y	Contornos 5, 10, 13, 17, 19, 22–34, 41–44, 46–49, 55–56
acpr.nzmesh	nzmesh	1	Vector normal, (malla), componente z	Contornos 5, 10, 13, 17, 19, 22–34, 41–44, 46–49, 55–56
acpr.nxmesh	dnxmesh	1	Vector normal, (malla), componente x	Contornos 1–4, 6–9, 11–12, 14–16, 18, 20–21, 35–40, 45, 50–54, 57–60
acpr.nymesh	dnymesh	1	Vector normal, (malla), componente y	Contornos 1–4, 6–9, 11–12, 14–16, 18, 20–21, 35–40, 45, 50–54, 57–60
acpr.nzmesh	dnzmesh	1	Vector normal, (malla), componente z	Contornos 1–4, 6–9, 11–12, 14–16, 18, 20–21, 35–40, 45, 50–54, 57–60
acpr.iomega	acpr.omega*i	rad/s	Frecuencia angular compleja	Global

2.4.3 Presión acústica 1



Presión acústica 1

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrica	Dominio
Selección	Geometría geom3: Dimensión 3: Todos los dominios

ECUACIONES

$$\nabla \cdot \left(-\frac{1}{\rho_c} (\nabla p_t - \mathbf{q}_d) \right) - \frac{k_{eq}^2 p_t}{\rho_c} = Q_m$$

$$p_t = p + p_b$$

$$k_{eq}^2 = \left(\frac{\omega}{c_c} \right)^2$$

$$c_c = \frac{\omega}{k}, \quad k = \frac{\omega}{c} - i\alpha, \quad \rho_c = \frac{\rho c^2}{c_c^2}$$

8.1.1.31 Modelo de presión acústica

SETTINGS

Description	Value
Modelo de fluido	User - defined attenuation
Velocidad del sonido	Desde material

Description	Value
Densidad	Desde material
Tipo de atenuación	Coefficiente de atenuación, Np por unidades de longitud
Coefficiente de atenuación	Alpha_Etilenglicol

8.1.1.32 Entrada del modelo

SETTINGS

Description	Value
Temperatura	Definido por el usuario
Temperatura	293.15[K]
Presión absoluta	Definido por el usuario
Presión absoluta	1[atm]
Volume reference temperature	Definido por el usuario
Volume reference temperature	293.15[K]

PROPIEDADES DESDE EL MATERIAL

Propiedad	Material	Grupo de propiedad
Densidad	Ethylene glycol	Basic
Velocidad del sonido	Ethylene glycol	Basic

8.1.1.33 Variables

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
p_fld_abs_bc_0	- $acpr.k*i*p*test(p)*$ $acpr.delta/acpr.rho$	N/m	Condición de contorno	Dominios 1–7, 10	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
	_c		absorbente		
p_fld_abs_bc_2	$(dtang(acpr.p_s,x)*dtang(test(acpr.p_s),x)+dtang(acpr.p_s,y)*dtang(test(acpr.p_s),y)+dtang(acpr.p_s,z)*dtang(test(acpr.p_s),z))*acpr.delta/acpr.rho_c$	N/m ²	Condición de contorno absorbente	Dominios 1-7, 10	
p_fld_shift_lap_dd	- $acpr.p_t*test(p)*i*abs(acpr.k[m])*acpr.delta/acpr.rho_c$	N	Contribución de laplace desplazado	Dominios 1-7, 10	
p_fld_shift_lap_mg	- $acpr.p_t*test(p)*i*abs(acpr.k[m])^{1.5}*acpr.delta/acpr.rho_c$	N	Contribución de laplace desplazado	Dominios 1-7, 10	
acpr.p_s	acpr.p_t-acpr.p_b	Pa	Presión acústica dispersada	Dominios 1-7, 10	
acpr.p_b	0	Pa	Presión acústica de fondo	Dominios 1-7, 10	Operación +
acpr.Lp_s	$20*log10(acpr.p_s_rms/acpr.pref_SPL)$	dB	Nivel de presión de sonido difractado	Dominios 1-7, 10	
acpr.Lp_b	$20*log10(acpr.p_b_rms/acpr.pref_SPL)$	dB	Nivel de presión sonora de fondo	Dominios 1-7, 10	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr.rho	material.rho	kg/m ³	Densidad	Dominios 1–7, 10	Meta
acpr.c	material.c	m/s	Velocidad del sonido	Dominios 1–7, 10	Meta
acpr.alpha1	Alpha_Etilenglicol	Np/m	Coefficiente de atenuación	Dominios 1–7, 10	
acpr.q_totx	acpr.qx	N/m ³	Fuente de dipolo total, componente x	Dominios 1–7, 10	Operación +
acpr.q_toty	acpr.qy	N/m ³	Fuente de dipolo total, componente y	Dominios 1–7, 10	Operación +
acpr.q_totz	acpr.qz	N/m ³	Fuente de dipolo total, componente z	Dominios 1–7, 10	Operación +
acpr.nacc	0	m/s ²	Aceleración entrante (origen)	Contornos 1–29, 35–54, 56–60	Operación +
acpr.Q	0	1/s ²	Total monopole domain source	Dominios 1–7, 10	Operación +
acpr.qx	0	N/m ³	Fuente de dipolo de dominio, componente x	Dominios 1–7, 10	Operación +
acpr.qy	0	N/m ³	Fuente de dipolo de dominio, componente y	Dominios 1–7, 10	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr.qz	0	N/m ³	Fuente de dipolo de dominio, componente z	Dominios 1–7, 10	Operación +
acpr.FAcoPerAreax	acpr.p_t*acpr.nx*dvol_spatial/dvol	N/m ²	Carga acústica por unidad de área, componente x	Contornos 1–29, 35–54, 56–60	
acpr.FAcoPerAreay	acpr.p_t*acpr.ny*dvol_spatial/dvol	N/m ²	Carga acústica por unidad de área, componente y	Contornos 1–29, 35–54, 56–60	
acpr.FAcoPerAreaz	acpr.p_t*acpr.nz*dvol_spatial/dvol	N/m ²	Carga acústica por unidad de área, componente z	Contornos 1–29, 35–54, 56–60	
acpr.p_t	p+acpr.p_b	Pa	Presión acústica total	Dominios 1–7, 10	
acpr.c_c	acpr.iomega/acpr.ik	m/s	Velocidad del sonido compleja	Dominios 1–7, 10	
acpr.rho_c	acpr.rho*(acpr.c/acpr.c_c)^2	kg/m ³	Densidad compleja	Dominios 1–7, 10	
acpr.Z	acpr.rho_c*acpr.c_c	Pa·s/m	Impedancia acústica característica	Dominios 1–7, 10	
acpr.k	acpr.ik/i	rad/m	Número de onda	Dominios 1–7, 10	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr.ik	$acpr.iomega/acpr.c + acpr.alpha1$	rad/m	Número de onda desfasado	Dominios 1–7, 10	
acpr.K_eff	$acpr.rho_c * acpr.c_c^2$	Pa	Módulo de compresibilidad efectivo	Dominios 1–7, 10	
acpr.gradpx	$d(acpr.p_t,x)$	N/m ³	Gradiente de la presión total, componente x	Dominios 1–7, 10	Operación +
acpr.gradpy	$d(acpr.p_t,y)$	N/m ³	Gradiente de la presión total, componente y	Dominios 1–7, 10	Operación +
acpr.gradpz	$d(acpr.p_t,z)$	N/m ³	Gradiente de la presión total, componente z	Dominios 1–7, 10	Operación +
acpr.gradtestpx	test(px)	N/m ³	Variable de ayuda, componente x	Dominios 1–7, 10	Operación +
acpr.gradtestpy	test(py)	N/m ³	Variable de ayuda, componente y	Dominios 1–7, 10	Operación +
acpr.gradtestpz	test(pz)	N/m ³	Variable de ayuda, componente z	Dominios 1–7, 10	Operación +
acpr.hessianpxx	$d(d(acpr.p_t,x),x)$	N/(m·m ³)	Hessiano de la presión total, componente xx	Dominios 1–7, 10	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr.hessianpyx	$d(d(acpr.p_t,y),x)$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente yx	Dominios 1–7, 10	Operación +
acpr.hessianpzx	$d(d(acpr.p_t,z),x)$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente zx	Dominios 1–7, 10	Operación +
acpr.hessianpxy	$d(d(acpr.p_t,x),y)$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente xy	Dominios 1–7, 10	Operación +
acpr.hessianpyy	$d(d(acpr.p_t,y),y)$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente yy	Dominios 1–7, 10	Operación +
acpr.hessianpzy	$d(d(acpr.p_t,z),y)$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente zy	Dominios 1–7, 10	Operación +
acpr.hessianpxz	$d(d(acpr.p_t,x),z)$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente xz	Dominios 1–7, 10	Operación +
acpr.hessianpyz	$d(d(acpr.p_t,y),z)$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente yz	Dominios 1–7, 10	Operación +
acpr.hessianpzz	$d(d(acpr.p_t,z),z)$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente zz	Dominios 1–7, 10	Operación +
acpr.hessiantest pxx	test(pxx)	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente xx	Dominios 1–7, 10	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr.hessiantest pyx	test(pyx)	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente yx	Dominios 1–7, 10	Operación +
acpr.hessiantest pzx	test(pzx)	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente zx	Dominios 1–7, 10	Operación +
acpr.hessiantest pxy	test(pxy)	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente xy	Dominios 1–7, 10	Operación +
acpr.hessiantest pyy	test(pyy)	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente yy	Dominios 1–7, 10	Operación +
acpr.hessiantest pzy	test(pzy)	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente zy	Dominios 1–7, 10	Operación +
acpr.hessiantest pxz	test(pxz)	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente xz	Dominios 1–7, 10	Operación +
acpr.hessiantest pyz	test(pyz)	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente yz	Dominios 1–7, 10	Operación +
acpr.hessiantest pzz	test(pzz)	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente zz	Dominios 1–7, 10	Operación +
acpr.keq_sq	-acpr.ik^2	$1/m^2$	Número de onda al cuadrado para ecuaciones	Dominios 1–7, 10	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr.keq	$\sqrt{\text{acpr.keq_sq}}$	rad/m	Número de onda para ecuaciones	Dominios 1–7, 10	
acpr.ax	$-(\text{acpr.gradpx} - \text{acpr.q_totx})/\text{acpr.rho_c}$	m/s ²	Total acoustic acceleration	Dominios 1–7, 10	
acpr.ay	$-(\text{acpr.gradpy} - \text{acpr.q_toty})/\text{acpr.rho_c}$	m/s ²	Total acoustic acceleration	Dominios 1–7, 10	
acpr.az	$-(\text{acpr.gradpz} - \text{acpr.q_totz})/\text{acpr.rho_c}$	m/s ²	Total acoustic acceleration	Dominios 1–7, 10	
acpr.a_tx	acpr.ax	m/s ²	Total acoustic acceleration	Dominios 1–7, 10	
acpr.a_ty	acpr.ay	m/s ²	Total acoustic acceleration	Dominios 1–7, 10	
acpr.a_tz	acpr.az	m/s ²	Total acoustic acceleration	Dominios 1–7, 10	
acpr.a_inst	$\sqrt{\text{real}(\text{acpr.ax})^2 + \text{real}(\text{acpr.ay})^2 + \text{real}(\text{acpr.az})^2}$	m/s ²	Instantaneous total acoustic acceleration	Dominios 1–7, 10	
acpr.aipx	acpr.ax	m/s ²	Aceleración en el plano, componente x	Dominios 1–7, 10	
acpr.aipy	acpr.ay	m/s ²	Aceleración en el plano, componente y	Dominios 1–7, 10	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr.aipz	acpr.az	m/s ²	Aceleración en el plano, componente z	Dominios 1–7, 10	
acpr.aopx	0	m/s ²	Aceleración fuera del plano, componente x	Dominios 1–7, 10	
acpr.aopy	0	m/s ²	Aceleración fuera del plano, componente y	Dominios 1–7, 10	
acpr.aopz	0	m/s ²	Aceleración fuera del plano, componente z	Dominios 1–7, 10	
acpr.a_rms	$\sqrt{0.5*(\text{realdot}(\text{acpr.ax},\text{acpr.ax})+\text{realdot}(\text{acpr.ay},\text{acpr.ay})+\text{realdot}(\text{acpr.az},\text{acpr.az}))}$	m/s ²	Total acoustic acceleration, #	Dominios 1–7, 10	
acpr.vx	$-(\text{acpr.gradpx}-\text{acpr.q_totx})/(\text{acpr.rho_c}*\text{acpr.iomega})$	m/s	Velocidad acústica total, componente x	Dominios 1–7, 10	
acpr.vy	$-(\text{acpr.gradpy}-\text{acpr.q_toty})/(\text{acpr.rho_c}*\text{acpr.iomega})$	m/s	Velocidad acústica total, componente y	Dominios 1–7, 10	
acpr.vz	$-(\text{acpr.gradpz}-\text{acpr.q_totz})/(\text{acpr.rho_c}*\text{acpr.iomega})$	m/s	Velocidad acústica total, componente z	Dominios 1–7, 10	
acpr.v_tx	acpr.vx	m/s	Velocidad	Dominios 1–	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			acústica total, componente x	7, 10	
acpr.v_ty	acpr.vy	m/s	Velocidad acústica total, componente y	Dominios 1–7, 10	
acpr.v_tz	acpr.vz	m/s	Velocidad acústica total, componente z	Dominios 1–7, 10	
acpr.v_inst	$\sqrt{\text{real}(\text{acpr.vx})^2 + \text{real}(\text{acpr.vy})^2 + \text{real}(\text{acpr.vz})^2}$	m/s	Instantaneous total acoustic velocity	Dominios 1–7, 10	
acpr.v_rms	$\sqrt{0.5 * (\text{realdot}(\text{acpr.vx}, \text{acpr.vx}) + \text{realdot}(\text{acpr.vy}, \text{acpr.vy}) + \text{realdot}(\text{acpr.vz}, \text{acpr.vz}))}$	m/s	Total acoustic velocity, #	Dominios 1–7, 10	
acpr.lx	$0.5 * \text{realdot}(\text{acpr.p}_t, \text{acpr.vx})$	W/m ²	Intensidad, componente x	Dominios 1–7, 10	
acpr.ly	$0.5 * \text{realdot}(\text{acpr.p}_t, \text{acpr.vy})$	W/m ²	Intensidad, componente y	Dominios 1–7, 10	
acpr.lz	$0.5 * \text{realdot}(\text{acpr.p}_t, \text{acpr.vz})$	W/m ²	Intensidad, componente z	Dominios 1–7, 10	
acpr.l_mag	$\sqrt{\text{acpr.lx}^2 + \text{acpr.ly}^2 + \text{acpr.lz}^2}$	W/m ²	Magnitud de intensidad	Dominios 1–7, 10	
acpr.vipx	acpr.vx	m/s	Velocidad en el plano,	Dominios 1–7, 10	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			componente x		
acpr.vipy	acpr.vy	m/s	Velocidad en el plano, componente y	Dominios 1–7, 10	
acpr.vipz	acpr.vz	m/s	Velocidad en el plano, componente z	Dominios 1–7, 10	
acpr.vopx	0	m/s	Velocidad fuera del plano, componente x	Dominios 1–7, 10	
acpr.vopy	0	m/s	Velocidad fuera del plano, componente y	Dominios 1–7, 10	
acpr.vopz	0	m/s	Velocidad fuera del plano, componente z	Dominios 1–7, 10	
acpr.absp_t	$\sqrt{\text{realdot}(\text{acpr.p}_t, \text{acpr.p}_t)}$	Pa	Presión acústica absoluta	Dominios 1–7, 10	
acpr.absp_s	$\sqrt{\text{realdot}(\text{acpr.p}_s, \text{acpr.p}_s)}$	Pa	Presión acústica dispersa absoluta	Dominios 1–7, 10	
acpr.absp_b	$\sqrt{\text{realdot}(\text{acpr.p}_b, \text{acpr.p}_b)}$	Pa	Presión acústica de fondo absoluta	Dominios 1–7, 10	
acpr.Lp_t	$20 \cdot \log_{10}(\text{acpr.p}_t_{\text{rms}} / \text{acpr.pref_SPL})$	dB	Nivel de presión sonora total	Dominios 1–7, 10	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr.p_t_rms	$\sqrt{0.5 \cdot \text{realdot}(\text{acpr.p}_t, \text{acpr.p}_t)}$	Pa	Total acoustic pressure, RMS	Dominios 1–7, 10	
acpr.p_s_rms	$\sqrt{0.5 \cdot \text{realdot}(\text{acpr.p}_s, \text{acpr.p}_s)}$	Pa	Presión acústica dispersa, RMS	Dominios 1–7, 10	
acpr.p_b_rms	$\sqrt{0.5 \cdot \text{realdot}(\text{acpr.p}_b, \text{acpr.p}_b)}$	Pa	Presión acústica de fondo, media cuadrática (RMS)	Dominios 1–7, 10	
acpr.delta_diff	$(\text{acpr.c}_c^2 - \text{acpr.c}^2) / \text{acpr.iomega}$	m ² /s	Sound diffusivity	Dominios 1–7, 10	
acpr.diss_visc	0	W/m ³	Densidad de disipación de potencia viscosa	Dominios 1–7, 10	
acpr.diss_therm	0	W/m ³	Densidad de disipación de potencia térmica	Dominios 1–7, 10	
acpr.diss_tot	$\text{acpr.diss_visc} + \text{acpr.diss_therm}$	W/m ³	Densidad de disipación de potencia termo-viscosa total	Dominios 1–7, 10	
acpr.Q_pw	$-2 \cdot \text{imag}(\text{acpr.k}) \cdot \text{acpr.r.l_mag}$	W/m ³	Densidad de disipación total de onda plana	Dominios 1–7, 10	
acpr.rho_eff_inv xx	$1 / \text{acpr.rho}_c$	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 1–7, 10	
acpr.rho_eff_inv	0	m ³ /kg	Inverse of the	Dominios 1–	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
yx			effective density	7, 10	
acpr.rho_eff_inv zx	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 1– 7, 10	
acpr.rho_eff_inv xy	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 1– 7, 10	
acpr.rho_eff_inv yy	1/acpr.rho_c	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 1– 7, 10	
acpr.rho_eff_inv zy	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 1– 7, 10	
acpr.rho_eff_inv xz	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 1– 7, 10	
acpr.rho_eff_inv yz	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 1– 7, 10	
acpr.rho_eff_inv zz	1/acpr.rho_c	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 1– 7, 10	
acpr.rho_effxx	acpr.rho_c	kg/m ³	Densidad efectiva, componente xx	Dominios 1– 7, 10	
acpr.rho_effyx	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente yx	Dominios 1– 7, 10	
acpr.rho_effzx	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente zx	Dominios 1– 7, 10	
acpr.rho_effxy	0	kg/m ³	Densidad	Dominios 1–	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			efectiva, componente xy	7, 10	
acpr.rho_effyy	acpr.rho_c	kg/m ³	Densidad efectiva, componente yy	Dominios 1– 7, 10	
acpr.rho_effzy	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente zy	Dominios 1– 7, 10	
acpr.rho_effxz	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente xz	Dominios 1– 7, 10	
acpr.rho_effyz	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente yz	Dominios 1– 7, 10	
acpr.rho_effzz	acpr.rho_c	kg/m ³	Densidad efectiva, componente zz	Dominios 1– 7, 10	

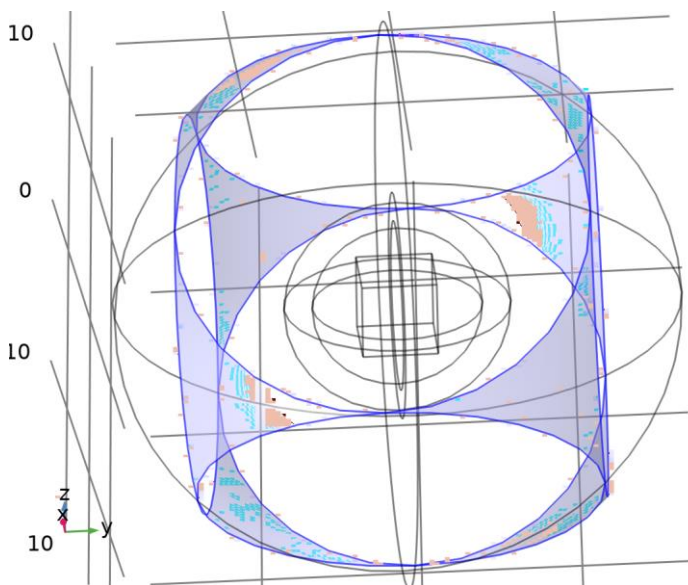
8.1.1.34 Funciones de forma

Nombre	Función de forma	Unidad	Descripción	Marco de forma	Selección
p	Lagrange (Cuadrático)	Pa	Presión	Marco espacial	Dominios 1– 7, 10

8.1.1.35 Expresiones débiles

Expresión débil	Orden de integración	Marco de integración	Selección
$(-acpr.gradpx*acpr.gradtestpx - acpr.gradpy*acpr.gradtestpy - acpr.gradpz*acpr.gradtestpz - acpr.p_t*test(p)*acpr.ik^2)*acpr.delta/acpr.rho_c$	4	Marco espacial	Dominios 1–7, 10
$acpr.delta*acpr.Q*test(p)$	4	Marco espacial	Dominios 1–7, 10
$acpr.delta*(acpr.q_totx*acpr.gradtestpx + acpr.q_toty*acpr.gradtestpy + acpr.q_totz*acpr.gradtestpz)/acpr.rho_c$	4	Marco espacial	Dominios 1–7, 10

2.4.4 Contorno rígido al sonido (pared) 1



Contorno rígido al sonido (pared) 1

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrica	Contorno
Selección	Geometría geom3: Dimensión 2: Todos los contornos

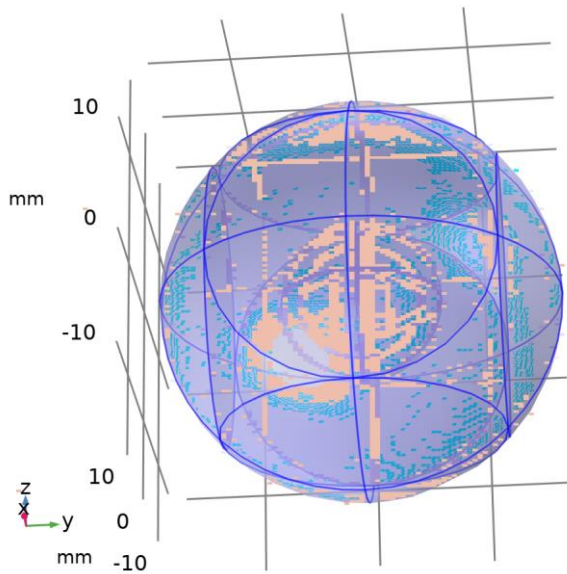
ECUACIONES

$$-\mathbf{n} \cdot \left(-\frac{1}{\rho_c} (\nabla \rho_t - \mathbf{q}_d) \right) = 0$$

UTILIZAR PRODUCTOS

COMSOL Multiphysics

2.4.5 Valores iniciales 1



Valores iniciales 1

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrico	Dominio
Selección	Geometría geom3: Dimensión 3: Todos los dominios

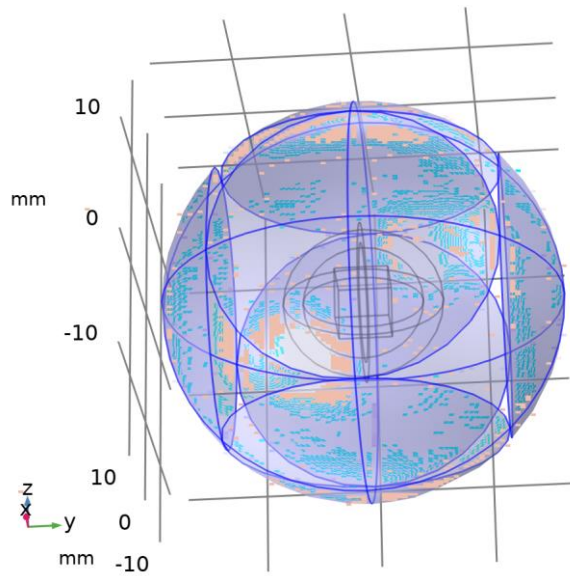
SETTINGS

Description	Value
Presión	1 [atm]

UTILIZAR PRODUCTOS

COMSOL Multiphysics

2.4.6 Desplazamiento normal 1



Desplazamiento normal 1

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrico	Contorno
Selección	Geometría geom3: Dimensión 2: Contornos 1–4, 8–9, 12, 14, 16, 18, 20–21, 35–37, 39, 45, 50–51, 53, 57–60

ECUACIONES

$$-\mathbf{n} \cdot \left(-\frac{1}{\rho_c} (\nabla p_t - \mathbf{q}_d) \right) = (i\omega)^2 d_n$$

8.1.1.36 Desplazamiento normal

SETTINGS

Description	Value
Tipo	Desplazamiento hacia adentro
Desplazamiento hacia adentro	Amplitud

8.1.1.37 Variables

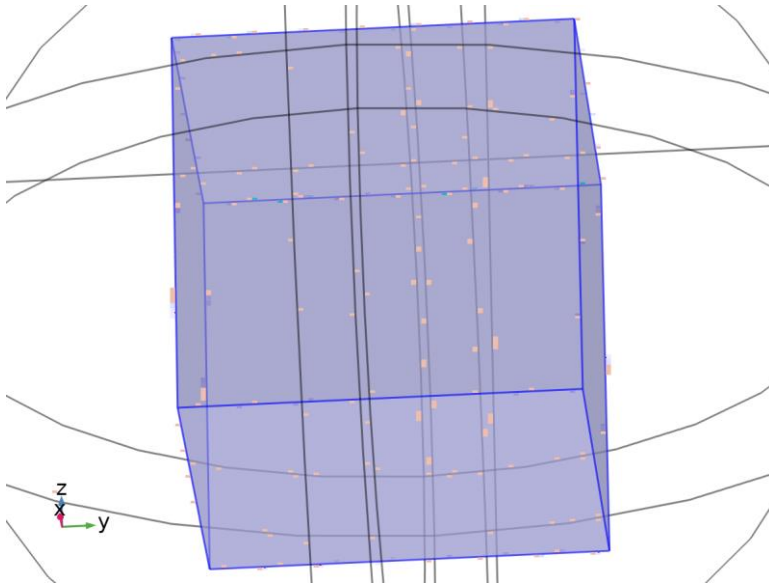
Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr.nacc	$acpr.iomega^2 * acpr.ndisp1.ndisp$	m/s ²	Aceleración entrante (origen)	Contornos 1-4, 8-9, 12, 14, 16, 18, 20-21, 35-37, 39, 45, 50-51, 53, 57-60	Operación +
acpr.ndisp1.ndisp	Amplitud	m	Desplazamiento entrante (origen)	Contornos 1-4, 8-9, 12, 14, 16, 18, 20-21, 35-37, 39, 45, 50-51, 53, 57-60	
acpr.ndisp1.area	$acpr.ndisp1.int(1)$	m ²	Área de superficie	Contornos 1-4, 8-9, 12, 14, 16, 18, 20-21, 35-37, 39, 45, 50-51, 53, 57-60	
acpr.Zac	$acpr.iomega * acpr.ndisp1.int(acpr.p_t) / (acpr.ndisp1.int(acpr.nacc) * acpr.ndisp1.area)$	kg/(m ⁴ ·s)	Impedancia acústica	Contornos 1-4, 8-9, 12, 14, 16, 18, 20-21, 35-37, 39, 45, 50-51, 53, 57-60	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr.Zi	$acpr.i\omega * acpr.p_t / acpr.nacc$	Pa·s/m	Impedancia específica	Contornos 1–4, 8–9, 12, 14, 16, 18, 20–21, 35– 37, 39, 45, 50–51, 53, 57–60	

8.1.1.38 Expresiones débiles

Expresión débil	Orden de integración	Marco de integración	Selección
$acpr.i\omega^2 * acpr.ndisp1.ndisp * test(p) * acpr.delta$	4	Marco espacial	Contornos 1–4, 8–9, 12, 14, 16, 18, 20–21, 35– 37, 39, 45, 50–51, 53, 57–60

2.4.7 Presión acústica 2



Presión acústica 2

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrica	Dominio
Selección	Geometría geom3: Dimensión 3: Dominio 9

ECUACIONES

$$\nabla \cdot \left(-\frac{1}{\rho_c} (\nabla p_t - \mathbf{q}_d) \right) - \frac{k_{eq}^2 p_t}{\rho_c} = Q_m$$

$$p_t = p + p_b$$

$$k_{eq}^2 = \left(\frac{\omega}{c_c} \right)^2$$

$$c_c = \frac{\omega}{k}, \quad k = \frac{\omega}{c} - i\alpha, \quad \rho_c = \frac{\rho c^2}{c_c^2}$$

8.1.1.39 Modelo de presión acústica

SETTINGS

Description	Value
Modelo de fluido	User - defined attenuation
Velocidad del sonido	Desde material

Description	Value
Densidad	Desde material
Tipo de atenuación	Coefficiente de atenuación, Np por unidades de longitud
Coefficiente de atenuación	Alpha_Musculo

8.1.1.40 Entrada del modelo

SETTINGS

Description	Value
Temperatura	Definido por el usuario
Temperatura	293.15[K]
Presión absoluta	Definido por el usuario
Presión absoluta	1[atm]
Volume reference temperature	Definido por el usuario
Volume reference temperature	293.15[K]

PROPIEDADES DESDE EL MATERIAL

Propiedad	Material	Grupo de propiedad
Densidad	Muscle	Basic
Velocidad del sonido	Muscle	Basic

8.1.1.41 Variables

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
p fld_abs_bc_0	- acpr.k*i*p*test(p)* acpr.delta/acpr.rho	N/m	Condición de contorno	Dominio 9	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
	_c		absorbente		
p fld_abs_bc_2	$(dtang(acpr.p_s,x)*dtang(test(acpr.p_s),x)+dtang(acpr.p_s,y)*dtang(test(acpr.p_s),y)+dtang(acpr.p_s,z)*dtang(test(acpr.p_s),z))*acpr.delta/acpr.rho_c$	N/m ²	Condición de contorno absorbente	Dominio 9	
p fld_shift_lap_dd	- $acpr.p_t*test(p)*i*abs(acpr.k[m])*acpr.delta/acpr.rho_c$	N	Contribución de laplace desplazado	Dominio 9	
p fld_shift_lap_mg	- $acpr.p_t*test(p)*i*abs(acpr.k[m])^{1.5}*acpr.delta/acpr.rho_c$	N	Contribución de laplace desplazado	Dominio 9	
acpr.p_s	acpr.p_t-acpr.p_b	Pa	Presión acústica dispersada	Dominio 9	
acpr.p_b	0	Pa	Presión acústica de fondo	Dominio 9	Operación +
acpr.Lp_s	$20*log10(acpr.p_s_rms/acpr.pref_SPL)$	dB	Nivel de presión de sonido difractado	Dominio 9	
acpr.Lp_b	$20*log10(acpr.p_b_rms/acpr.pref_SPL)$	dB	Nivel de presión sonora de fondo	Dominio 9	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr.rho	material.rho	kg/m ³	Densidad	Dominio 9	Meta
acpr.c	material.c	m/s	Velocidad del sonido	Dominio 9	Meta
acpr.alpha1	Alpha_Musculo	Np/m	Coefficiente de atenuación	Dominio 9	
acpr.q_totx	acpr.qx	N/m ³	Fuente de dipolo total, componente x	Dominio 9	Operación +
acpr.q_toty	acpr.qy	N/m ³	Fuente de dipolo total, componente y	Dominio 9	Operación +
acpr.q_totz	acpr.qz	N/m ³	Fuente de dipolo total, componente z	Dominio 9	Operación +
acpr.nacc	0	m/s ²	Aceleración entrante (origen)	Contornos 30–34, 55	Operación +
acpr.Q	0	1/s ²	Total monopole domain source	Dominio 9	Operación +
acpr.qx	0	N/m ³	Fuente de dipolo de dominio, componente x	Dominio 9	Operación +
acpr.qy	0	N/m ³	Fuente de dipolo de dominio, componente y	Dominio 9	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr.qz	0	N/m ³	Fuente de dipolo de dominio, componente z	Dominio 9	Operación +
acpr.FAcoPerArea	$acpr.p_t * acpr.nx * d_{vol_spatial} / d_{vol}$	N/m ²	Carga acústica por unidad de área, componente x	Contornos 30–34, 55	
acpr.FAcoPerArea	$acpr.p_t * acpr.ny * d_{vol_spatial} / d_{vol}$	N/m ²	Carga acústica por unidad de área, componente y	Contornos 30–34, 55	
acpr.FAcoPerArea	$acpr.p_t * acpr.nz * d_{vol_spatial} / d_{vol}$	N/m ²	Carga acústica por unidad de área, componente z	Contornos 30–34, 55	
acpr.p_t	$p + acpr.p_b$	Pa	Presión acústica total	Dominio 9	
acpr.c_c	$acpr.iomega / acpr.ik$	m/s	Velocidad del sonido compleja	Dominio 9	
acpr.rho_c	$acpr.rho * (acpr.c / acpr.c_c)^2$	kg/m ³	Densidad compleja	Dominio 9	
acpr.Z	$acpr.rho_c * acpr.c_c$	Pa·s/m	Impedancia acústica característica	Dominio 9	
acpr.k	$acpr.ik / i$	rad/m	Número de onda	Dominio 9	
acpr.ik	$acpr.iomega / acpr.c$	rad/m	Número de onda	Dominio 9	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
	+acpr.alpha1		desfasado		
acpr.K_eff	$acpr.rho_c * acpr.c_c^2$	Pa	Módulo de compresibilidad efectivo	Dominio 9	
acpr.gradpx	$d(acpr.p_t,x)$	N/m^3	Gradiente de la presión total, componente x	Dominio 9	Operación +
acpr.gradpy	$d(acpr.p_t,y)$	N/m^3	Gradiente de la presión total, componente y	Dominio 9	Operación +
acpr.gradpz	$d(acpr.p_t,z)$	N/m^3	Gradiente de la presión total, componente z	Dominio 9	Operación +
acpr.gradtestpx	test(px)	N/m^3	Variable de ayuda, componente x	Dominio 9	Operación +
acpr.gradtestpy	test(py)	N/m^3	Variable de ayuda, componente y	Dominio 9	Operación +
acpr.gradtestpz	test(pz)	N/m^3	Variable de ayuda, componente z	Dominio 9	Operación +
acpr.hessianpxx	$d(d(acpr.p_t,x),x)$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente xx	Dominio 9	Operación +
acpr.hessianpyx	$d(d(acpr.p_t,y),x)$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la	Dominio 9	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			presión total, componente yx		
acpr.hessianpzx	$d(d(\text{acpr.p}_t,z),x)$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente zx	Dominio 9	Operación +
acpr.hessianpxy	$d(d(\text{acpr.p}_t,x),y)$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente xy	Dominio 9	Operación +
acpr.hessianpyy	$d(d(\text{acpr.p}_t,y),y)$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente yy	Dominio 9	Operación +
acpr.hessianpzy	$d(d(\text{acpr.p}_t,z),y)$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente zy	Dominio 9	Operación +
acpr.hessianpxz	$d(d(\text{acpr.p}_t,x),z)$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente xz	Dominio 9	Operación +
acpr.hessianpyz	$d(d(\text{acpr.p}_t,y),z)$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente yz	Dominio 9	Operación +
acpr.hessianpzz	$d(d(\text{acpr.p}_t,z),z)$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente zz	Dominio 9	Operación +
acpr.hessianptest pxx	test(pxx)	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente xx	Dominio 9	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr.hessiantest pyx	test(pyx)	N/(m·m ³)	Variable de ayuda, componente yx	Dominio 9	Operación +
acpr.hessiantest pzx	test(pzx)	N/(m·m ³)	Variable de ayuda, componente zx	Dominio 9	Operación +
acpr.hessiantest pxy	test(pxy)	N/(m·m ³)	Variable de ayuda, componente xy	Dominio 9	Operación +
acpr.hessiantest pyy	test(pyy)	N/(m·m ³)	Variable de ayuda, componente yy	Dominio 9	Operación +
acpr.hessiantest pzy	test(pzy)	N/(m·m ³)	Variable de ayuda, componente zy	Dominio 9	Operación +
acpr.hessiantest pxz	test(pxz)	N/(m·m ³)	Variable de ayuda, componente xz	Dominio 9	Operación +
acpr.hessiantest pyz	test(pyz)	N/(m·m ³)	Variable de ayuda, componente yz	Dominio 9	Operación +
acpr.hessiantest pzz	test(pzz)	N/(m·m ³)	Variable de ayuda, componente zz	Dominio 9	Operación +
acpr.keq_sq	-acpr.ik^2	1/m ²	Número de onda al cuadrado para ecuaciones	Dominio 9	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr.keq	$\sqrt{\text{acpr.keq_sq}}$	rad/m	Número de onda para ecuaciones	Dominio 9	
acpr.ax	$-(\text{acpr.gradpx} - \text{acpr.q_totx})/\text{acpr.rho_c}$	m/s ²	Total acoustic acceleration	Dominio 9	
acpr.ay	$-(\text{acpr.gradpy} - \text{acpr.q_toty})/\text{acpr.rho_c}$	m/s ²	Total acoustic acceleration	Dominio 9	
acpr.az	$-(\text{acpr.gradpz} - \text{acpr.q_totz})/\text{acpr.rho_c}$	m/s ²	Total acoustic acceleration	Dominio 9	
acpr.a_tx	acpr.ax	m/s ²	Total acoustic acceleration	Dominio 9	
acpr.a_ty	acpr.ay	m/s ²	Total acoustic acceleration	Dominio 9	
acpr.a_tz	acpr.az	m/s ²	Total acoustic acceleration	Dominio 9	
acpr.a_inst	$\sqrt{\text{real}(\text{acpr.ax})^2 + \text{real}(\text{acpr.ay})^2 + \text{real}(\text{acpr.az})^2}$	m/s ²	Instantaneous total acoustic acceleration	Dominio 9	
acpr.aipx	acpr.ax	m/s ²	Aceleración en el plano, componente x	Dominio 9	
acpr.aipy	acpr.ay	m/s ²	Aceleración en el plano, componente y	Dominio 9	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr.aipz	acpr.az	m/s ²	Aceleración en el plano, componente z	Dominio 9	
acpr.aopx	0	m/s ²	Aceleración fuera del plano, componente x	Dominio 9	
acpr.aopy	0	m/s ²	Aceleración fuera del plano, componente y	Dominio 9	
acpr.aopz	0	m/s ²	Aceleración fuera del plano, componente z	Dominio 9	
acpr.a_rms	$\sqrt{0.5*(\text{realdot}(\text{acpr.ax},\text{acpr.ax})+\text{realdot}(\text{acpr.ay},\text{acpr.ay})+\text{realdot}(\text{acpr.az},\text{acpr.az}))}$	m/s ²	Total acoustic acceleration, #	Dominio 9	
acpr.vx	$-(\text{acpr.gradpx}-\text{acpr.q_totx})/(\text{acpr.rho}_c*\text{acpr.iomega})$	m/s	Velocidad acústica total, componente x	Dominio 9	
acpr.vy	$-(\text{acpr.gradpy}-\text{acpr.q_toty})/(\text{acpr.rho}_c*\text{acpr.iomega})$	m/s	Velocidad acústica total, componente y	Dominio 9	
acpr.vz	$-(\text{acpr.gradpz}-\text{acpr.q_totz})/(\text{acpr.rho}_c*\text{acpr.iomega})$	m/s	Velocidad acústica total, componente z	Dominio 9	
acpr.v_tx	acpr.vx	m/s	Velocidad	Dominio 9	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			acústica total, componente x		
acpr.v_ty	acpr.vy	m/s	Velocidad acústica total, componente y	Dominio 9	
acpr.v_tz	acpr.vz	m/s	Velocidad acústica total, componente z	Dominio 9	
acpr.v_inst	$\sqrt{\text{real}(\text{acpr.vx})^2 + \text{real}(\text{acpr.vy})^2 + \text{real}(\text{acpr.vz})^2}$	m/s	Instantaneous total acoustic velocity	Dominio 9	
acpr.v_rms	$\sqrt{0.5 * (\text{realdot}(\text{acpr.vx}, \text{acpr.vx}) + \text{realdot}(\text{acpr.vy}, \text{acpr.vy}) + \text{realdot}(\text{acpr.vz}, \text{acpr.vz}))}$	m/s	Total acoustic velocity, #	Dominio 9	
acpr.lx	$0.5 * \text{realdot}(\text{acpr.p}_t, \text{acpr.vx})$	W/m ²	Intensidad, componente x	Dominio 9	
acpr.ly	$0.5 * \text{realdot}(\text{acpr.p}_t, \text{acpr.vy})$	W/m ²	Intensidad, componente y	Dominio 9	
acpr.lz	$0.5 * \text{realdot}(\text{acpr.p}_t, \text{acpr.vz})$	W/m ²	Intensidad, componente z	Dominio 9	
acpr.l_mag	$\sqrt{\text{acpr.lx}^2 + \text{acpr.ly}^2 + \text{acpr.lz}^2}$	W/m ²	Magnitud de intensidad	Dominio 9	
acpr.vipx	acpr.vx	m/s	Velocidad en el plano,	Dominio 9	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			componente x		
acpr.vipy	acpr.vy	m/s	Velocidad en el plano, componente y	Dominio 9	
acpr.vipz	acpr.vz	m/s	Velocidad en el plano, componente z	Dominio 9	
acpr.vopx	0	m/s	Velocidad fuera del plano, componente x	Dominio 9	
acpr.vopy	0	m/s	Velocidad fuera del plano, componente y	Dominio 9	
acpr.vopz	0	m/s	Velocidad fuera del plano, componente z	Dominio 9	
acpr.absp_t	$\sqrt{\text{realdot}(\text{acpr.p_t}, \text{acpr.p_t})}$	Pa	Presión acústica absoluta	Dominio 9	
acpr.absp_s	$\sqrt{\text{realdot}(\text{acpr.p_s}, \text{acpr.p_s})}$	Pa	Presión acústica dispersa absoluta	Dominio 9	
acpr.absp_b	$\sqrt{\text{realdot}(\text{acpr.p_b}, \text{acpr.p_b})}$	Pa	Presión acústica de fondo absoluta	Dominio 9	
acpr.Lp_t	$20 \cdot \log_{10}(\text{acpr.p_t_rms} / \text{acpr.pref_SPL})$	dB	Nivel de presión sonora total	Dominio 9	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr.p_t_rms	$\sqrt{0.5 \cdot \text{realdot}(\text{acpr.p}_t, \text{acpr.p}_t)}$	Pa	Total acoustic pressure, RMS	Dominio 9	
acpr.p_s_rms	$\sqrt{0.5 \cdot \text{realdot}(\text{acpr.p}_s, \text{acpr.p}_s)}$	Pa	Presión acústica dispersa, RMS	Dominio 9	
acpr.p_b_rms	$\sqrt{0.5 \cdot \text{realdot}(\text{acpr.p}_b, \text{acpr.p}_b)}$	Pa	Presión acústica de fondo, media cuadrática (RMS)	Dominio 9	
acpr.delta_diff	$(\text{acpr.c}_c^2 - \text{acpr.c}^2) / \text{acpr.iomega}$	m ² /s	Sound diffusivity	Dominio 9	
acpr.diss_visc	0	W/m ³	Densidad de disipación de potencia viscosa	Dominio 9	
acpr.diss_therm	0	W/m ³	Densidad de disipación de potencia térmica	Dominio 9	
acpr.diss_tot	$\text{acpr.diss_visc} + \text{acpr.diss_therm}$	W/m ³	Densidad de disipación de potencia termo-viscosa total	Dominio 9	
acpr.Q_pw	$-2 \cdot \text{imag}(\text{acpr.k}) \cdot \text{acpr.l_mag}$	W/m ³	Densidad de disipación total de onda plana	Dominio 9	
acpr.rho_eff_inv xx	$1 / \text{acpr.rho}_c$	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominio 9	
acpr.rho_eff_inv	0	m ³ /kg	Inverse of the	Dominio 9	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
yx			effective density		
acpr.rho_eff_inv zx	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominio 9	
acpr.rho_eff_inv xy	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominio 9	
acpr.rho_eff_inv yy	1/acpr.rho_c	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominio 9	
acpr.rho_eff_inv zy	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominio 9	
acpr.rho_eff_inv xz	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominio 9	
acpr.rho_eff_inv yz	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominio 9	
acpr.rho_eff_inv zz	1/acpr.rho_c	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominio 9	
acpr.rho_effxx	acpr.rho_c	kg/m ³	Densidad efectiva, componente xx	Dominio 9	
acpr.rho_effyx	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente yx	Dominio 9	
acpr.rho_effzx	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente zx	Dominio 9	
acpr.rho_effxy	0	kg/m ³	Densidad	Dominio 9	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			efectiva, componente xy		
acpr.rho_effyy	acpr.rho_c	kg/m ³	Densidad efectiva, componente yy	Dominio 9	
acpr.rho_effzy	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente zy	Dominio 9	
acpr.rho_effxz	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente xz	Dominio 9	
acpr.rho_effyz	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente yz	Dominio 9	
acpr.rho_effzz	acpr.rho_c	kg/m ³	Densidad efectiva, componente zz	Dominio 9	

8.1.1.42 Funciones de forma

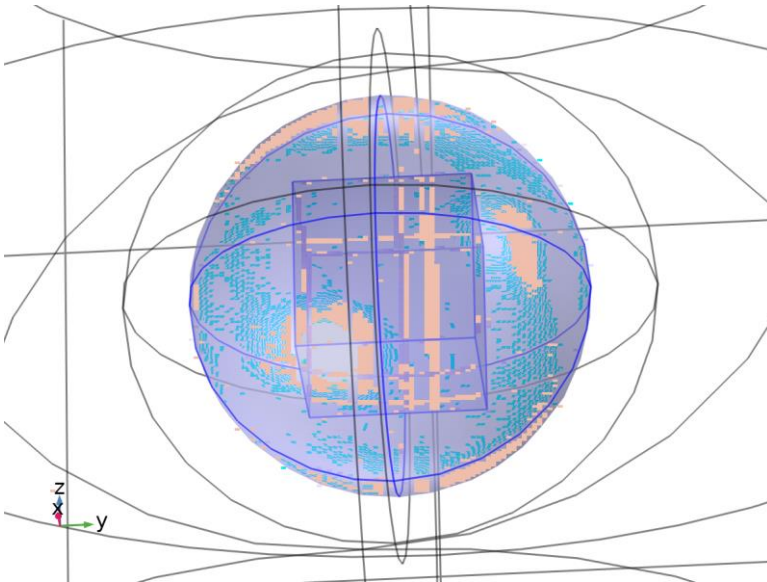
Nombre	Función de forma	Unidad	Descripción	Marco de forma	Selección
p	Lagrange (Cuadrático)	Pa	Presión	Marco espacial	Dominio 9

8.1.1.43 Expresiones débiles

Expresión débil	Orden de integración	Marco de integración	Selección
$(-acpr.gradpx*acpr.gradtestpx-$ $acpr.gradpy*acpr.gradtestpy-$	4	Marco espacial	Dominio 9

Expresión débil	Orden de integración	Marco de integración	Selección
acpr.gradpz*acpr.gradtestpz- acpr.p_t*test(p)*acpr.ik^2)*acpr.delta/acpr.rho_c			
acpr.delta*acpr.Q*test(p)	4	Marco espacial	Dominio 9
acpr.delta*(acpr.q_totx*acpr.gradtestpx+acpr.q_toty* acpr.gradtestpy+acpr.q_totz*acpr.gradtestpz)/acpr.rh o_c	4	Marco espacial	Dominio 9

2.4.8 Presión acústica 3



Presión acústica 3

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrico	Dominio
Selección	Geometría geom3: Dimensión 3: Dominio 8

ECUACIONES

$$\nabla \cdot \left(-\frac{1}{\rho_c} (\nabla p_t - \mathbf{q}_d) \right) - \frac{k_{eq}^2 p_t}{\rho_c} = Q_m$$

$$p_t = p + p_b$$

$$k_{eq}^2 = \left(\frac{\omega}{c_c}\right)^2$$

$$c_c = \frac{\omega}{k}, \quad k = \frac{\omega}{c} - i\alpha, \quad \rho_c = \frac{\rho c^2}{c_c^2}$$

8.1.1.44 Modelo de presión acústica

SETTINGS

Description	Value
Modelo de fluido	User - defined attenuation
Velocidad del sonido	Desde material
Densidad	Desde material
Tipo de atenuación	Coefficiente de atenuación, Np por unidades de longitud
Coefficiente de atenuación	Alpha_Hielo

8.1.1.45 Entrada del modelo

SETTINGS

Description	Value
Temperatura	Definido por el usuario
Temperatura	293.15[K]
Presión absoluta	Definido por el usuario
Presión absoluta	1[atm]
Volume reference temperature	Definido por el usuario
Volume reference temperature	293.15[K]

PROPIEDADES DESDE EL MATERIAL

Propiedad	Material	Grupo de propiedad
Densidad	H2O (water) [solid,tension]	Básico
Velocidad del sonido	H2O (water) [solid,tension]	Básico

8.1.1.46 Variables

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
p fld_abs_bc_0	- acpr.k*i*p*test(p)* acpr.delta/acpr.rho _c	N/m	Condición de contorno absorbente	Dominio 8	
p fld_abs_bc_2	(dtang(acpr.p_s,x)* dtang(test(acpr.p_s ,x)+dtang(acpr.p_s, y)*dtang(test(acpr. p_s),y)+dtang(acpr. p_s,z)*dtang(test(a cpr.p_s),z))*acpr.de lta/acpr.rho_c	N/m ²	Condición de contorno absorbente	Dominio 8	
p fld_shift_lap_ dd	- acpr.p_t*test(p)*i* abs(acpr.k[m])*acp r.delta/acpr.rho_c	N	Contribución de laplace desplazado	Dominio 8	
p fld_shift_lap_ mg	- acpr.p_t*test(p)*i* abs(acpr.k[m]) ^{1.5} *acpr.delta/acpr.rh o_c	N	Contribución de laplace desplazado	Dominio 8	
acpr.p_s	acpr.p_t-acpr.p_b	Pa	Presión acústica	Dominio 8	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			dispersada		
acpr.p_b	0	Pa	Presión acústica de fondo	Dominio 8	Operación +
acpr.Lp_s	$20 \cdot \log_{10}(\text{acpr.p_s_rms}/\text{acpr.pref_SPL})$	dB	Nivel de presión de sonido difractado	Dominio 8	
acpr.Lp_b	$20 \cdot \log_{10}(\text{acpr.p_b_rms}/\text{acpr.pref_SPL})$	dB	Nivel de presión sonora de fondo	Dominio 8	
acpr.rho	material.rho	kg/m ³	Densidad	Dominio 8	Meta
acpr.c	material.c	m/s	Velocidad del sonido	Dominio 8	Meta
acpr.alpha1	Alpha_Hielo	Np/m	Coefficiente de atenuación	Dominio 8	
acpr.q_totx	acpr.qx	N/m ³	Fuente de dipolo total, componente x	Dominio 8	Operación +
acpr.q_toty	acpr.qy	N/m ³	Fuente de dipolo total, componente y	Dominio 8	Operación +
acpr.q_totz	acpr.qz	N/m ³	Fuente de dipolo total, componente z	Dominio 8	Operación +
acpr.nacc	0	m/s ²	Aceleración entrante (origen)	Contornos 26–34, 43–44, 47–48, 55	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr.Q	0	$1/s^2$	Total monopole domain source	Dominio 8	Operación +
acpr.qx	0	N/m^3	Fuente de dipolo de dominio, componente x	Dominio 8	Operación +
acpr.qy	0	N/m^3	Fuente de dipolo de dominio, componente y	Dominio 8	Operación +
acpr.qz	0	N/m^3	Fuente de dipolo de dominio, componente z	Dominio 8	Operación +
acpr.FAcoPerArea_x	$acpr.p_t * acpr.nx * dvol_spatial / dvol$	N/m^2	Carga acústica por unidad de área, componente x	Contornos 26–34, 43–44, 47–48, 55	
acpr.FAcoPerArea_y	$acpr.p_t * acpr.ny * dvol_spatial / dvol$	N/m^2	Carga acústica por unidad de área, componente y	Contornos 26–34, 43–44, 47–48, 55	
acpr.FAcoPerArea_z	$acpr.p_t * acpr.nz * dvol_spatial / dvol$	N/m^2	Carga acústica por unidad de área, componente z	Contornos 26–34, 43–44, 47–48, 55	
acpr.p_t	$p + acpr.p_b$	Pa	Presión acústica total	Dominio 8	
acpr.c_c	$acpr.iomega / acpr.ik$	m/s	Velocidad del sonido compleja	Dominio 8	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr.rho_c	$acpr.rho*(acpr.c/acpr.c_c)^2$	kg/m ³	Densidad compleja	Dominio 8	
acpr.Z	$acpr.rho_c*acpr.c_c$	Pa·s/m	Impedancia acústica característica	Dominio 8	
acpr.k	$acpr.ik/i$	rad/m	Número de onda	Dominio 8	
acpr.ik	$acpr.iomega/acpr.c+acpr.alpha1$	rad/m	Número de onda desfasado	Dominio 8	
acpr.K_eff	$acpr.rho_c*acpr.c_c^2$	Pa	Módulo de compresibilidad efectivo	Dominio 8	
acpr.gradpx	$d(acpr.p_t,x)$	N/m ³	Gradiente de la presión total, componente x	Dominio 8	Operación +
acpr.gradpy	$d(acpr.p_t,y)$	N/m ³	Gradiente de la presión total, componente y	Dominio 8	Operación +
acpr.gradpz	$d(acpr.p_t,z)$	N/m ³	Gradiente de la presión total, componente z	Dominio 8	Operación +
acpr.gradtestpx	test(px)	N/m ³	Variable de ayuda, componente x	Dominio 8	Operación +
acpr.gradtestpy	test(py)	N/m ³	Variable de ayuda, componente y	Dominio 8	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr.gradtestpz	test(pz)	N/m ³	Variable de ayuda, componente z	Dominio 8	Operación +
acpr.hessianpxx	$d(d(acpr.p_t,x),x)$	N/(m·m ³)	Hessiano de la presión total, componente xx	Dominio 8	Operación +
acpr.hessianpyx	$d(d(acpr.p_t,y),x)$	N/(m·m ³)	Hessiano de la presión total, componente yx	Dominio 8	Operación +
acpr.hessianpzx	$d(d(acpr.p_t,z),x)$	N/(m·m ³)	Hessiano de la presión total, componente zx	Dominio 8	Operación +
acpr.hessianpxy	$d(d(acpr.p_t,x),y)$	N/(m·m ³)	Hessiano de la presión total, componente xy	Dominio 8	Operación +
acpr.hessianpyy	$d(d(acpr.p_t,y),y)$	N/(m·m ³)	Hessiano de la presión total, componente yy	Dominio 8	Operación +
acpr.hessianpzy	$d(d(acpr.p_t,z),y)$	N/(m·m ³)	Hessiano de la presión total, componente zy	Dominio 8	Operación +
acpr.hessianpxz	$d(d(acpr.p_t,x),z)$	N/(m·m ³)	Hessiano de la presión total, componente xz	Dominio 8	Operación +
acpr.hessianpyz	$d(d(acpr.p_t,y),z)$	N/(m·m ³)	Hessiano de la presión total, componente yz	Dominio 8	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr.hessianpzz	$d(d(acpr.p_t,z),z)$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente zz	Dominio 8	Operación +
acpr.hessiantest pxx	test(pxx)	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente xx	Dominio 8	Operación +
acpr.hessiantest pyx	test(pyx)	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente yx	Dominio 8	Operación +
acpr.hessiantest pzx	test(pzx)	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente zx	Dominio 8	Operación +
acpr.hessiantest pxy	test(pxy)	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente xy	Dominio 8	Operación +
acpr.hessiantest pyy	test(pyy)	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente yy	Dominio 8	Operación +
acpr.hessiantest pzy	test(pzy)	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente zy	Dominio 8	Operación +
acpr.hessiantest pxz	test(pxz)	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente xz	Dominio 8	Operación +
acpr.hessiantest pyz	test(pyz)	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente yz	Dominio 8	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr.hessiantest pzz	test(pzz)	N/(m·m ³)	Variable de ayuda, componente zz	Dominio 8	Operación +
acpr.keq_sq	-acpr.ik^2	1/m ²	Número de onda al cuadrado para ecuaciones	Dominio 8	Operación +
acpr.keq	sqrt(acpr.keq_sq)	rad/m	Número de onda para ecuaciones	Dominio 8	
acpr.ax	-(acpr.gradpx-acpr.q_totx)/acpr.r ho_c	m/s ²	Total acoustic acceleration	Dominio 8	
acpr.ay	-(acpr.gradpy-acpr.q_toty)/acpr.r ho_c	m/s ²	Total acoustic acceleration	Dominio 8	
acpr.az	-(acpr.gradpz-acpr.q_totz)/acpr.r ho_c	m/s ²	Total acoustic acceleration	Dominio 8	
acpr.a_tx	acpr.ax	m/s ²	Total acoustic acceleration	Dominio 8	
acpr.a_ty	acpr.ay	m/s ²	Total acoustic acceleration	Dominio 8	
acpr.a_tz	acpr.az	m/s ²	Total acoustic acceleration	Dominio 8	
acpr.a_inst	sqrt(real(acpr.ax)^2+real(acpr.ay)^2+real(acpr.az)^2)	m/s ²	Instantaneous total acoustic acceleration	Dominio 8	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr.aipx	acpr.ax	m/s ²	Aceleración en el plano, componente x	Dominio 8	
acpr.aipy	acpr.ay	m/s ²	Aceleración en el plano, componente y	Dominio 8	
acpr.aipz	acpr.az	m/s ²	Aceleración en el plano, componente z	Dominio 8	
acpr.aopx	0	m/s ²	Aceleración fuera del plano, componente x	Dominio 8	
acpr.aopy	0	m/s ²	Aceleración fuera del plano, componente y	Dominio 8	
acpr.aopz	0	m/s ²	Aceleración fuera del plano, componente z	Dominio 8	
acpr.a_rms	$\sqrt{0.5 * (\text{realdot}(\text{acpr.ax}, \text{acpr.ax}) + \text{realdot}(\text{acpr.ay}, \text{acpr.ay}) + \text{realdot}(\text{acpr.az}, \text{acpr.az}))}$	m/s ²	Total acoustic acceleration, #	Dominio 8	
acpr.vx	$-(\text{acpr.gradpx} - \text{acpr.q_totx}) / (\text{acpr.rho}_c * \text{acpr.iomega})$	m/s	Velocidad acústica total, componente x	Dominio 8	
acpr.vy	$-(\text{acpr.gradpy} -$	m/s	Velocidad	Dominio 8	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
	$\text{acpr.q_toty}/(\text{acpr.rho_c}*\text{acpr.iomega})$		acústica total, componente y		
acpr.vz	$-(\text{acpr.gradpz}-\text{acpr.q_totz})/(\text{acpr.rho_c}*\text{acpr.iomega})$	m/s	Velocidad acústica total, componente z	Dominio 8	
acpr.v_tx	acpr.vx	m/s	Velocidad acústica total, componente x	Dominio 8	
acpr.v_ty	acpr.vy	m/s	Velocidad acústica total, componente y	Dominio 8	
acpr.v_tz	acpr.vz	m/s	Velocidad acústica total, componente z	Dominio 8	
acpr.v_inst	$\text{sqrt}(\text{real}(\text{acpr.vx})^2+\text{real}(\text{acpr.vy})^2+\text{real}(\text{acpr.vz})^2)$	m/s	Instantaneous total acoustic velocity	Dominio 8	
acpr.v_rms	$\text{sqrt}(0.5*(\text{realdot}(\text{acpr.vx},\text{acpr.vx})+\text{realdot}(\text{acpr.vy},\text{acpr.vy})+\text{realdot}(\text{acpr.vz},\text{acpr.vz})))$	m/s	Total acoustic velocity, #	Dominio 8	
acpr.lx	$0.5*\text{realdot}(\text{acpr.p_t},\text{acpr.vx})$	W/m ²	Intensidad, componente x	Dominio 8	
acpr.ly	$0.5*\text{realdot}(\text{acpr.p_t},\text{acpr.vy})$	W/m ²	Intensidad, componente y	Dominio 8	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr.lz	$0.5 \cdot \text{realdot}(\text{acpr.p}_t, \text{acpr.vz})$	W/m ²	Intensidad, componente z	Dominio 8	
acpr.l_mag	$\sqrt{\text{acpr.lx}^2 + \text{acpr.ly}^2 + \text{acpr.lz}^2}$	W/m ²	Magnitud de intensidad	Dominio 8	
acpr.vipx	acpr.vx	m/s	Velocidad en el plano, componente x	Dominio 8	
acpr.vipy	acpr.vy	m/s	Velocidad en el plano, componente y	Dominio 8	
acpr.vipz	acpr.vz	m/s	Velocidad en el plano, componente z	Dominio 8	
acpr.vopx	0	m/s	Velocidad fuera del plano, componente x	Dominio 8	
acpr.vopy	0	m/s	Velocidad fuera del plano, componente y	Dominio 8	
acpr.vopz	0	m/s	Velocidad fuera del plano, componente z	Dominio 8	
acpr.absp_t	$\sqrt{\text{realdot}(\text{acpr.p}_t, \text{acpr.p}_t)}$	Pa	Presión acústica absoluta	Dominio 8	
acpr.absp_s	$\sqrt{\text{realdot}(\text{acpr.p}_s, \text{acpr.p}_s)}$	Pa	Presión acústica dispersa	Dominio 8	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			absoluta		
acpr.absp_b	$\sqrt{\text{realdot}(\text{acpr.p_b}, \text{acpr.p_b})}$	Pa	Presión acústica de fondo absoluta	Dominio 8	
acpr.Lp_t	$20 \cdot \log_{10}(\text{acpr.p_t_rms} / \text{acpr.pref_SPL})$	dB	Nivel de presión sonora total	Dominio 8	
acpr.p_t_rms	$\sqrt{0.5 \cdot \text{realdot}(\text{acpr.p_t}, \text{acpr.p_t})}$	Pa	Total acoustic pressure, RMS	Dominio 8	
acpr.p_s_rms	$\sqrt{0.5 \cdot \text{realdot}(\text{acpr.p_s}, \text{acpr.p_s})}$	Pa	Presión acústica dispersa, RMS	Dominio 8	
acpr.p_b_rms	$\sqrt{0.5 \cdot \text{realdot}(\text{acpr.p_b}, \text{acpr.p_b})}$	Pa	Presión acústica de fondo, media cuadrática (RMS)	Dominio 8	
acpr.delta_diff	$(\text{acpr.c_c}^2 - \text{acpr.c}^2) / \text{acpr.iomega}$	m ² /s	Sound diffusivity	Dominio 8	
acpr.diss_visc	0	W/m ³	Densidad de disipación de potencia viscosa	Dominio 8	
acpr.diss_therm	0	W/m ³	Densidad de disipación de potencia térmica	Dominio 8	
acpr.diss_tot	$\text{acpr.diss_visc} + \text{acpr.diss_therm}$	W/m ³	Densidad de disipación de potencia termo-viscosa total	Dominio 8	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr.Q_pw	- $2 \cdot \text{imag}(\text{acpr.k}) \cdot \text{acpr.l_mag}$	W/m ³	Densidad de disipación total de onda plana	Dominio 8	
acpr.rho_eff_inv xx	$1/\text{acpr.rho_c}$	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominio 8	
acpr.rho_eff_inv yx	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominio 8	
acpr.rho_eff_inv zx	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominio 8	
acpr.rho_eff_inv xy	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominio 8	
acpr.rho_eff_inv yy	$1/\text{acpr.rho_c}$	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominio 8	
acpr.rho_eff_inv zy	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominio 8	
acpr.rho_eff_inv xz	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominio 8	
acpr.rho_eff_inv yz	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominio 8	
acpr.rho_eff_inv zz	$1/\text{acpr.rho_c}$	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominio 8	
acpr.rho_effxx	acpr.rho_c	kg/m ³	Densidad efectiva, componente xx	Dominio 8	
acpr.rho_effyx	0	kg/m ³	Densidad	Dominio 8	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			efectiva, componente yx		
acpr.rho_effzx	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente zx	Dominio 8	
acpr.rho_effxy	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente xy	Dominio 8	
acpr.rho_effyy	acpr.rho_c	kg/m ³	Densidad efectiva, componente yy	Dominio 8	
acpr.rho_effzy	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente zy	Dominio 8	
acpr.rho_effxz	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente xz	Dominio 8	
acpr.rho_effyz	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente yz	Dominio 8	
acpr.rho_effzz	acpr.rho_c	kg/m ³	Densidad efectiva, componente zz	Dominio 8	

8.1.1.47 Funciones de forma

Nombre	Función de forma	Unidad	Descripción	Marco de forma	Selección
p	Lagrange (Cuadrático)	Pa	Presión	Marco espacial	Dominio 8

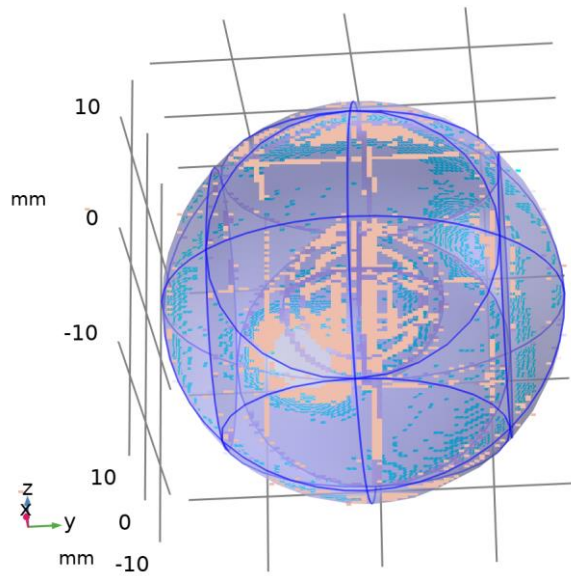
8.1.1.48 Expresiones débiles

Expresión débil	Orden de integración	Marco de integración	Selección
$(-acpr.gradpx*acpr.gradtestpx - acpr.gradpy*acpr.gradtestpy - acpr.gradpz*acpr.gradtestpz - acpr.p_t*test(p)*acpr.ik^2)*acpr.delta/acpr.rho_c$	4	Marco espacial	Dominio 8
$acpr.delta*acpr.Q*test(p)$	4	Marco espacial	Dominio 8
$acpr.delta*(acpr.q_totx*acpr.gradtestpx + acpr.q_toty*acpr.gradtestpy + acpr.q_totz*acpr.gradtestpz)/acpr.rho_c$	4	Marco espacial	Dominio 8

2.5 TRANSFERENCIA DE BIOCALOR 2

UTILIZAR PRODUCTOS

COMSOL Multiphysics
Heat Transfer Module



Transferencia de biocalor 2

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrica	Dominio
Selección	Geometría geom3: Dimensión 3: Todos los dominios

EQUATIONS

$$\rho c_p \mathbf{u} \cdot \nabla T + \nabla \cdot \mathbf{q} = Q + Q_{\text{bio}}$$

$$\mathbf{q} = -k \nabla T$$

2.5.1 Ajustes de interfaz de física

8.1.1.49 Discretización

SETTINGS

Description	Value
Temperatura	Lagrange cuadrático

8.1.1.50 Modelo físico

SETTINGS

Description	Value
Dominio isotérmico	Apagado
Temperatura de referencia	Definido por el usuario
Temperatura de referencia	TempAmbiente

2.5.2 Variables

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht2.Tref	model.input.Tref	K	Temperatura de referencia	Global	Meta
ht2.d	1	1	Grosor	Dominios 1–10	
ht2.HRef	0	J/kg	Entalpía de referencia	Dominios 1–10	
ht2.alphap	0	1/K	Coefficiente de compresibilidad isobárico	Dominios 1–10	
ht2.DeltaH	0	J/kg	Sensibilidad de entalpía	Dominios 1–10	Operación +
ht2.H	0	J/kg	Entalpía	Dominios 1–10	Operación +
ht2.H0	ht2.H+ht2.Ek	J/kg	Entalpía total	Dominios 1–10	
ht2.Ei	0	J/kg	Energía interna	Dominios 1–10	Operación +
ht2.Ei0	ht2.Ei+ht2.Ek	J/kg	Energía total interna	Dominios 1–10	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht2.Ek	0	J/kg	Energía cinética	Dominios 1–10	Operación +
ht2.dfluxx	0	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente x	Dominios 1–10	Operación +
ht2.dfluxy	0	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente y	Dominios 1–10	Operación +
ht2.dfluxz	0	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente z	Dominios 1–10	Operación +
ht2.dfluxx	mean(ht2.dfluxx)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente x	Contornos 1–60	Operación +
ht2.dfluxy	mean(ht2.dfluxy)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente y	Contornos 1–60	Operación +
ht2.dfluxz	mean(ht2.dfluxz)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente z	Contornos 1–60	Operación +
ht2.dfluxtestx	0	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente x	Dominios 1–10	Operación +
ht2.dfluxtesty	0	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente y	Dominios 1–10	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht2.dfluxtestz	0	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente z	Dominios 1–10	Operación +
ht2.dfluxtestx	mean(ht2.dfluxtestx)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente x	Contornos 1–60	Operación +
ht2.dfluxtesty	mean(ht2.dfluxtesty)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente y	Contornos 1–60	Operación +
ht2.dfluxtestz	mean(ht2.dfluxtestz)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente z	Contornos 1–60	Operación +
ht2.dfluxMag	sqrt(ht2.dfluxx^2+ht2.dfluxy^2+ht2.dfluxz^2)	W/m ²	Magnitud de flujo de calor conductivo	Dominios 1–10	
ht2.cfluxx	0	W/m ²	Flujo de calor convectivo, componente x	Dominios 1–10	Operación +
ht2.cfluxy	0	W/m ²	Flujo de calor convectivo, componente y	Dominios 1–10	Operación +
ht2.cfluxz	0	W/m ²	Flujo de calor convectivo, componente z	Dominios 1–10	Operación +
ht2.cfluxMag	sqrt(ht2.cfluxx^2+ht2.cfluxy^2+ht2.cfluxz^2)	W/m ²	Magnitud de flujo de calor convectivo	Dominios 1–10	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht2.tfluxx	$ht2.dfluxx+ht2.cfluxx$	W/m ²	Flujo de calor total, componente x	Dominios 1–10	
ht2.tfluxy	$ht2.dfluxy+ht2.cfluxy$	W/m ²	Flujo de calor total, componente y	Dominios 1–10	
ht2.tfluxz	$ht2.dfluxz+ht2.cfluxz$	W/m ²	Flujo de calor total, componente z	Dominios 1–10	
ht2.tfluxMag	$\sqrt{ht2.tfluxx^2+ht2.tfluxy^2+ht2.tfluxz^2}$	W/m ²	Magnitud de flujo de calor total	Dominios 1–10	
ht2.tefluxx	0	W/m ²	Flujo de energía total, componente x	Dominios 1–10	Operación +
ht2.tefluxy	0	W/m ²	Flujo de energía total, componente y	Dominios 1–10	Operación +
ht2.tefluxz	0	W/m ²	Flujo de energía total, componente z	Dominios 1–10	Operación +
ht2.tefluxMag	$\sqrt{ht2.tefluxx^2+ht2.tefluxy^2+ht2.tefluxz^2}$	W/m ²	Magnitud de flujo de energía total	Dominios 1–10	
ht2.thfluxx	0	W/m ²	Flujo de entalpía total, componente x	Dominios 1–10	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht2.thfluxy	0	W/m ²	Flujo de entalpía total, componente y	Dominios 1–10	Operación +
ht2.thfluxz	0	W/m ²	Flujo de entalpía total, componente z	Dominios 1–10	Operación +
ht2.thfluxMag	$\text{sqrt}(\text{ht2.thfluxx}^2 + \text{ht2.thfluxy}^2 + \text{ht2.thfluxz}^2)$	W/m ²	Total enthalpy flux magnitude	Dominios 1–10	
ht2.dflux_ux	up(ht2.dfluxx)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente x	Contornos 1–60	
ht2.dflux_uy	up(ht2.dfluxy)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente y	Contornos 1–60	
ht2.dflux_uz	up(ht2.dfluxz)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente z	Contornos 1–60	
ht2.dflux_dx	down(ht2.dfluxx)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente x	Contornos 1–60	
ht2.dflux_dy	down(ht2.dfluxy)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente y	Contornos 1–60	
ht2.dflux_dz	down(ht2.dfluxz)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente z	Contornos 1–60	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht2.dfluxtest_ux	up(ht2.dfluxtestx)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente x	Contornos 1-60	
ht2.dfluxtest_uy	up(ht2.dfluxtesty)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente y	Contornos 1-60	
ht2.dfluxtest_uz	up(ht2.dfluxtestz)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente z	Contornos 1-60	
ht2.dfluxtest_dx	down(ht2.dfluxtestx)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente x	Contornos 1-60	
ht2.dfluxtest_dy	down(ht2.dfluxtesty)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente y	Contornos 1-60	
ht2.dfluxtest_dz	down(ht2.dfluxtestz)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente z	Contornos 1-60	
ht2.rflux	0	W/m ²	Flujo de calor radiativo	Contornos 1-60	Operación +
ht2.ncflux	mean(ht2.cfluxx)*ht2.nxmesh+mean(ht2.cfluxy)*ht2.ny mesh+mean(ht2.cfluxz)*ht2.nzmesh	W/m ²	Flujo de calor conductivo normal	Contornos 1-60	
ht2.ncflux_u	up(ht2.cfluxx)*ht2.unxmesh+up(ht2.	W/m ²	Flujo de calor convectivo	Contornos 1-60	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
	$cfluxy) * ht2.uny mesh + up(ht2.cfluxz) * ht2.unz mesh$		normal interno, lado superior		
ht2.ncflux_d	$down(ht2.cfluxx) * ht2.dnx mesh + down(ht2.cfluxy) * ht2.dnymesh + down(ht2.cfluxz) * ht2.dnz mesh$	W/m ²	Flujo de calor convectivo normal interno, lado inferior	Contornos 1–60	
ht2.ndflux	$0.5 * (ht2.ndflux_d - ht2.ndflux_u)$	W/m ²	Flujo de calor conductivo normal	Contornos 1–60	Operación +
ht2.ndflux_u	$-ht2.ndflux_d$	W/m ²	Flujo de calor conductivo normal interno, lado superior	Contornos 1–4, 6–9, 11–12, 14–16, 18, 20–21, 35–40, 45, 50–54, 57–60	Operación +
ht2.ndflux_u	0	W/m ²	Flujo de calor conductivo normal interno, lado superior	Contornos 5, 10, 13, 17, 19, 22–34, 41–44, 46–49, 55–56	Operación +
ht2.ndflux_d	0	W/m ²	Flujo de calor conductivo normal interno, lado inferior	Contornos 1–60	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht2.ntflux	ht2.ndflux+ht2.ncflux	W/m ²	Flujo de calor normal total	Contornos 1-60	
ht2.ntflux_u	ht2.ndflux_u+ht2.ncflux_u	W/m ²	Flujo total normal interno, lado superior	Contornos 1-60	
ht2.ntflux_d	ht2.ndflux_d+ht2.ncflux_d	W/m ²	Flujo total normal interno, lado inferior	Contornos 1-60	
ht2.nteflux	mean(ht2.tefluxx)*ht2.nxmesh+mean(ht2.tefluxy)*ht2.nymesh+mean(ht2.tefluxz)*ht2.nzmesh-mean(ht2.dfluxx)*ht2.nxmesh-mean(ht2.dfluxy)*ht2.nymesh-mean(ht2.dfluxz)*ht2.nzmesh+ht2.ndflux	W/m ²	Flujo de energía normal total	Contornos 1-60	
ht2.nteflux_u	up(ht2.tefluxx)*ht2.unxmesh+up(ht2.tefluxy)*ht2.unymesh+up(ht2.tefluxz)*ht2.unzmesh-up(ht2.dfluxx)*ht2.unxmesh-up(ht2.dfluxy)*ht2.unymesh	W/m ²	Flujo de energía total normal interno, lado superior	Contornos 1-60	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
	.unymesh- up(ht2.dfluxz)*ht2 .unzmesh+ht2.ndflux_u				
ht2.nteflux_d	down(ht2.tefluxx) *ht2.dnxmesh+down(ht2.tefluxy)*ht2.dnymesh+down(ht2.tefluxz)*ht2.dnzmesh-down(ht2.dfluxx)*ht2.dnxmesh-down(ht2.dfluxy)*ht2.dnymesh-down(ht2.dfluxz)*ht2.dnzmesh+ht2.ndflux_d	W/m ²	Flujo de energía total normal interno, lado inferior	Contornos 1–60	
ht2.nthflux	mean(ht2.thfluxx)*ht2.nxmesh+mean(ht2.thfluxy)*ht2.dnymesh+mean(ht2.thfluxz)*ht2.dnzmesh	W/m ²	Flujo de entalpía normal total	Contornos 1–60	
ht2.nthflux_u	up(ht2.thfluxx)*ht2.unxmesh+up(ht2.thfluxy)*ht2.unymesh+up(ht2.thfluxz)*ht2.unzmesh	W/m ²	Flujo de entalpía total normal interno, lado superior	Contornos 1–60	
ht2.nthflux_d	down(ht2.thfluxx)*ht2.dnxmesh+do	W/m ²	Flujo de entalpía total normal	Contornos 1–60	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
	$w_n(ht2.thfluxy)*ht2.dnymesh+down(ht2.thfluxz)*ht2.dnzmsh$		interno, lado inferior		
ht2.Qm	0	kg/(m ³ ·s)	Fuente de masa	Dominios 1–10	
ht2.Q	0	W/m ³	Fuente de calor	Dominios 1–10	Operación +
ht2.Qoop	0	W/m ³	Fuente de calor fuera del plano	Dominios 1–10	Operación +
ht2.Qtot	0	W/m ³	Fuente de calor total	Dominios 1–10	Operación +
ht2.Qbtot	0	W/m ²	Fuente de calor total en contorno	Contornos 1–60	Operación +
ht2.ntflux_contribution	0	W/m ²	Boundary sources and fluxes contribution	Dominios 1–10	Operación +
ht2.Qitot	0	W/m ²	Fuente de interfaz total	Dominios 1–10	Operación +
ht2.qs	0	W/(m ³ ·K)	Coeficiente de producción/absorción	Dominios 1–10	Operación +
ht2.qs_oop	0	W/(m ³ ·K)	Coeficiente de producción/absorción fuera del	Dominios 1–10	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			plano		
ht2.Qltot	0	W/m	Fuente de calor total de línea	Aristas 1–84	Operación +
ht2.Qlrtot	0	W/m	Fuente de calor total de línea con radio	Aristas 1–84	Operación +
ht2.Qptot	0	W	Fuente total de calor en punto	Puntos 1–38	Operación +
ht2.Qprtot	0	W	Fuente de calor total en punto con radio	Puntos 1–38	Operación +
ht2.Tvar	T2	K	Temperatura	Dominios 1–10	
ht2.Tvar	T2	K	Temperatura	Contornos 1–60	
ht2.Tvar	T2	K	Temperatura	Aristas 1–84	
ht2.Tvar	T2	K	Temperatura	Puntos 1–38	
ht2.Tu	up(T2)	K	Temperatura	Contornos 5, 10, 13, 17, 19, 22–34, 41–44, 46–49, 55–56	
ht2.Tu	T2	K	Temperatura	Contornos 1–4, 6–9, 11–12, 14–16, 18, 20–21,	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
				35–40, 45, 50–54, 57– 60	
ht2.Td	down(T2)	K	Temperatura	Contornos 5, 10, 13, 17, 19, 22–34, 41–44, 46– 49, 55–56	
ht2.Td	T2	K	Temperatura	Contornos 1–4, 6–9, 11– 12, 14–16, 18, 20–21, 35–40, 45, 50–54, 57– 60	
ht2.du	up(ht2.d)	1	Grosor	Contornos 5, 10, 13, 17, 19, 22–34, 41–44, 46– 49, 55–56	
ht2.du	ht2.d	1	Grosor	Contornos 1–4, 6–9, 11– 12, 14–16, 18, 20–21, 35–40, 45, 50–54, 57– 60	
ht2.dd	down(ht2.d)	1	Grosor	Contornos 5, 10, 13, 17,	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
				19, 22–34, 41–44, 46– 49, 55–56	
ht2.dd	ht2.d	1	Grosor	Contornos 1–4, 6–9, 11– 12, 14–16, 18, 20–21, 35–40, 45, 50–54, 57– 60	
ht2.q0	0	W/m ²	Flujo de calor entrante	Contornos 1–4, 6–9, 11– 12, 14–16, 18, 20–21, 35–40, 45, 50–54, 57– 60	Operación +
ht2.nx	nx	1	Vector normal, componente x	Contornos 5, 10, 13, 17, 19, 22–34, 41–44, 46– 49, 55–56	
ht2.ny	ny	1	Vector normal, componente y	Contornos 5, 10, 13, 17, 19, 22–34, 41–44, 46– 49, 55–56	
ht2.nz	nz	1	Vector normal, componente z	Contornos 5, 10, 13, 17,	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
				19, 22–34, 41–44, 46– 49, 55–56	
ht2.nx	dnx	1	Vector normal, componente x	Contornos 1–4, 6–9, 11– 12, 14–16, 18, 20–21, 35–40, 45, 50–54, 57– 60	
ht2.ny	dny	1	Vector normal, componente y	Contornos 1–4, 6–9, 11– 12, 14–16, 18, 20–21, 35–40, 45, 50–54, 57– 60	
ht2.nz	dnz	1	Vector normal, componente z	Contornos 1–4, 6–9, 11– 12, 14–16, 18, 20–21, 35–40, 45, 50–54, 57– 60	
ht2.nxmesh	nxmesh	1	Vector normal, (malla), componente x	Contornos 5, 10, 13, 17, 19, 22–34, 41–44, 46– 49, 55–56	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht2.nymesh	nymesh	1	Vector normal, (malla), componente y	Contornos 5, 10, 13, 17, 19, 22–34, 41–44, 46–49, 55–56	
ht2.nzmesh	nzmesh	1	Vector normal, (malla), componente z	Contornos 5, 10, 13, 17, 19, 22–34, 41–44, 46–49, 55–56	
ht2.nxmesh	dnxmesh	1	Vector normal, (malla), componente x	Contornos 1–4, 6–9, 11–12, 14–16, 18, 20–21, 35–40, 45, 50–54, 57–60	
ht2.nymesh	dnymesh	1	Vector normal, (malla), componente y	Contornos 1–4, 6–9, 11–12, 14–16, 18, 20–21, 35–40, 45, 50–54, 57–60	
ht2.nzmesh	dnzmesh	1	Vector normal, (malla), componente z	Contornos 1–4, 6–9, 11–12, 14–16, 18, 20–21, 35–40, 45, 50–54, 57–	

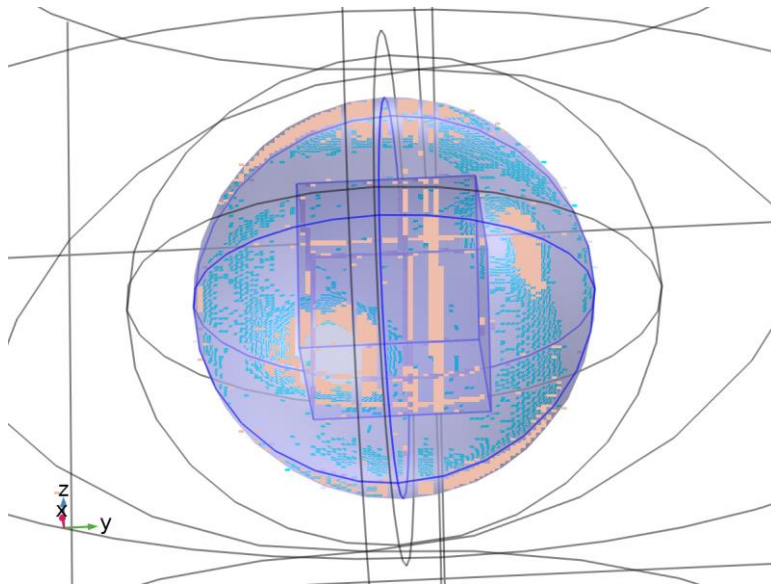
Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
				60	
ht2.dnx	dnx	1	Vector normal hacia abajo, componente x	Contornos 1-60	
ht2.dny	dny	1	Vector normal hacia abajo, componente y	Contornos 1-60	
ht2.dnz	dnz	1	Vector normal hacia abajo, componente z	Contornos 1-60	
ht2.dnxmesh	dnxmesh	1	Vector normal hacia abajo (malla), componente x	Contornos 1-60	
ht2.dnymesh	dnymesh	1	Vector normal hacia abajo (malla), componente y	Contornos 1-60	
ht2.dnzmesh	dnzmesh	1	Vector normal hacia abajo (malla), componente z	Contornos 1-60	
ht2.unx	unx	1	Vector normal hacia arriba, componente x	Contornos 1-60	
ht2.uny	uny	1	Vector normal hacia arriba,	Contornos 1-60	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			componente y		
ht2.unz	unz	1	Vector normal hacia arriba, componente z	Contornos 1-60	
ht2.unxmesh	unxmesh	1	Vector normal hacia arriba (malla), componente x	Contornos 1-60	
ht2.unymesh	unymesh	1	Vector normal hacia arriba (malla), componente y	Contornos 1-60	
ht2.unzmesh	unzmesh	1	Vector normal hacia arriba (malla), componente z	Contornos 1-60	
ht2.dEiInt	0	W	Tasa de calor acumulado total	Global	Operación +
ht2.dEi0Int	0	W	Tasa de energía total acumulada	Global	Operación +
ht2.ntfluxInt	ht2.intExtBnd(ht2.ntflux*ht2.varIntSpa)+ht2.intIntBnd(ht2.ncflux_u*up(ht2.varIntSpa)+ht2.ncflux_d*down(ht2.varIntSpa))	W	Tasa neta de calor total	Global	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht2.ntefluxInt	ht2.intExtBnd(ht2.nteflux*ht2.varIntSpa)+ht2.intIntBnd(ht2.nthflux_u*up(ht2.varIntSpa)+ht2.nthflux_d*down(ht2.varIntSpa))	W	Tasa neta de energía total	Global	
ht2.QInt	ht2.intDom(ht2.Qtot*ht2.varIntSpa)+ht2.intIntLine(ht2.QItot*ht2.varIntSpa)+ht2.intLine(ht2.QIrtot*ht2.varIntSpa)+ht2.intIntPnt(ht2.Qptot)+ht2.intPnt(ht2.Qprtot)-ht2.intIntBnd(ht2.ndflux_u*up(ht2.varIntSpa)+ht2.ndflux_d*down(ht2.varIntSpa))	W	Fuente de calor total	Global	
ht2.id	1	1	Indicador de física	Dominios 1–10	
ht2.Wstr	0	W/m ³	Potencia de tensión total	Dominios 1–10	Operación +
ht2.WstrInt	0	W	Potencia de tensión total	Global	Operación +
ht2.Wtot	0	W/m ³	Fuente de	Dominios 1–	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			trabajo total	10	
ht2.WBndTot_u	0	W/m ²	Fuente de trabajo total, lado superior	Contornos 5, 10, 13, 17, 19, 22–34, 41–44, 46–49, 55–56	Operación +
ht2.WBndTot_d	0	W/m ²	Fuente de trabajo total, lado inferior	Contornos 1–60	Operación +
ht2.WInt	0	W	Fuente de trabajo total	Global	Operación +
ht2.varIntSpa	ht2.d	1	Variable intermedia	Dominios 1–10	Meta

2.5.3 Tejido biológico 1



Tejido biológico 1

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrico	Dominio
Selección	Geometría geom3: Dimensión 3: Todos los dominios

ECUACIONES

$$\rho C_p \mathbf{u} \cdot \nabla T + \nabla \cdot \mathbf{q} = Q + Q_{\text{bio}}$$

$$\mathbf{q} = -k \nabla T$$

8.1.1.51 Conducción de calor, sólido

SETTINGS

Description	Value
Conductividad térmica	Desde material

8.1.1.52 Termodinámica, sólido

SETTINGS

Description	Value
Densidad	Desde material
Capacidad calorífica con presión constante	Desde material

8.1.1.53 Selección de sistema de coordenadas

SETTINGS

Description	Value
Sistema de Coordenadas	Sistema de coordenadas global

8.1.1.54 Entrada del modelo

SETTINGS

Description	Value
Volume reference temperature	Entradas de modelo en común

PROPIEDADES DESDE EL MATERIAL

Propiedad	Material	Grupo de propiedad
Conductividad térmica	H2O (water) [solid,tension]	Básico
Densidad	H2O (water) [solid,tension]	Básico
Capacidad calorífica con presión constante	H2O (water) [solid,tension]	Básico
Conductividad térmica	Muscle	Basic
Densidad	Muscle	Basic
Capacidad calorífica con presión constante	Muscle	Basic

8.1.1.55 Variables

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
domflux.T2x	ht2.dflux*ht2.d	W/m ²	Flujo del dominio, Componente x	Dominios 8–9	
domflux.T2y	ht2.dfluxy*ht2.d	W/m ²	Flujo del dominio, Componente y	Dominios 8–9	
domflux.T2z	ht2.dfluxz*ht2.d	W/m ²	Flujo del dominio, Componente z	Dominios 8–9	
ht2.alphap	- d(ht2.rho,T2)/max(ht2.rho,eps)	1/K	Coefficiente de compresibilidad isobárico	Dominios 8–9	
ht2.DeltaH	integrate(subst(ht2.Cp,ht2.bt1.minput	J/kg	Sensibilidad de entalpía	Dominios 8–9	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
	_pressure,ht2.pref) ,T2,ht2.DeltaH_Tlow,T2)+integrate(ht2.mujtT,ht2.bt1.minput_pressure,ht2.DeltaH_plow,ht2.pA)				
ht2.H	ht2.HRef+ht2.DeltaH	J/kg	Entalpía	Dominios 8–9	Operación +
ht2.Ei	ht2.H	J/kg	Energía interna	Dominios 8–9	Operación +
ht2.Ek	0.5*(ht2.ux^2+ht2.uy^2+ht2.uz^2)	J/kg	Energía cinética	Dominios 8–9	Operación +
ht2.dfluxx	-ht2.k_effxx*T2x-ht2.k_effxy*T2y-ht2.k_effxz*T2z	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente x	Dominios 8–9	Operación +
ht2.dfluxy	-ht2.k_effyx*T2x-ht2.k_effyy*T2y-ht2.k_effyz*T2z	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente y	Dominios 8–9	Operación +
ht2.dfluxz	-ht2.k_effzx*T2x-ht2.k_effzy*T2y-ht2.k_effzz*T2z	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente z	Dominios 8–9	Operación +
ht2.dfluxtestx	-ht2.k_effxx*test(T2x)-ht2.k_effxy*test(T2y)-ht2.k_effxz*test(T2z)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente x	Dominios 8–9	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
	z)				
ht2.dfluxtesty	- ht2.k_effyx*test(T2 x)- ht2.k_effyy*test(T2 y)- ht2.k_effyz*test(T2 z)	W/m ²	Flujo de calor conductor, componente y	Dominios 8– 9	Operación +
ht2.dfluxtestz	- ht2.k_effzx*test(T2 x)- ht2.k_effzy*test(T2 y)- ht2.k_effzz*test(T2 z)	W/m ²	Flujo de calor conductor, componente z	Dominios 8– 9	Operación +
ht2.cfluxx	ht2.rho*ht2.ux*ht2 .Ei	W/m ²	Flujo de calor convectivo, componente x	Dominios 8– 9	Operación +
ht2.cfluxy	ht2.rho*ht2.uy*ht2 .Ei	W/m ²	Flujo de calor convectivo, componente y	Dominios 8– 9	Operación +
ht2.cfluxz	ht2.rho*ht2.uz*ht2 .Ei	W/m ²	Flujo de calor convectivo, componente z	Dominios 8– 9	Operación +
ht2.tefluxx	ht2.dfluxx+ht2.thfl uxx	W/m ²	Flujo de energía total, componente x	Dominios 8– 9	Operación +
ht2.tefluxy	ht2.dfluxy+ht2.thfl	W/m ²	Flujo de energía	Dominios 8–	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
	uxy		total, componente y	9	
ht2.tefluxz	ht2.dfluxz+ht2.thfluxz	W/m ²	Flujo de energía total, componente z	Dominios 8–9	Operación +
ht2.thfluxx	ht2.rho*ht2.ux*ht2.H0	W/m ²	Flujo de entalpía total, componente x	Dominios 8–9	Operación +
ht2.thfluxy	ht2.rho*ht2.uy*ht2.H0	W/m ²	Flujo de entalpía total, componente y	Dominios 8–9	Operación +
ht2.thfluxz	ht2.rho*ht2.uz*ht2.H0	W/m ²	Flujo de entalpía total, componente z	Dominios 8–9	Operación +
ht2.ndflux_u	- uflux_spatial(T2)/u p(ht2.varIntSpa)	W/m ²	Flujo de calor conductivo normal interno, lado superior	Contornos 30–34, 55	Operación +
ht2.ndflux_d	- dflux_spatial(T2)/d own(ht2.varIntSpa)	W/m ²	Flujo de calor conductivo normal interno, lado inferior	Contornos 30–34, 55	Operación +
ht2.ndflux_d	- dflux_spatial(T2)/d own(ht2.varIntSpa)	W/m ²	Flujo de calor conductivo normal interno, lado inferior	Contornos 26–29, 43–44, 47–48	Operación +
ht2.dEiInt	ht2.bt1.dEiInt	W	Tasa de calor	Global	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			acumulado total		
ht2.dEi0Int	ht2.bt1.dEi0Int	W	Tasa de energía total acumulada	Global	Operación +
ht2.Wstr	$ht2.pA*(d(ht2.ux,x)+d(ht2.uy,y)+d(ht2.uz,z))$	W/m ³	Potencia de tensión total	Dominios 8–9	Operación +
ht2.WstrInt	ht2.bt1.WstrInt	W	Potencia de tensión total	Global	Operación +
ht2.WInt	ht2.bt1.WInt	W	Fuente de trabajo total	Global	Operación +
ht2.kxx	material.k11	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente xx	Dominios 8–9	Meta
ht2.kyx	material.k21	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente yx	Dominios 8–9	Meta
ht2.kzx	material.k31	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente zx	Dominios 8–9	Meta
ht2.kxy	material.k12	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente xy	Dominios 8–9	Meta
ht2.kyy	material.k22	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente yy	Dominios 8–9	Meta
ht2.kzy	material.k32	W/(m·K)	Conductividad	Dominios 8–9	Meta

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			térmica, componente zy	9	
ht2.kxz	material.k13	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente xz	Dominios 8– 9	Meta
ht2.kyz	material.k23	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente yz	Dominios 8– 9	Meta
ht2.kzz	material.k33	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente zz	Dominios 8– 9	Meta
ht2.rho	material.rho	kg/m ³	Densidad	Dominios 8– 9	Meta
ht2.Cp	material.Cp	J/(kg·K)	Capacidad calorífica con presión constante	Dominios 8– 9	Meta
ht2.res_T	-ht2.k_effxx*T2xx- ht2.k_effxy*T2xy- ht2.k_effxz*T2xz- ht2.k_effyx*T2yx- ht2.k_effyy*T2yy- ht2.k_effyz*T2yz- ht2.k_effzx*T2zx- ht2.k_effzy*T2zy- ht2.k_effzz*T2zz- (ht2.qs+ht2.qs_oop) *T2+ht2.C_eff*(ht	W/m ³	Residuos de ecuación	Dominios 8– 9	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
	$2.u_x \cdot T_{2x} + h_{t2}.u_y \cdot T_{2y} + h_{t2}.u_z \cdot T_{2z} -$ $h_{t2}.D_{Hx} \cdot T_{2x} -$ $h_{t2}.D_{Hy} \cdot T_{2y} -$ $h_{t2}.D_{Hz} \cdot T_{2z} + h_{t2}.$ $\rho_{hol} c_{pl} u_x \cdot T_{2x} + h_{t2}$ $. \rho_{hol} c_{pl} u_y \cdot T_{2y} + h_{t2}$ $. \rho_{hol} c_{pl} u_z \cdot T_{2z} -$ $h_{t2}.Q - h_{t2}.Q_{oop}$				
ht2.pA	ht2.pref	Pa	Presión absoluta	Dominios 8–9	
ht2.Qmet	0	W/m ³	Fuente de calor metabólica	Dominios 8–9	Operación +
ht2.pref	ht2.bt1.pref	Pa	Nivel de presión de referencia	Dominios 8–9	
ht2.DeltaH_Tlow	ht2.Tref	K	Límite inferior de temperatura para evaluación de entalpía	Dominios 8–9	
ht2.DeltaH_plow	ht2.pref	Pa	Límite inferior de presión para evaluación de entalpía	Dominios 8–9	
ht2.muJT	0	m ³ /kg	Coeficiente isotérmico de Joule-Thomson	Dominios 8–9	
ht2.alphap_ref	- d(ht2.rhoref,ht2.Tr	1/K	Coeficiente de compresibilidad	Dominios 8–9	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
	$\text{ef)/max(ht2.rhoref, eps)}$		isobárica de referencia		
ht2.alphapT	ht2.alphap*T2	1	Variable auxiliar	Dominios 8–9	
ht2.rhoInit	$\text{subst(ht2.rho,T2,ht2.Tinit,minput.pA,ht2.pref)}$	kg/m^3	Densidad inicial	Dominios 8–9	
ht2.rho_eff	ht2.rho	kg/m^3	Densidad efectiva	Dominios 8–9	
ht2.C_eff	ht2.rho*ht2.Cp	$\text{J}/(\text{m}^3\cdot\text{K})$	Capacidad térmica volumétrica efectiva	Dominios 8–9	
ht2.k_effxx	ht2.kxx	$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$	Conductividad térmica efectiva, componente xx	Dominios 8–9	
ht2.k_effyx	ht2.kyx	$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$	Conductividad térmica efectiva, componente yx	Dominios 8–9	
ht2.k_effzx	ht2.kzx	$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$	Conductividad térmica efectiva, componente zx	Dominios 8–9	
ht2.k_effxy	ht2.kxy	$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$	Conductividad térmica efectiva, componente xy	Dominios 8–9	
ht2.k_effyy	ht2.kyy	$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$	Conductividad	Dominios 8–9	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			térmica efectiva, componente yy	9	
ht2.k_effzy	ht2.kzy	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente zy	Dominios 8– 9	
ht2.k_effxz	ht2.kxz	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente xz	Dominios 8– 9	
ht2.k_effyz	ht2.kyz	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente yz	Dominios 8– 9	
ht2.k_effzz	ht2.kzz	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente zz	Dominios 8– 9	
ht2.kappaTxx	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente xx	Dominios 8– 9	
ht2.kappaTyx	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente yx	Dominios 8– 9	
ht2.kappaTzx	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente zx	Dominios 8– 9	
ht2.kappaTxy	0	W/(m·K)	Conductividad	Dominios 8–	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			térmica turbulenta, componente xy	9	
ht2.kappaTyy	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente yy	Dominios 8– 9	
ht2.kappaTzy	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente zy	Dominios 8– 9	
ht2.kappaTzx	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente xz	Dominios 8– 9	
ht2.kappaTyz	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente yz	Dominios 8– 9	
ht2.kappaTzz	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente zz	Dominios 8– 9	
ht2.kmean	$(ht2.k_effx+ht2.k_effy+ht2.k_effz)/3$	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva media	Dominios 8– 9	
ht2.ux	0	m/s	Campo de velocidad,	Dominios 8–	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			componente x	9	
ht2.uy	0	m/s	Campo de velocidad, componente y	Dominios 8–9	Operación +
ht2.uz	0	m/s	Campo de velocidad, componente z	Dominios 8–9	Operación +
ht2.cellPe	$0.5 * ht2.rho * ht2.Cp * h * \sqrt{(ht2.ux^2 + ht2.uy^2 + ht2.uz^2)} / ht2.kmean$	1	Número Peclet de celda	Dominios 8–9	
ht2.gradTx	T2x	K/m	Gradiente de temperatura, componente x	Dominios 8–9	
ht2.gradTy	T2y	K/m	Gradiente de temperatura, componente y	Dominios 8–9	
ht2.gradTz	T2z	K/m	Gradiente de temperatura, componente z	Dominios 8–9	
ht2.gradTmag	$\sqrt{(ht2.gradTx^2 + ht2.gradTy^2 + ht2.gradTz^2)}$	K/m	Magnitud de gradiente de la temperatura	Dominios 8–9	
ht2.alphaTdx	$ht2.k_effx / ht2.C_eff$	m ² /s	Difusividad térmica, componente xx	Dominios 8–9	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht2.alphaTdyx	$ht2.k_effyx/ht2.C_eff$	m ² /s	Difusividad térmica, componente yx	Dominios 8-9	
ht2.alphaTdzx	$ht2.k_effzx/ht2.C_eff$	m ² /s	Difusividad térmica, componente zx	Dominios 8-9	
ht2.alphaTdx	$ht2.k_effxy/ht2.C_eff$	m ² /s	Difusividad térmica, componente xy	Dominios 8-9	
ht2.alphaTdy	$ht2.k_effyy/ht2.C_eff$	m ² /s	Difusividad térmica, componente yy	Dominios 8-9	
ht2.alphaTdyz	$ht2.k_effzy/ht2.C_eff$	m ² /s	Difusividad térmica, componente zy	Dominios 8-9	
ht2.alphaTdxz	$ht2.k_effxz/ht2.C_eff$	m ² /s	Difusividad térmica, componente xz	Dominios 8-9	
ht2.alphaTdyz	$ht2.k_effyz/ht2.C_eff$	m ² /s	Difusividad térmica, componente yz	Dominios 8-9	
ht2.alphaTdzz	$ht2.k_effzz/ht2.C_eff$	m ² /s	Difusividad térmica, componente zz	Dominios 8-9	
ht2.alphaTdMean	$ht2.kmean/ht2.C_eff$	m ² /s	Difusividad térmica media	Dominios 8-9	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht2.Tradu	ht2.Tu	K	Temperatura, lado superior	Dominios 8–9	
ht2.Tradu	ht2.Tu	K	Temperatura, lado superior	Contornos 26–34, 43–44, 47–48, 55	
ht2.Tradd	ht2.Td	K	Temperatura en lado inferior	Dominios 8–9	
ht2.Tradd	ht2.Td	K	Temperatura en lado inferior	Contornos 26–34, 43–44, 47–48, 55	
ht2.dEi	0	W/m ³	Densidad de tasa de calor acumulada total	Dominios 8–9	
ht2.dEi0	0	W/m ³	Densidad de tasa de energía total acumulada	Dominios 8–9	
ht2.D_Hx	0	W/(m ² ·K)	Coeficiente de difusión de entalpía, componente x	Dominios 8–9	
ht2.D_Hy	0	W/(m ² ·K)	Coeficiente de difusión de entalpía, componente y	Dominios 8–9	
ht2.D_Hz	0	W/(m ² ·K)	Coeficiente de	Dominios 8–9	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			difusión de entalpía, componente z	9	
ht2.Q_H	$ht2.D_Hx*T2x+ht2.D_Hy*T2y+ht2.D_Hz*T2z$	W/m ³	Flujo de difusión de entalpía	Dominios 8-9	
ht2.rholCplUlx	0	W/(m ² ·K)	Coefficiente de transferencia de calor, transporte de agua líquida, componente x	Dominios 8-9	
ht2.rholCplUly	0	W/(m ² ·K)	Coefficiente de transferencia de calor, transporte de agua líquida, componente y	Dominios 8-9	
ht2.rholCplUlz	0	W/(m ² ·K)	Coefficiente de transferencia de calor, transporte de agua líquida, componente z	Dominios 8-9	
ht2.timeDerivative	0	K/s	Temperatura, primer derivada en el tiempo	Dominios 8-9	
ht2.gamma	1	1	Coefficiente de dilatación adiabática	Dominios 8-9	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht2.Trho	ht2.Tref	K	Temperatura para evaluación de densidad	Dominios 8–9	
ht2.dftopaque	1	1	Opacidad predeterminada	Dominios 8–9	
ht2.helem	h_spatial	m	Tamaño de elemento	Dominios 8–9	
ht2.k_iso	material.k_iso	W/(m·K)	Conductividad térmica, valor isotrópico	Dominios 8–9	Meta
ht2.bt1.pref	1[atm]	Pa	Nivel de presión de referencia	Dominios 8–9	
ht2.bt1.dEiInt	ht2.bt1.intDom((ht2.dEi-ht2.Qm*ht2.Ei)*ht2.varIntSpa)	W	Tasa de calor acumulado total	Global	
ht2.bt1.dEi0Int	ht2.bt1.intDom((ht2.dEi0-ht2.Qm*ht2.H)*ht2.varIntSpa)	W	Tasa de energía total acumulada	Global	
ht2.bt1.ntfluxInt	ht2.bt1.intExtBnd(ht2.ntflux*ht2.varIntSpa)+ht2.bt1.intExtBndUp(ht2.ntflux_u*up(ht2.varIntSpa))+ht2.bt1.intExtBndDown(ht2.ntflux_d*down(ht2.varIntS	W	Tasa neta de calor total	Global	

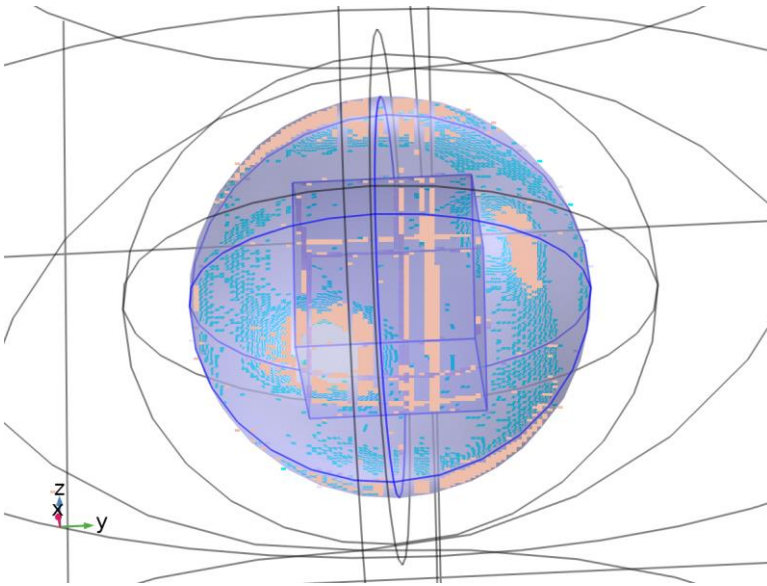
Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
	pa))+ht2.bt1.intIntBnd(ht2.ncflux_u*up(ht2.varIntSpa)+ht2.ncflux_d*down(ht2.varIntSpa))				
ht2.bt1.ntefluxInt	ht2.bt1.intExtBnd(ht2.nteflux*ht2.varIntSpa)+ht2.bt1.intExtBndUp(ht2.nteflux_u*up(ht2.varIntSpa))+ht2.bt1.intExtBndDown(ht2.nteflux_d*down(ht2.varIntSpa))+ht2.bt1.intIntBnd(ht2.nthflux_u*up(ht2.varIntSpa))+ht2.nthflux_d*down(ht2.varIntSpa))	W	Tasa neta de energía total	Global	
ht2.bt1.QInt	ht2.bt1.intDom(ht2.Qtot*ht2.varIntSpa)+ht2.bt1.intIntLine(ht2.Qltot*ht2.varIntSpa)+ht2.intLine(subst(ht2.Qlrtot,ht2.id,isdefined(ht2.bt1.id))*ht2.varIntSpa)+ht2.bt1.intIntPnt(ht2.Qptot)+ht2.intPnt(subst(ht2.Qprt,ht2.id,isdefined(ht2.bt1.id)))-	W	Fuente de calor total	Global	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
	ht2.bt1.intIntBnd(ht2.ndflux_u*up(ht2.varIntSpa)+ht2.ndflux_d*down(ht2.varIntSpa))				
ht2.bt1.WstrInt	ht2.bt1.intDom(ht2.Wstr*ht2.varIntSpa)	W	Potencia de tensión total	Global	
ht2.bt1.WInt	ht2.bt1.intDom(ht2.Wtot*ht2.varIntSpa)+ht2.bt1.intBndUp(ht2.WBndTot_u*up(ht2.varIntSpa))+ht2.bt1.intBndDown(ht2.WBndTot_d*down(ht2.varIntSpa))	W	Fuente de trabajo total	Global	

8.1.1.56 Funciones de forma

Nombre	Función de forma	Unidad	Descripción	Marco de forma	Selección
T2	Lagrange (Cuadrático)	K	Temperatura	Marco espacial	Dominios 8–9

8.1.1.57 Biocalor 1



Biocalor 1

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrica	Dominio
Selección	Geometría geom3: Dimensión 3: Todos los dominios

ECUACIONES

$$\rho C_p \mathbf{u} \cdot \nabla T_2 + \nabla \cdot \mathbf{q} = Q + Q_{\text{bio}}$$

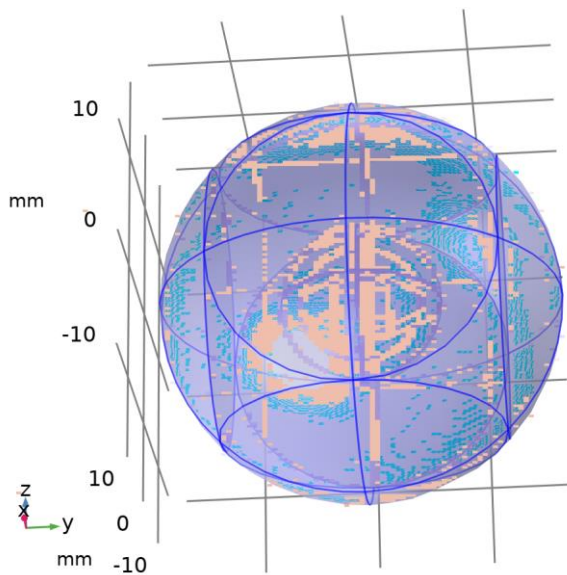
$$Q_{\text{bio}} = \rho_b C_{p,b} \omega_b (T_b - T_2) + Q_{\text{met}}$$

8.1.1.57.1 Variables

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht2.Q	ht2.rhobl*ht2.Cp_b*ht2. .omegab*(ht2.Tb- T2)+ht2.Qmet	W/m ³	Fuente de calor	Dominios 8– 9	Operación +
ht2.Qtot	ht2.rhobl*ht2.Cp_b*ht2. .omegab*(ht2.Tb- T2)+ht2.Qmet	W/m ³	Fuente de calor total	Dominios 8– 9	Operación +
ht2.Qmet	0	W/m ³	Fuente de calor	Dominios 8–	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			metabólica	9	
ht2.Tb	TempHielo	K	Temperatura de sangre arterial	Dominios 8-9	
ht2.Cp_b	0	J/(kg·K)	Calor específico, sangre	Dominios 8-9	
ht2.omegab	0	1/s	Tasa de perfusión de la sangre	Dominios 8-9	
ht2.rhobl	0	kg/m ³	Densidad, sangre	Dominios 8-9	

2.5.4 Valores iniciales 1



Valores iniciales 1

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrico	Dominio
-----------------------------	---------

Selección	Geometría geom3: Dimensión 3: Todos los dominios
-----------	--

8.1.1.58 Valores iniciales

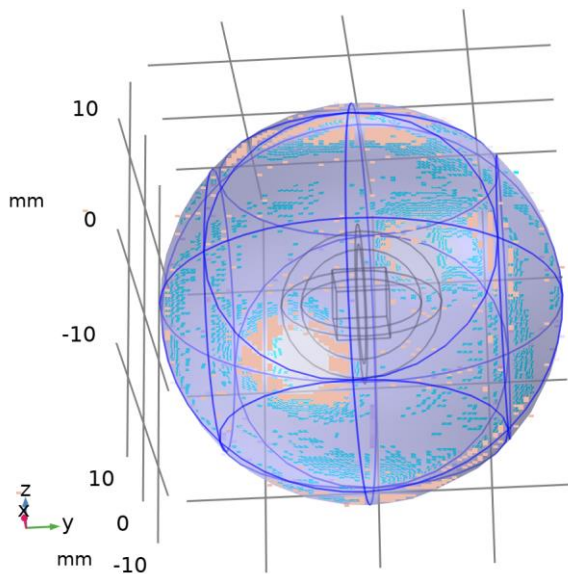
SETTINGS

Description	Value
Temperatura	Definido por el usuario
Temperatura	TempEtilenglicol

8.1.1.59 Variables

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección
ht2.Tinit	TempEtilenglicol	K	Temperatura	Dominios 1–8, 10

2.5.5 Aislamiento térmico 1



Aislamiento térmico 1

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrico	Contorno
Selección	Geometría geom3: Dimensión 2: Todos los contornos

ECUACIONES

$$-n \cdot q = 0.$$

8.1.1.60 Variables

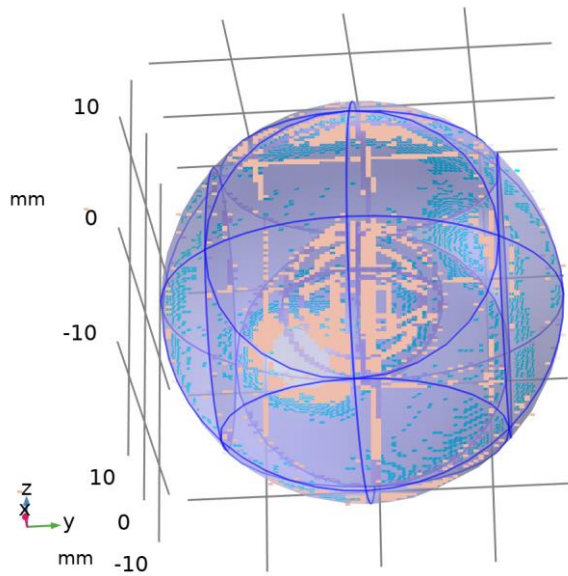
Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección
ht2.ins1.ntfluxInt	ht2.ins1.intExtBnd(ht2.ntflux*ht2.varIntSpa)+ht2.ins1.intIntBnd(ht2.ncflux_u*up(ht2.varIntSpa)+ht2.ncflux_d*down(ht2.varIntSpa))	W	Tasa neta de calor total	Global
ht2.ins1.ntefluxInt	ht2.ins1.intExtBnd(ht2.nteflux*ht2.varIntSpa)+ht2.ins1.intIntBnd(ht2.nthflux_u*up(ht2.varIntSpa)+ht2.nthflux_d*down(ht2.varIntSpa))	W	Tasa neta de energía total	Global
ht2.ins1.ntfluxInt_u	ht2.ins1.intIntBnd(ht2.ntflux_u*up(ht2.varIntSpa))	W	Tasa neta de calor total, lado superior	Global
ht2.ins1.ntefluxInt_u	ht2.ins1.intIntBnd(ht2.nteflux_u*up(ht2.varIntSpa))	W	Tasa neta de energía total, lado superior	Global
ht2.ins1.ntfluxInt_d	ht2.ins1.intIntBnd(ht2.ntflux_d*down(ht2.varIntSpa))	W	Tasa neta de calor total, lado inferior	Global
ht2.ins1.ntefluxInt_d	ht2.ins1.intIntBnd(ht2.nteflux_d*down(ht2.varIntSpa))	W	Tasa neta de energía total, lado inferior	Global
ht2.ins1.Tave	nojac(ht2.ins1.intBnd(ht2.varIntSpa*ht2.rho*ht2.Cp*T2*max(abs(ht2.ux*ht2.nxmesh+ht2.uy*ht2.ny mesh+ht2.uz*ht2.nzmesh),eps)))/	K	Temperatura promedio ponderada	Global

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección
	nojac(ht2.ins1.intBnd(ht2.varIntSp a*ht2.rho*ht2.Cp*max(abs(ht2.ux *ht2.nxmesh+ht2.uy*ht2.nymesh +ht2.uz*ht2.nzmesh),eps)))			

8.1.1.61 Funciones de forma

Nombre	Función de forma	Unidad	Descripción	Marco de forma	Selección	Detalles
T2	Lagrange (Cuadrático)	K	Temperatura	Marco espacial	No hay contornos	Abertura
T2	Lagrange (Cuadrático)	K	Temperatura	Material	No hay contornos	Abertura
T2	Lagrange (Cuadrático)	K	Temperatura	Geometría	No hay contornos	Abertura
T2	Lagrange (Cuadrático)	K	Temperatura	Malla	No hay contornos	Abertura

2.5.6 etilenglicol



etilenglicol

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrica	Dominio
Selección	Geometría geom3: Dimensión 3: Dominios 1–7, 10

ECUACIONES

$$\rho c_p \mathbf{u} \cdot \nabla T + \nabla \cdot \mathbf{q} = Q + Q_p + Q_{vd}$$

$$\mathbf{q} = -k \nabla T$$

8.1.1.62 Convección de calor

SETTINGS

Description	Value
Campo de velocidad	Definido por el usuario
Campo de velocidad	{0, 0, 0}

8.1.1.63 Conducción de calor, fluido

SETTINGS

Description	Value
Conductividad térmica	Desde material

8.1.1.64 Termodinámica, fluido

SETTINGS

Description	Value
Tipo de fluido	Gas/líquido
Densidad	Desde material
Capacidad calorífica con presión constante	Desde material
Coefficiente de dilatación adiabática	Desde material

8.1.1.65 Selección de sistema de coordenadas

SETTINGS

Description	Value
Sistema de Coordenadas	Sistema de coordenadas global

8.1.1.66 Entrada del modelo

SETTINGS

Description	Value
Presión absoluta	Entradas de modelo en común
Volume reference temperature	Definido por el usuario
Volume reference temperature	293.15[K]

PROPIEDADES DESDE EL MATERIAL

Propiedad	Material	Grupo de propiedad
Conductividad térmica	Ethylene glycol	Basic
Densidad	Ethylene glycol	Basic
Capacidad calorífica con presión constante	Ethylene glycol	Basic
Coeficiente de dilatación adiabática	Ethylene glycol	Basic

8.1.1.67 Variables

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
domflux.T2x	ht2.dfluxx*ht2.d	W/m ²	Flujo del dominio, Componente x	Dominios 1–7, 10	
domflux.T2y	ht2.dfluxy*ht2.d	W/m ²	Flujo del dominio, Componente y	Dominios 1–7, 10	
domflux.T2z	ht2.dfluxz*ht2.d	W/m ²	Flujo del dominio, Componente z	Dominios 1–7, 10	
ht2.alphap	- d(ht2.rho,T2)/max(ht2.rho,eps)	1/K	Coeficiente de compresibilidad isobárico	Dominios 1–7, 10	
ht2.DeltaH	integrate(subst(ht2.Cp,ht2.fluid1.minp ut_pressure,ht2.pr ef),T2,ht2.DeltaH_T low,T2)+integrate(h t2.muJT,ht2.fluid1. minput_pressure,h t2.DeltaH_plow,ht2	J/kg	Sensibilidad de entalpía	Dominios 1–7, 10	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
	.pA)				
ht2.H	ht2.HRef+ht2.Delta H	J/kg	Entalpía	Dominios 1– 7, 10	Operación +
ht2.Ei	ht2.H- ht2.pA/ht2.rho	J/kg	Energía interna	Dominios 1– 7, 10	Operación +
ht2.Ek	0.5*(ht2.ux^2+ht2. uy^2+ht2.uz^2)	J/kg	Energía cinética	Dominios 1– 7, 10	Operación +
ht2.dfluxx	-ht2.k_effxx*T2x- ht2.k_effxy*T2y- ht2.k_effxz*T2z	W/m ²	Flujo de calor conductor, componente x	Dominios 1– 7, 10	Operación +
ht2.dfluxy	-ht2.k_effyx*T2x- ht2.k_effyy*T2y- ht2.k_effyz*T2z	W/m ²	Flujo de calor conductor, componente y	Dominios 1– 7, 10	Operación +
ht2.dfluxz	-ht2.k_effzx*T2x- ht2.k_effzy*T2y- ht2.k_effzz*T2z	W/m ²	Flujo de calor conductor, componente z	Dominios 1– 7, 10	Operación +
ht2.dfluxtestx	- ht2.k_effxx*test(T2 x)- ht2.k_effxy*test(T2 y)- ht2.k_effxz*test(T2 z)	W/m ²	Flujo de calor conductor, componente x	Dominios 1– 7, 10	Operación +
ht2.dfluxtesty	- ht2.k_effyx*test(T2 x)- ht2.k_effyy*test(T2	W/m ²	Flujo de calor conductor, componente y	Dominios 1– 7, 10	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
	y)- ht2.k_effyz*test(T2 z)				
ht2.dfluxtestz	- ht2.k_effzx*test(T2 x)- ht2.k_effzy*test(T2 y)- ht2.k_effzz*test(T2 z)	W/m ²	Flujo de calor conectivo, componente z	Dominios 1– 7, 10	Operación +
ht2.cfluxx	ht2.rho*ht2.ux*ht2 .Ei	W/m ²	Flujo de calor convectivo, componente x	Dominios 1– 7, 10	Operación +
ht2.cfluxy	ht2.rho*ht2.uy*ht2 .Ei	W/m ²	Flujo de calor convectivo, componente y	Dominios 1– 7, 10	Operación +
ht2.cfluxz	ht2.rho*ht2.uz*ht2 .Ei	W/m ²	Flujo de calor convectivo, componente z	Dominios 1– 7, 10	Operación +
ht2.tefluxx	ht2.dfluxx+ht2.thfl uxx	W/m ²	Flujo de energía total, componente x	Dominios 1– 7, 10	Operación +
ht2.tefluxy	ht2.dfluxy+ht2.thfl uxy	W/m ²	Flujo de energía total, componente y	Dominios 1– 7, 10	Operación +
ht2.tefluxz	ht2.dfluxz+ht2.thflu xzx	W/m ²	Flujo de energía total, componente z	Dominios 1– 7, 10	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht2.thfluxx	$ht2.rho * ht2.ux * ht2.H0$	W/m ²	Flujo de entalpía total, componente x	Dominios 1–7, 10	Operación +
ht2.thfluxy	$ht2.rho * ht2.uy * ht2.H0$	W/m ²	Flujo de entalpía total, componente y	Dominios 1–7, 10	Operación +
ht2.thfluxz	$ht2.rho * ht2.uz * ht2.H0$	W/m ²	Flujo de entalpía total, componente z	Dominios 1–7, 10	Operación +
ht2.ndflux_u	$- uflux_spatial(T2)/u p(ht2.varIntSpa)$	W/m ²	Flujo de calor conductivo normal interno, lado superior	Contornos 5, 10, 13, 17, 19, 22–25, 41–42, 46, 49, 56	Operación +
ht2.ndflux_u	$- uflux_spatial(T2)/u p(ht2.varIntSpa)$	W/m ²	Flujo de calor conductivo normal interno, lado superior	Contornos 26–29, 43–44, 47–48	Operación +
ht2.ndflux_d	$- dflux_spatial(T2)/d own(ht2.varIntSpa)$	W/m ²	Flujo de calor conductivo normal interno, lado inferior	Contornos 5, 10, 13, 17, 19, 22–25, 41–42, 46, 49, 56	Operación +
ht2.ndflux_d	$- dflux_spatial(T2)/d own(ht2.varIntSpa)$	W/m ²	Flujo de calor conductivo normal interno, lado inferior	Contornos 1–4, 6–9, 11–12, 14–16, 18, 20–21, 35–40, 45,	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
				50–54, 57–60	
ht2.dEiInt	ht2.fluid1.dEiInt	W	Tasa de calor acumulado total	Global	Operación +
ht2.dEiOInt	ht2.fluid1.dEiOInt	W	Tasa de energía total acumulada	Global	Operación +
ht2.Wstr	ht2.pA*(d(ht2.ux,x)+d(ht2.uy,y)+d(ht2.uz,z))	W/m ³	Potencia de tensión total	Dominios 1–7, 10	Operación +
ht2.WstrInt	ht2.fluid1.WstrInt	W	Potencia de tensión total	Global	Operación +
ht2.WInt	ht2.fluid1.WInt	W	Fuente de trabajo total	Global	Operación +
ht2.kxx	material.k11	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente xx	Dominios 1–7, 10	Meta
ht2.kyx	material.k21	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente yx	Dominios 1–7, 10	Meta
ht2.kzx	material.k31	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente zx	Dominios 1–7, 10	Meta
ht2.kxy	material.k12	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente xy	Dominios 1–7, 10	Meta
ht2.kyy	material.k22	W/(m·K)	Conductividad	Dominios 1–7, 10	Meta

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			térmica, componente yy	7, 10	
ht2.kzy	material.k32	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente zy	Dominios 1– 7, 10	Meta
ht2.kxz	material.k13	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente xz	Dominios 1– 7, 10	Meta
ht2.kyz	material.k23	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente yz	Dominios 1– 7, 10	Meta
ht2.kzz	material.k33	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente zz	Dominios 1– 7, 10	Meta
ht2.rho	subst(material.rho, ht2.fluid1.mininput_ pressure,ht2.prho)	kg/m ³	Densidad	Dominios 1– 7, 10	Meta
ht2.Cp	material.Cp	J/(kg·K)	Capacidad calorífica con presión constante	Dominios 1– 7, 10	Meta
ht2.res_T	-ht2.k_effxx*T2xx- ht2.k_effxy*T2xy- ht2.k_effxz*T2xz- ht2.k_effyx*T2yx- ht2.k_effyy*T2yy- ht2.k_effyz*T2yz- ht2.k_effzx*T2zx-	W/m ³	Residuos de ecuación	Dominios 1– 7, 10	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
	$ht2.k_effzy * T2zy -$ $ht2.k_effzz * T2zz -$ $(ht2.qs + ht2.qs_oop)$ $* T2 + ht2.C_eff * (ht$ $2.ux * T2x + ht2.uy * T$ $2y + ht2.uz * T2z) -$ $ht2.D_Hx * T2x -$ $ht2.D_Hy * T2y -$ $ht2.D_Hz * T2z + ht2.$ $rhoCplUlx * T2x + ht2$ $.rhoCplUly * T2y + ht$ $2.rhoCplUlz * T2z -$ $ht2.Q - ht2.Qoop$				
ht2.pA	ht2.fluid1.minput_ pressure	Pa	Presión absoluta	Dominios 1– 7, 10	
ht2.Qmet	0	W/m ³	Fuente de calor metabólica	Dominios 1– 7, 10	Operación +
ht2.pref	ht2.fluid1.pref	Pa	Nivel de presión de referencia	Dominios 1– 7, 10	
ht2.DeltaH_Tlow	ht2.Tref	K	Límite inferior de temperatura para evaluación de entalpía	Dominios 1– 7, 10	
ht2.DeltaH_plow	ht2.pref	Pa	Límite inferior de presión para evaluación de entalpía	Dominios 1– 7, 10	
ht2.muJT	(1- ht2.alphap*T2)/ma	m ³ /kg	Coeficiente isotérmico de	Dominios 1–	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
	$x(ht2.rho,eps)$		Joule-Thomson	7, 10	
ht2.alphap_ref	$-d(ht2.rhoref,ht2.Tr_{ref})/\max(ht2.rhoref,eps)$	1/K	Coefficiente de compresibilidad isobárica de referencia	Dominios 1-7, 10	
ht2.alphapT	$ht2.alphap*T2$	1	Variable auxiliar	Dominios 1-7, 10	
ht2.rhoInit	$subst(ht2.rho,T2,ht2.Tinit,minput.pA,ht2.pref)$	kg/m ³	Densidad inicial	Dominios 1-7, 10	
ht2.rho_eff	ht2.rho	kg/m ³	Densidad efectiva	Dominios 1-7, 10	
ht2.C_eff	$ht2.Cp*ht2.rho$	J/(m ³ ·K)	Capacidad térmica volumétrica efectiva	Dominios 1-7, 10	
ht2.k_effxx	ht2.kxx	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente xx	Dominios 1-7, 10	
ht2.k_effyx	ht2.kyx	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente yx	Dominios 1-7, 10	
ht2.k_effzx	ht2.kzx	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente zx	Dominios 1-7, 10	
ht2.k_effxy	ht2.kxy	W/(m·K)	Conductividad	Dominios 1-	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			térmica efectiva, componente xy	7, 10	
ht2.k_effyy	ht2.kyy	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente yy	Dominios 1– 7, 10	
ht2.k_effzy	ht2.kzy	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente zy	Dominios 1– 7, 10	
ht2.k_effxz	ht2.kxz	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente xz	Dominios 1– 7, 10	
ht2.k_effyz	ht2.kyz	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente yz	Dominios 1– 7, 10	
ht2.k_effzz	ht2.kzz	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente zz	Dominios 1– 7, 10	
ht2.kappaTxx	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente xx	Dominios 1– 7, 10	
ht2.kappaTyx	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente yx	Dominios 1– 7, 10	
ht2.kappaTzx	0	W/(m·K)	Conductividad térmica	Dominios 1– 7, 10	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			turbulenta, componente zx		
ht2.kappaTxy	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente xy	Dominios 1– 7, 10	
ht2.kappaTyy	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente yy	Dominios 1– 7, 10	
ht2.kappaTzy	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente zy	Dominios 1– 7, 10	
ht2.kappaTzx	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente xz	Dominios 1– 7, 10	
ht2.kappaTyz	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente yz	Dominios 1– 7, 10	
ht2.kappaTzz	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente zz	Dominios 1– 7, 10	
ht2.kmean	$(ht2.k_effx+ht2.k_effy+ht2.k_effz)/$	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva	Dominios 1–	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
	3		media	7, 10	
ht2.ux	ht2.u_inputx	m/s	Campo de velocidad, componente x	Dominios 1–7, 10	Operación +
ht2.uy	ht2.u_inputy	m/s	Campo de velocidad, componente y	Dominios 1–7, 10	Operación +
ht2.uz	ht2.u_inputz	m/s	Campo de velocidad, componente z	Dominios 1–7, 10	Operación +
ht2.cellPe	$0.5 * ht2.rho * ht2.Cp * h * \sqrt{ht2.ux^2 + ht2.uy^2 + ht2.uz^2} / ht2.kmean$	1	Número Peclet de celda	Dominios 1–7, 10	
ht2.gradTx	T2x	K/m	Gradiente de temperatura, componente x	Dominios 1–7, 10	
ht2.gradTy	T2y	K/m	Gradiente de temperatura, componente y	Dominios 1–7, 10	
ht2.gradTz	T2z	K/m	Gradiente de temperatura, componente z	Dominios 1–7, 10	
ht2.gradTmag	$\sqrt{ht2.gradTx^2 + ht2.gradTy^2 + ht2.gradTz^2}$	K/m	Magnitud de gradiente de la temperatura	Dominios 1–7, 10	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht2.alphaTdx	$ht2.k_eff_{xx}/ht2.C_eff$	m ² /s	Difusividad térmica, componente xx	Dominios 1–7, 10	
ht2.alphaTdy	$ht2.k_eff_{yx}/ht2.C_eff$	m ² /s	Difusividad térmica, componente yx	Dominios 1–7, 10	
ht2.alphaTdz	$ht2.k_eff_{zx}/ht2.C_eff$	m ² /s	Difusividad térmica, componente zx	Dominios 1–7, 10	
ht2.alphaTdx	$ht2.k_eff_{xy}/ht2.C_eff$	m ² /s	Difusividad térmica, componente xy	Dominios 1–7, 10	
ht2.alphaTdy	$ht2.k_eff_{yy}/ht2.C_eff$	m ² /s	Difusividad térmica, componente yy	Dominios 1–7, 10	
ht2.alphaTdz	$ht2.k_eff_{zy}/ht2.C_eff$	m ² /s	Difusividad térmica, componente zy	Dominios 1–7, 10	
ht2.alphaTdxz	$ht2.k_eff_{xz}/ht2.C_eff$	m ² /s	Difusividad térmica, componente xz	Dominios 1–7, 10	
ht2.alphaTdyz	$ht2.k_eff_{yz}/ht2.C_eff$	m ² /s	Difusividad térmica, componente yz	Dominios 1–7, 10	
ht2.alphaTdzz	$ht2.k_eff_{zz}/ht2.C_eff$	m ² /s	Difusividad térmica, componente zz	Dominios 1–7, 10	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht2.alphaTdMea n	ht2.kmean/ht2.C_e ff	m ² /s	Difusividad térmica media	Dominios 1– 7, 10	
ht2.Tradu	ht2.Tu	K	Temperatura, lado superior	Dominios 1– 7, 10	
ht2.Tradu	ht2.Tu	K	Temperatura, lado superior	Contornos 1–29, 35–54, 56–60	
ht2.Tradd	ht2.Td	K	Temperatura en lado inferior	Dominios 1– 7, 10	
ht2.Tradd	ht2.Td	K	Temperatura en lado inferior	Contornos 1–29, 35–54, 56–60	
ht2.dEi	0	W/m ³	Densidad de tasa de calor acumulada total	Dominios 1– 7, 10	
ht2.dEi0	0	W/m ³	Densidad de tasa de energía total acumulada	Dominios 1– 7, 10	
ht2.D_Hx	0	W/(m ² ·K)	Coeficiente de difusión de entalpía, componente x	Dominios 1– 7, 10	
ht2.D_Hy	0	W/(m ² ·K)	Coeficiente de difusión de entalpía, componente y	Dominios 1– 7, 10	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht2.D_Hz	0	W/(m ² ·K)	Coeficiente de difusión de entalpía, componente z	Dominios 1–7, 10	
ht2.Q_H	ht2.D_Hx*T2x+ht2.D_Hy*T2y+ht2.D_Hz*T2z	W/m ³	Flujo de difusión de entalpía	Dominios 1–7, 10	
ht2.rholCplUlx	0	W/(m ² ·K)	Coeficiente de transferencia de calor, transporte de agua líquida, componente x	Dominios 1–7, 10	
ht2.rholCplUly	0	W/(m ² ·K)	Coeficiente de transferencia de calor, transporte de agua líquida, componente y	Dominios 1–7, 10	
ht2.rholCplUlz	0	W/(m ² ·K)	Coeficiente de transferencia de calor, transporte de agua líquida, componente z	Dominios 1–7, 10	
ht2.timeDerivative	0	K/s	Temperatura, primer derivada en el tiempo	Dominios 1–7, 10	
ht2.gamma	material.gamma	1	Coeficiente de dilatación adiabática	Dominios 1–7, 10	Meta

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht2.Trho	ht2.fluid1.minput_t emperature	K	Temperatura para evaluación de densidad	Dominios 1– 7, 10	
ht2.dfftopaque	-1	1	Opacidad predeterminada	Dominios 1– 7, 10	
ht2.helem	h_spatial	m	Tamaño de elemento	Dominios 1– 7, 10	
ht2.fluid1.pref	model.input.pref	Pa	Nivel de presión de referencia	Dominios 1– 7, 10	Meta
ht2.fluid1.dEiInt	ht2.fluid1.intDom(ht2.dEi- ht2.Qm*ht2.Ei)*ht 2.varIntSpa)	W	Tasa de calor acumulado total	Global	
ht2.fluid1.dEi0Int	ht2.fluid1.intDom(ht2.dEi0- ht2.Qm*ht2.H)*ht2 .varIntSpa)	W	Tasa de energía total acumulada	Global	
ht2.fluid1.ntfluxl nt	ht2.fluid1.intExtBn d(ht2.ntflux*ht2.va rIntSpa)+ht2.fluid1. intExtBndUp(ht2.nt flux_u*up(ht2.varIn tSpa))+ht2.fluid1.in tExtBndDown(ht2.n tflux_d*down(ht2.v arIntSpa))+ht2.fluid 1.intIntBnd(ht2.ncfl ux_u*up(ht2.varInt	W	Tasa neta de calor total	Global	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
	Spa)+ht2.ncflux_d* down(ht2.varIntSp a))				
ht2.fluid1.nteflux Int	ht2.fluid1.intExtBn d(ht2.nteflux*ht2.v arIntSpa)+ht2.fluid 1.intExtBndUp(ht2. nteflux_u*up(ht2.v arIntSpa))+ht2.fluid 1.intExtBndDown(h t2.nteflux_d*down (ht2.varIntSpa))+ht 2.fluid1.intIntBnd(h t2.nthflux_u*up(ht 2.varIntSpa)+ht2.nt hflux_d*down(ht2. varIntSpa))	W	Tasa neta de energía total	Global	
ht2.fluid1.QInt	ht2.fluid1.intDom(h t2.Qtot*ht2.varIntS pa)+ht2.fluid1.intIn tLine(ht2.Qltot*ht2 .varIntSpa)+ht2.intL ine(subst(ht2.Qlrto t,ht2.id,isdefined(ht 2.fluid1.id))*ht2.var IntSpa)+ht2.fluid1.i ntIntPnt(ht2.Qptot) +ht2.intPnt(subst(h t2.Qprt,ht2.id,isd efined(ht2.fluid1.id)))-	W	Fuente de calor total	Global	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
	ht2.fluid1.intIntBnd (ht2.ndflux_u*up(ht2.varIntSpa)+ht2.ndflux_d*down(ht2.varIntSpa))				
ht2.fluid1.WstrInt	ht2.fluid1.intDom(ht2.Wstr*ht2.varIntSpa)	W	Potencia de tensión total	Global	
ht2.fluid1.WInt	ht2.fluid1.intDom(ht2.Wtot*ht2.varIntSpa)+ht2.fluid1.intBndUp(ht2.WBndTot_u*up(ht2.varIntSpa))+ht2.fluid1.intBndDown(ht2.WBndTot_d*down(ht2.varIntSpa))	W	Fuente de trabajo total	Global	
ht2.T	ht2.fluid1.minput_temperature	K	Temperatura	Dominios 1–7, 10	
ht2.prho	ht2.fluid1.minput_pressure	Pa	Presión para la evaluación de la densidad.	Dominios 1–7, 10	
ht2.rhoref	subst(material.rho, ht2.fluid1.minput_pressure, ht2.pref, ht2.fluid1.minput_temperature, ht2.Tref)	kg/m ³	Densidad referencial	Dominios 1–7, 10	Meta

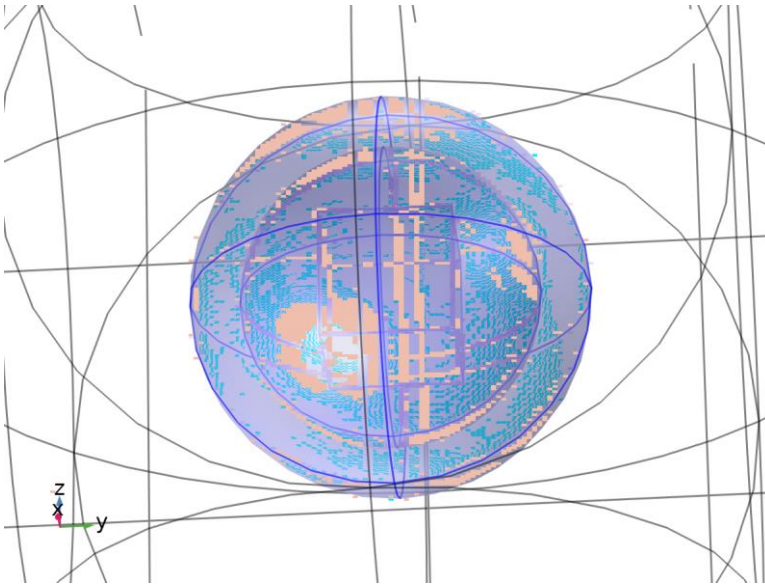
Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht2.Cpmat	material.Cp	J/(kg·K)	Capacidad calorífica con presión constante	Dominios 1–7, 10	Meta
ht2.kmatxx	material.k11	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente xx	Dominios 1–7, 10	Meta
ht2.kmatyx	material.k21	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente yx	Dominios 1–7, 10	Meta
ht2.kmatzx	material.k31	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente zx	Dominios 1–7, 10	Meta
ht2.kmatxy	material.k12	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente xy	Dominios 1–7, 10	Meta
ht2.kmatyy	material.k22	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente yy	Dominios 1–7, 10	Meta
ht2.kmatzy	material.k32	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente zy	Dominios 1–7, 10	Meta
ht2.kmatxz	material.k13	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente xz	Dominios 1–7, 10	Meta
ht2.kmatyz	material.k23	W/(m·K)	Conductividad térmica,	Dominios 1–7, 10	Meta

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			componente yz		
ht2.kmatzz	material.k33	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente zz	Dominios 1– 7, 10	Meta
ht2.c_s	$\sqrt{\text{ht2.gamma}/\text{max}(\text{d}(\text{ht2.rho}, \text{ht2.fluid1.mininput_pressure}), \text{eps}))}$	m/s	Velocidad del sonido	Dominios 1– 7, 10	
ht2.Ma	$\sqrt{(\text{model.input.u1}^2 + \text{model.input.u2}^2 + \text{model.input.u3}^2) / \text{ht2.c_s}}$	1	Número de Mach	Dominios 1– 7, 10	Meta

8.1.1.68 Funciones de forma

Nombre	Función de forma	Unidad	Descripción	Marco de forma	Selección
T2	Lagrange (Cuadrático)	K	Temperatura	Marco espacial	Dominios 1– 7, 10

2.5.7 Fuente de calor 1



Fuente de calor 1

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrico	Dominio
Selección	Geometría geom3: Dimensión 3: Dominios 7–9

ECUACIONES

$$Q = Q_0$$

8.1.1.69 Fuente de calor

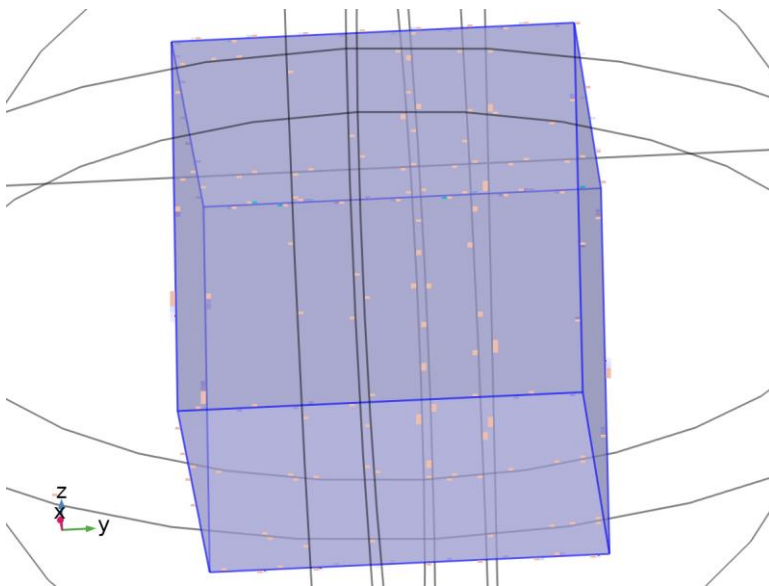
SETTINGS

Description	Value
Fuente de calor	Origen general
Fuente de calor	Definido por el usuario
Fuente de calor	acpr.Q_pw

8.1.1.70 Variables

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht2.Q	ht2.hs1.Q*spatial.detInvF	W/m ³	Fuente de calor	Dominios 7–9	Operación +
ht2.Qtot	ht2.hs1.Q*spatial.detInvF	W/m ³	Fuente de calor total	Dominios 7–9	Operación +
ht2.hs1.Q0	acpr.Q_pw	W/m ³	Fuente de calor	Dominios 7–9	
ht2.hs1.Q	ht2.hs1.Q0	W/m ³	Fuente de calor	Dominios 7–9	

2.5.8 Valores iniciales 2



Valores iniciales 2

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrico	Dominio
Selección	Geometría geom3: Dimensión 3: Dominio 9

8.1.1.71 Valores iniciales

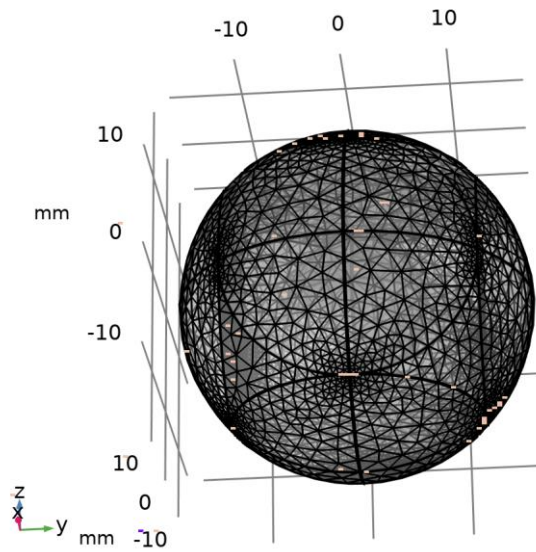
SETTINGS

Description	Value
Temperatura	Definido por el usuario
Temperatura	TempHielo

8.1.1.72 Variables

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección
ht2.Tinit	TempHielo	K	Temperatura	Dominio 9

2.6 MALLA



Malla

ESTADÍSTICAS DE MALLA

Descripción	Valor
Calidad mínima de elemento	0.008572
Calidad media de elemento	0.6626

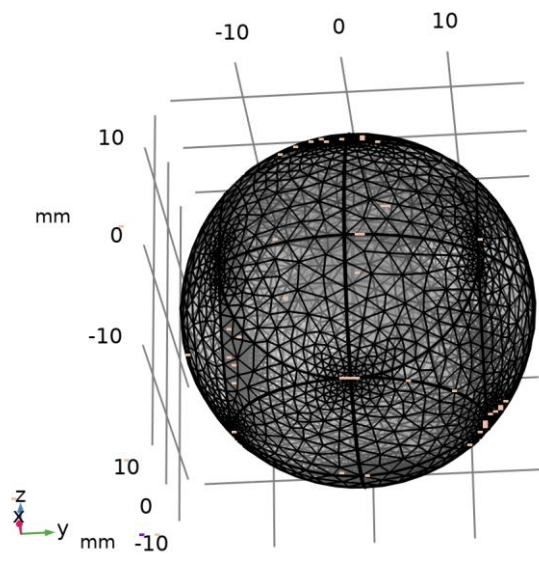
Descripción	Valor
Tetraedro	37961
Triángulo	8699
Elemento de arista	744
Elemento de vértice	38

2.6.1 Tamaño (size)

AJUSTES

Descripción	Valor
Tamaño máximo de elemento	2.72
Tamaño mínimo de elemento	0.34
Factor de curvatura	0.5
Resolución de regiones estrechas	0.6
Tasa de crecimiento máxima de elemento	1.45
Tamaño predefinido	Fina

2.6.2 Tetraédrico libre 1 (ftet1)



Tetraédrico libre 1

3 Estudio 1

INFORMACIÓN DE LA COMPUTACIÓN

Tiempo de computación	6 s
-----------------------	-----

3.1 DOMINIO DE LA FRECUENCIA

Frecuencias (Hz)
Frecuencia

CONFIGURACIÓN DEL ESTUDIO

Descripción	Valor
Incluir no linealidad geometría	Apagado

AJUSTES

Descripción	Valor
Frecuencias	2000000

SELECCIÓN DE FÍSICAS Y VARIABLES

Interfaz de física	Discretización
Presión acústica, frecuencia (acpr)	physics

SELECCIÓN DE MALLAS

Geometría	Malla
Geometría 3 (geom3)	mesh6

3.2 CONFIGURACIONES DEL RESOLVEDOR

3.2.1 Solución 1

8.1.1.73 Compilar ecuaciones: Dominio de la frecuencia (st1)

ESTUDIO Y PASO

Descripción	Valor
Utilizar estudio	Estudio 1
Utilizar paso de estudio	Dominio de la frecuencia

LOG

```

<---- Compilar ecuaciones: Dominio de la frecuencia en Estudio 1/Solución 1
(sol1) -----
Inició en 29-oct-2020 10:24:48.
Orden de forma geométrica: Cuadrático
Se ejecuta en Intel64 Family 6 Model 60 Stepping 3, GenuineIntel.
Using 1 socket with 4 cores in total on DESKTOP-2VCF67P.
Memoria disponible: 16.34 GB.
# 0 nodos de orden superior movidos lejos de '# 1' para evitar elementos mal formado
s.
La distancia máxima desde un punto a la geometría es 0.000792 mm.
Tiempo: 2.
Memoria física: 1.87 GB
Memoria virtual: 2.29 GB
Terminó en 29-oct-2020 10:24:51.
----- Compilar ecuaciones: Dominio de la frecuencia en Estudio 1/Solución 1
(sol1) ----->

```

8.1.1.74 Variables dependientes 1 (v1)

GENERAL

Descripción	Valor
Definido por paso estudio	Dominio de la frecuencia

CONSTANTES DE CÁLCULO DE VALOR INICIAL

Nombre constante	¿Fuente de valor inicial
freq	Frecuencia

LOG


```

<---- Variables dependientes 1 en Estudio 1/Solución 1 (sol1) -----
Inició en 29-oct-2020 10:24:51.
Tiempo de solución: 0 s.
Memoria física: 1.88 GB
Memoria virtual: 2.3 GB
Terminó en 29-oct-2020 10:24:51.
----- Variables dependientes 1 en Estudio 1/Solución 1 (sol1) ----->

```

8.1.1.74.1 Presión (comp3.p) (comp3_p)

GENERAL

Descripción	Valor
Variables de campo	comp3.p

8.1.1.74.2 Temperatura (comp3.T2) (comp3_T2)

GENERAL

Descripción	Valor
Variables de campo	comp3.T2
Variables internas	{comp3.uflux.T2, comp3.dflux.T2}
Resolver para este campo	Apagado

8.1.1.75 Resolvedor estacionario 1 (s1)

GENERAL

Descripción	Valor
Definido por paso estudio	Dominio de la frecuencia

LOG

```

<---- Resolvedor estacionario 1 en Estudio 1/Solución 1 (sol1) -----
Inició en 29-oct-2020 10:24:51.
Resolvedor lineal
Número de grados de libertad resueltos para 55058
Se encontraron matrices simétricas.
Escala para variables dependientes:
Presión (comp3.p): 1e+05
Empleada función de espacio nulo Ortonormal.
Iter      SolEst      Damping      Stepsize #Res #Jac #Sol  LinErr  LinRes
  1         0.89      1.0000000      0.89     1   1   1  7.8e-13  1.2e-12
Tiempo de solución: 4 s.
Memoria física: 2.34 GB
Memoria virtual: 2.82 GB
Terminó en 29-oct-2020 10:24:55.
---- Resolvedor estacionario 1 en Estudio 1/Solución 1 (sol1) ----->

```

8.1.1.75.1 Avanzado (aDef)

AJUSTES DE ENSAMBLE

Descripción	Valor
Permitir resultados complejos de funciones con argumento real	Encendido

8.1.1.75.2 Paramétrico 1 (p1)

GENERAL

Descripción	Valor
Definido por paso estudio	Dominio de la frecuencia
Ejecutar la continuación de	Ningún parámetro
Reutilizar solución desde el paso anterior	Auto

PARÁMETROS

Nombre de parámetro	Lista de valores de parámetros	Unidad de los parámetros
freq	Frecuencia	Hz

8.1.1.75.3 Completamente acoplado 1 (fc1)

GENERAL

Descripción	Valor
Resolvidor lineal	Suggested Direct Solver (acpr)

8.1.1.75.4 Suggested Direct Solver (acpr) (d1)

GENERAL

Descripción	Valor
Umbral de pivote	0.1

4 Estudio 2

INFORMACIÓN DE LA COMPUTACIÓN

Tiempo de computación	1 min 18 s
-----------------------	------------

4.1 TEMPORAL

Tiempos	Unidad
range(0,TiempoFinal/40,TiempoFinal)	s

CONFIGURACIÓN DEL ESTUDIO

Descripción	Valor
Incluir no linealidad geometría	Apagado

CONFIGURACIÓN DEL ESTUDIO

Descripción	Valor
Tiempos de salida	{0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 12, 13.5, 15, 16.5, 18, 19.5, 21, 22.5, 24, 25.5, 27, 28.5, 30, 31.5, 33, 34.5, 36, 37.5, 39, 40.5, 42, 43.5, 45, 46.5, 48, 49.5, 51, 52.5, 54, 55.5, 57, 58.5, 60}

VALORES DE VARIABLES DEPENDIENTE

Descripción	Valor
Ajustes	Controlado por usuario
Método	Solución
Estudio	Estudio 1

SELECCIÓN DE FÍSICAS Y VARIABLES

Interfaz de física	Discretización
Transferencia de biocalor 2 (ht2)	physics

SELECCIÓN DE MALLAS

Geometría	Malla
Geometría 3 (geom3)	mesh6

4.2 CONFIGURACIONES DEL RESOLVEDOR

4.2.1 Solución 2

8.1.1.76 Compilar ecuaciones: Temporal (st1)

ESTUDIO Y PASO

Descripción	Valor
Utilizar estudio	Estudio 2
Utilizar paso de estudio	Temporal

LOG

```
<---- Compilar ecuaciones: Temporal en Estudio 2/Solución 2 (sol2) -----  
Inició en 29-oct-2020 10:24:58.  
Orden de forma geométrica: Cuadrático  
Se ejecuta en Intel64 Family 6 Model 60 Stepping 3, GenuineIntel.  
Using 1 socket with 4 cores in total on DESKTOP-2VCF67P.  
Memoria disponible: 16.34 GB.  
# 0 nodos de orden superior movidos lejos de '# 1' para evitar elementos mal formado  
s.  
La distancia máxima desde un punto a la geometría es 0.000792 mm.  
Tiempo: 1.  
Memoria física: 1.97 GB  
Memoria virtual: 2.4 GB  
Terminó en 29-oct-2020 10:24:59.  
----- Compilar ecuaciones: Temporal en Estudio 2/Solución 2 (sol2) ----->
```

8.1.1.77 Variables dependientes 1 (v1)

GENERAL

Descripción	Valor
Definido por paso estudio	Temporal

ESCALA RESIDUAL

Descripción	Valor
Método	Manual

VALORES DE LAS VARIABLES NO COMPUTADAS

Descripción	Valor
Método	Solución
Solución	Solución 1

CONSTANTES DE CÓMPUTO DE VALOR INICIAL

Nombre constante	¿Fuente de valor inicial
t	range(0,TiempoFinal/40,TiempoFinal)
timestep	0.06[s]

LOG

```

<---- Variables dependientes 1 en Estudio 2/Solución 2 (sol2) -----
Inició en 29-oct-2020 10:24:59.
Valores de las variables no computadas: Solución 1 (sol1), freq=2E6 Hz [Automático].
Tiempo de solución: 1 s.
Memoria física: 1.98 GB
Memoria virtual: 2.4 GB
Terminó en 29-oct-2020 10:25:00.
----- Variables dependientes 1 en Estudio 2/Solución 2 (sol2) ----->

```

8.1.1.77.1 Presión (comp3.p) (comp3_p)

GENERAL

Descripción	Valor
Variables de campo	comp3.p
Resolver para este campo	Apagado

8.1.1.77.2 Temperatura (comp3.T2) (comp3_T2)

GENERAL

Descripción	Valor
Variables de campo	comp3.T2
Variables internas	{comp3.uflux.T2, comp3.dflux.T2, comp3.ht2.dt2Inv_T}

8.1.1.78 Resolvedor temporal 1 (t1)

GENERAL

Descripción	Valor
Definido por paso estudio	Temporal
Tiempos de salida	{0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 12, 13.5, 15, 16.5, 18, 19.5, 21, 22.5, 24, 25.5, 27, 28.5, 30, 31.5, 33, 34.5, 36, 37.5, 39, 40.5, 42, 43.5, 45, 46.5, 48, 49.5, 51, 52.5, 54, 55.5, 57, 58.5, 60}

ESCALADO DE TIEMPO

Descripción	Valor
Orden máximo de BDF	2
Estimación de errores	Excluir algebraico

LOG

<---- Resolvedor temporal 1 en Estudio 2/Solución 2 (sol2) -----
 Inició en 29-oct-2020 10:25:00.
 Resolvedor temporal (BDF ida)
 Número de grados de libertad resueltos: 55058 (mas 66803 grados de libertad internos).

Se encontró matrix no simétrica.

Escala para variables dependientes:

Temperatura (comp3.T2): 2.2e+02

Step	Time	Stepsize	Res	Jac	Sol	Order	Tfail	NLfail	LinErr	LinRes
0	0	- out	2	3	2			0	2.7e-15	1.5e-15
1	0.06	0.06	4	4	4	1	0	0	1.2e-15	7.4e-16
2	0.12	0.06	6	5	6	1	0	0	1.2e-15	8.6e-16
3	0.24	0.12	8	6	8	2	0	0	1.1e-15	7.5e-16
4	0.48	0.24	10	7	10	1	0	0	1.9e-15	1.2e-15
5	0.96	0.48	14	8	14	1	0	0	5.5e-15	3.1e-15
-	1.5	- out								
6	1.92	0.96	16	9	16	1	0	0	9.6e-16	1e-15
-	3	- out								
7	3.84	1.92	18	10	18	1	0	0	1.5e-15	1e-15
-	4.5	- out								
-	6	- out								
-	7.5	- out								
8	7.68	3.84	20	11	20	1	0	0	4.8e-15	2.6e-15
-	9	- out								
-	10.5	- out								
-	12	- out								
-	13.5	- out								
9	13.68	6	22	12	22	1	0	0	5.3e-15	5.8e-15
-	15	- out								
-	16.5	- out								
-	18	- out								
-	19.5	- out								
10	19.68	6	24	13	24	1	0	0	2.1e-15	3e-15
-	21	- out								
-	22.5	- out								
-	24	- out								
-	25.5	- out								
11	25.68	6	26	14	26	1	0	0	3.2e-15	3.7e-15
-	27	- out								
-	28.5	- out								
-	30	- out								
-	31.5	- out								
12	31.68	6	28	15	28	1	0	0	3e-15	4.5e-15
-	33	- out								
-	34.5	- out								
-	36	- out								
-	37.5	- out								
13	37.68	6	29	16	29	1	0	0	3.4e-15	4.3e-15
-	39	- out								
-	40.5	- out								
-	42	- out								
-	43.5	- out								
14	43.68	6	30	17	30	1	0	0	2.1e-15	3.8e-15
-	45	- out								
-	46.5	- out								
-	48	- out								
-	49.5	- out								
15	49.68	6	31	18	31	2	0	0	4.7e-15	5.5e-15


```

-          51          - out
-          52.5        - out
-          54          - out
-          55.5        - out
16         55.68        6          32   19   32    2    0    0    2.5e-15  3.3e-15
-          57          - out
-          58.5        - out
-          60          - out
17         61.68        6          33   20   33    2    0    0    1.6e-15  2.6e-15

```

Escalado de tiempo finalizado

Tiempo de solución: 76 s. (1 minuto, 16 segundos)

Memoria física: 2.88 GB

Memoria virtual: 3.38 GB

Terminó en 29-oct-2020 10:26:16.

----- Resolvedor temporal 1 en Estudio 2/Solución 2 (sol2) ----->

8.1.1.78.1 Completamente acoplado 1 (fc1)

GENERAL

Descripción	Valor
Resolvedor lineal	Directo, variables de transferencia de calor (ht2)

MÉTODO Y TERMINACIÓN

Descripción	Valor
Factor de amortiguamiento	0.9
Actualizar Jacobiano	Una vez por cada paso temporal
Número máximo de iteraciones	5
Estabilización y aceleración	Aceleración de Anderson
Dimensión del espacio de iteraciones	5
Parámetro de mezcla	0.9
Retraso de iteración	1

8.1.1.78.2 Directo, variables de transferencia de calor (ht2) (d1)

GENERAL

Descripción	Valor
Resolvidor	PARDISO
Perturbación de pivote	1.0E-13

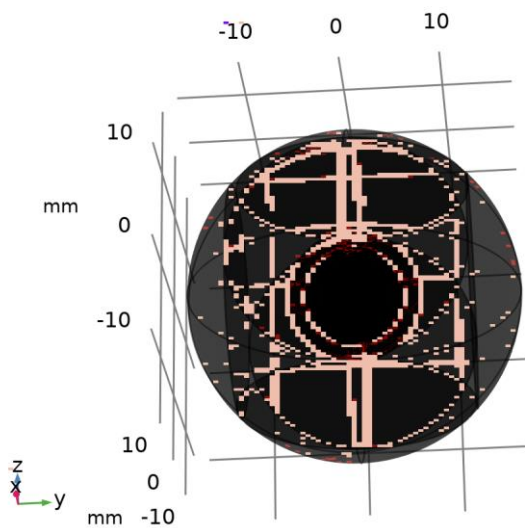
5 Resultados

5.1 CONJUNTOS DE DATOS

5.1.1 Estudio 1/Solución 1

SOLUCIÓN

Descripción	Valor
Solución	Solución 1
Componente	Componente 3 (comp3)



Conjunto de datos: Estudio 1/Solución 1

5.1.2 Plano de corte 1

DATOS

Descripción	Valor
Conjunto de datos	Estudio 1/Solución 1

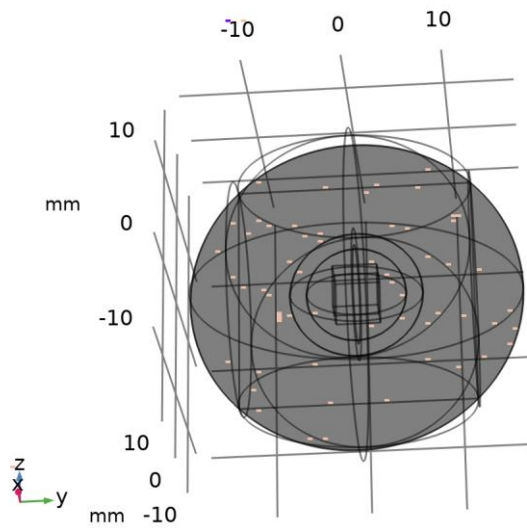
DATOS DE PLANO

Descripción	Valor
Tipo de plano	Rápido

Descripción	Valor
Coordenada X	0

AVANZADO

Descripción	Valor
Variables espaciales	{cpl1x, cpl1y}
Variables normales	{cpl1nx, cpl1ny, cpl1nz}

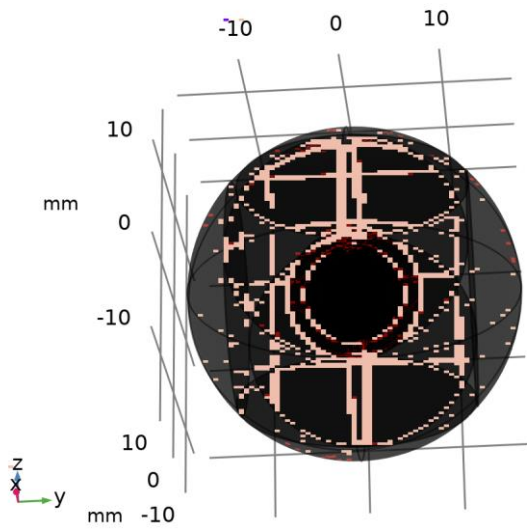


Conjunto de datos: Plano de corte 1

5.1.3 Estudio 2/Solución 2

SOLUCIÓN

Descripción	Valor
Solución	Solución 2
Componente	Componente 3 (comp3)



Conjunto de datos: Estudio 2/Solución 2

5.1.4 Plano de corte 2

DATOS

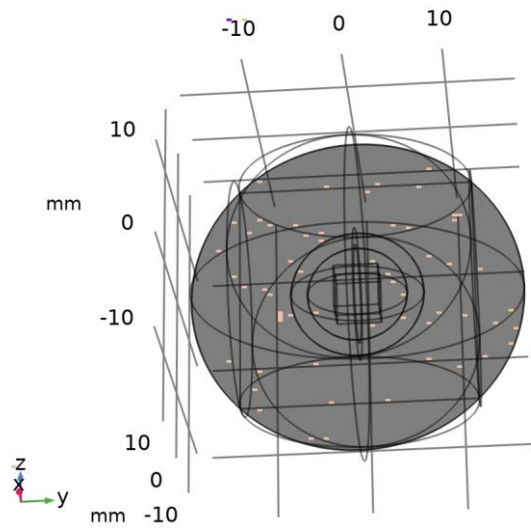
Descripción	Valor
Conjunto de datos	Estudio 2/Solución 2

DATOS DE PLANO

Descripción	Valor
Tipo de plano	Rápido
Coordenada X	0

AVANZADO

Descripción	Valor
Variables espaciales	{cpl2x, cpl2y}
Variables normales	{cpl2nx, cpl2ny, cpl2nz}

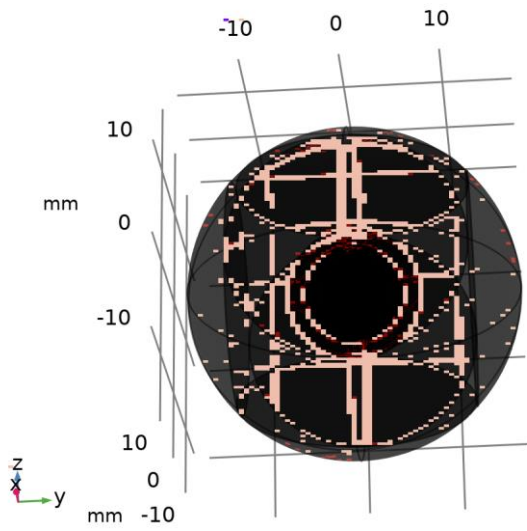


Conjunto de datos: Plano de corte 2

5.1.5 Solución de sonda 5

SOLUCIÓN

Descripción	Valor
Solución	Solución 2
Componente	Componente 3 (comp3)
Marco	Coordenada del marco espacial (x, y, z)



Conjunto de datos: Solución de sonda 5

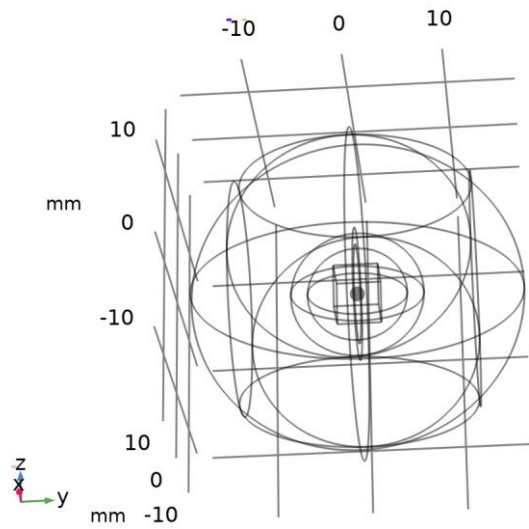
5.1.6 temp centro

DATOS

Descripción	Valor
Conjunto de datos	Solución de sonda 5

DATOS DE PUNTO

Descripción	Valor
Método de entrada	Coordenadas
x	0
y	0
z	0



Conjunto de datos: temp centro

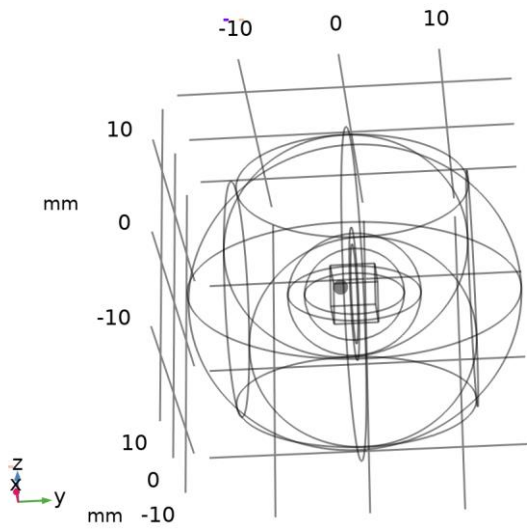
5.1.7 (1.5,1.5,1.5)

DATOS

Descripción	Valor
Conjunto de datos	Solución de sonda 5

DATOS DE PUNTO

Descripción	Valor
Método de entrada	Coordenadas
x	-1.5
y	-1.5
z	1.5



Conjunto de datos: (1.5,1.5,1.5)

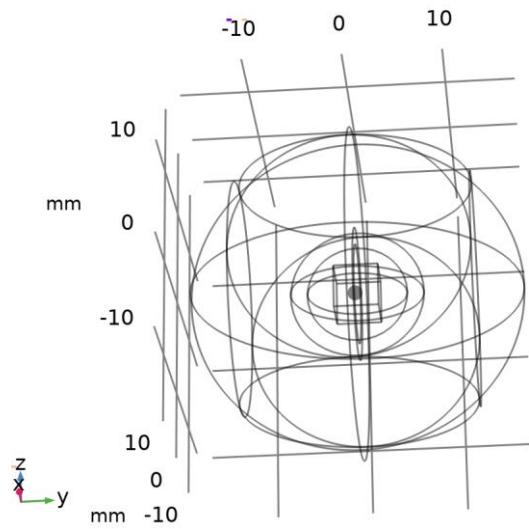
5.1.8 (0.25,0.25,0.25)

DATOS

Descripción	Valor
Conjunto de datos	Solución de sonda 5

DATOS DE PUNTO

Descripción	Valor
Método de entrada	Coordenadas
x	-0.25
y	-0.25
z	0.25



Conjunto de datos: (0.25,0.25,0.25)

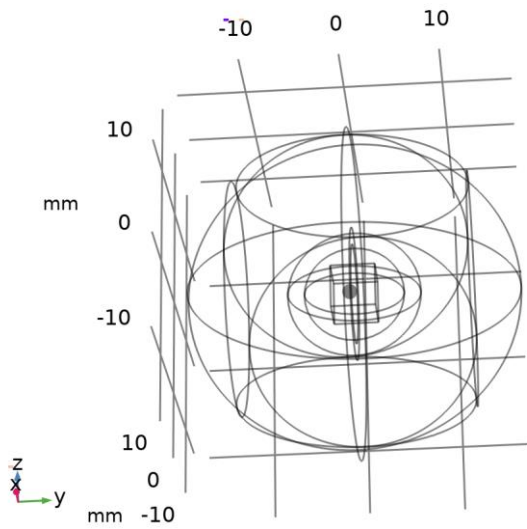
5.1.9 (0.5,0.5,0.5)

DATOS

Descripción	Valor
Conjunto de datos	Solución de sonda 5

DATOS DE PUNTO

Descripción	Valor
Método de entrada	Coordenadas
x	-0.5
y	-0.5
z	0.5



Conjunto de datos: (0.5,0.5,0.5)

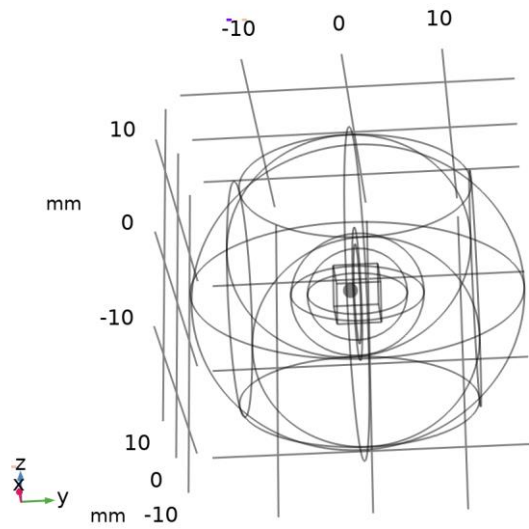
5.1.10 (0.75,0.75,0.75)

DATOS

Descripción	Valor
Conjunto de datos	Solución de sonda 5

DATOS DE PUNTO

Descripción	Valor
Método de entrada	Coordenadas
x	-0.75
y	-0.75
z	0.75



Conjunto de datos: (0.75,0.75,0.75)

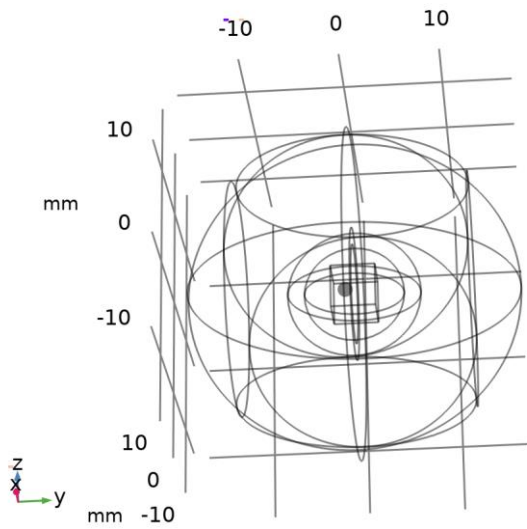
5.1.11 (1,1,1)

DATOS

Descripción	Valor
Conjunto de datos	Solución de sonda 5

DATOS DE PUNTO

Descripción	Valor
Método de entrada	Coordenadas
x	-1
y	-1
z	1



Conjunto de datos: (1,1,1)

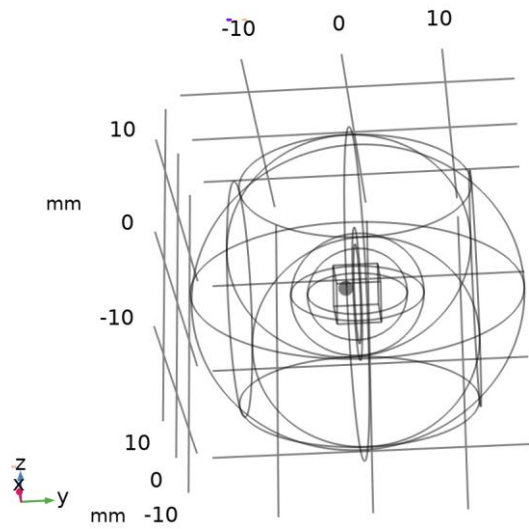
5.1.12 (1.25,1.25,1.25)

DATOS

Descripción	Valor
Conjunto de datos	Solución de sonda 5

DATOS DE PUNTO

Descripción	Valor
Método de entrada	Coordenadas
x	-1.25
y	-1.25
z	1.25



Conjunto de datos: (1.25,1.25,1.25)

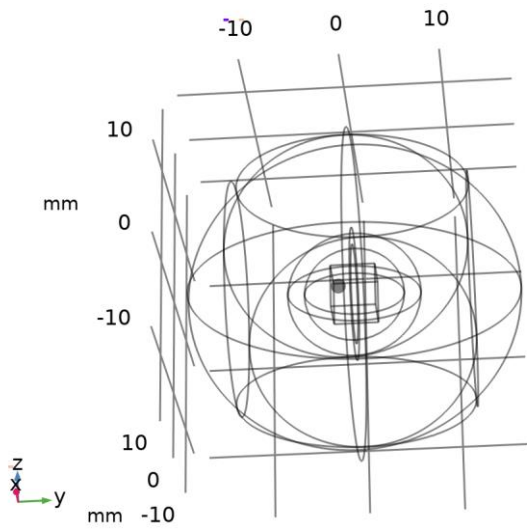
5.1.13 (1.75,1.75,1.75)

DATOS

Descripción	Valor
Conjunto de datos	Solución de sonda 5

DATOS DE PUNTO

Descripción	Valor
Método de entrada	Coordenadas
x	-1.75
y	-1.75
z	1.75



Conjunto de datos: (1.75,1.75,1.75)

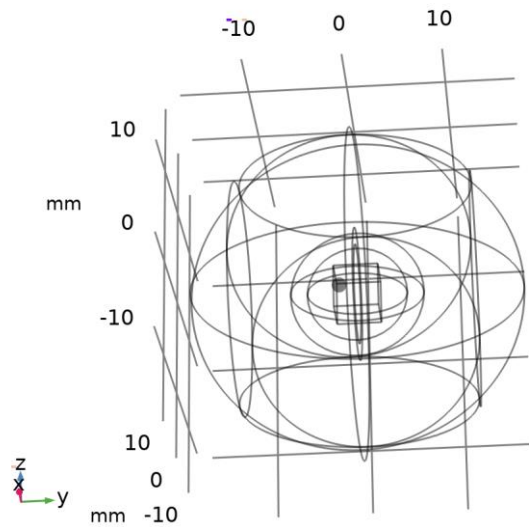
5.1.14 (2,2,2)

DATOS

Descripción	Valor
Conjunto de datos	Solución de sonda 5

DATOS DE PUNTO

Descripción	Valor
Método de entrada	Coordenadas
x	-2
y	-2
z	2



Conjunto de datos: (2,2,2)

5.2 VALORES DERIVADOS

5.2.1 Expresión de sonda de punto 2

SALIDA

Evaluado en	Tabla de sonda 1
-------------	----------------------------------

DATOS

Descripción	Valor
Conjunto de datos	temp centro

EXPRESIONES

Expresión	Unidad	Descripción
T2	K	Temperatura

5.2.2 Expresión de sonda de punto 2.1

SALIDA

Evaluado en	Tabla de sonda 1
-------------	----------------------------------

DATOS

Descripción	Valor
Conjunto de datos	(1.5, 1.5, 1.5)

EXPRESIONES

Expresión	Unidad	Descripción
T2	K	Temperatura

5.2.3 Expresión de sonda de punto 5

SALIDA

Evaluado en	Tabla de sonda 1
-------------	----------------------------------

DATOS

Descripción	Valor
Conjunto de datos	(0.25, 0.25, 0.25)

EXPRESIONES

Expresión	Unidad	Descripción
T2	K	Temperatura

5.2.4 Expresión de sonda de punto 6

SALIDA

Evaluado en	Tabla de sonda 1
-------------	----------------------------------

DATOS

Descripción	Valor
Conjunto de datos	(0.5, 0.5, 0.5)

EXPRESIONES

Expresión	Unidad	Descripción
T2	K	Temperatura

5.2.5 Expresión de sonda de punto 7

SALIDA

Evaluado en	Tabla de sonda 1
-------------	----------------------------------

DATOS

Descripción	Valor
Conjunto de datos	(0.75, 0.75, 0.75)

EXPRESIONES

Expresión	Unidad	Descripción
T2	K	Temperatura

5.2.6 Expresión de sonda de punto 8

SALIDA

Evaluado en	Tabla de sonda 1
-------------	----------------------------------

DATOS

Descripción	Valor
Conjunto de datos	(1, 1, 1)

EXPRESIONES

Expresión	Unidad	Descripción
T2	K	Temperatura

5.2.7 Expresión de sonda de punto 9

SALIDA

Evaluado en	Tabla de sonda 1
-------------	----------------------------------

DATOS

Descripción	Valor
Conjunto de datos	(1.25, 1.25, 1.25)

EXPRESIONES

Expresión	Unidad	Descripción
T2	K	Temperatura

5.2.8 Expresión de sonda de punto 10

SALIDA

Evaluado en	Tabla de sonda 1
-------------	----------------------------------

DATOS

Descripción	Valor
Conjunto de datos	(1.75, 1.75, 1.75)

EXPRESIONES

Expresión	Unidad	Descripción
T2	K	Temperatura

5.2.9 Expresión de sonda de punto 11

SALIDA

Evaluado en	Tabla de sonda 1
-------------	----------------------------------

DATOS

Descripción	Valor
Conjunto de datos	(2, 2, 2)

EXPRESIONES

Expresión	Unidad	Descripción
T2	K	Temperatura

5.3 TABLAS

5.3.1 Evaluation 3D

Valores interactivos 3D

x	y	z	Value
350.70	154.84	-0.50000	133.00
345.53	132.80	39.460	290.82
13.718	18.144	24.164	221.07
0.76810	-0.14311	-7.1054E-15	186.04
9.2753	-20.768	12.303	255.95
1.4211E-14	-15.770	22.691	293.02

5.3.2 Tabla de sonda 1

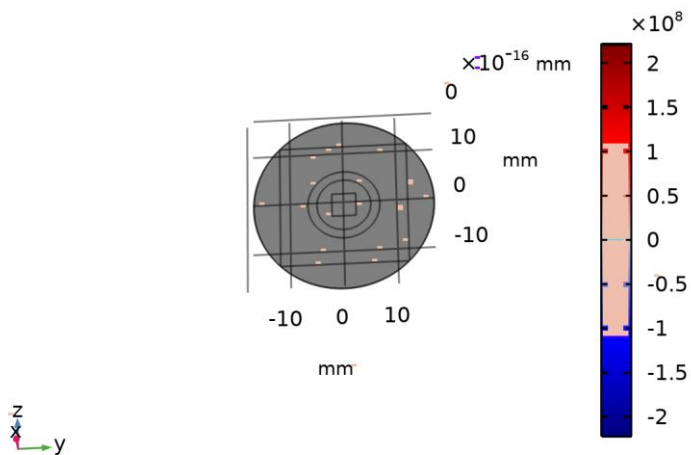
Tiempo (s)	Temperatura (K), Punto: (0, 0, 0)	Temperatura (K), Punto: (-1.5, -1.5, 1.5)	Temperatura (K), Punto: (-0.25, -0.25, 0.25)	Temperatura (K), Punto: (-0.5, -0.5, 0.5)	Temperatura (K), Punto: (-0.75, -0.75, 0.75)	Temperatura (K), Punto: (-1, -1, 1)	Temperatura (K), Punto: (-1.25, -1.25, 1.25)	Temperatura (K), Punto: (-1.75, -1.75, 1.75)	Temperatura (K), Punto: (-2, -2, 2)
0.0000	132.86	139.55	124.51	118.65	115.46	114.93	117.72	161.88	184.73
0.060000	135.53	143.04	125.48	118.29	114.22	113.25	116.27	167.46	189.53
0.12000	137.36	146.11	126.06	118.05	113.61	112.75	116.45	171.66	193.10
0.24000	140.06	151.52	126.84	117.79	113.24	113.19	118.69	178.06	198.32
0.48000	141.34	158.99	127.18	118.41	115.36	118.03	127.28	183.96	202.19
0.96000	139.22	169.18	127.19	121.20	121.54	128.21	141.72	190.41	205.40
1.9200	134.83	180.63	129.41	129.09	134.02	144.20	159.83	196.49	207.43
3.8400	139.25	191.37	140.93	145.62	153.32	164.02	177.73	201.69	208.71
7.6800	160.77	200.59	164.75	170.00	176.47	184.15	193.01	206.32	210.21
13.680	185.23	207.39	187.92	191.12	194.80	198.96	203.58	210.29	212.28
19.680	199.36	211.34	200.81	202.54	204.52	206.76	209.24	212.95	214.06
25.680	207.20	213.91	207.97	208.91	210.01	211.26	212.67	214.87	215.54
31.680	211.72	215.70	212.14	212.67	213.32	214.06	214.92	216.31	216.74
37.680	214.64	217.05	214.87	215.18	215.56	216.02	216.55	217.45	217.73
43.680	216.50	218.08	216.63	216.83	217.08	217.38	217.73	218.35	218.55

Tiempo (s)	Temperatura (K), Punto: (0, 0, 0)	Temperatura (K), Punto: (-1.5, -1.5, 1.5)	Temperatura (K), Punto: (-0.25, -0.25, 0.25)	Temperatura (K), Punto: (-0.5, -0.5, 0.5)	Temperatura (K), Punto: (-0.75, -0.75, 0.75)	Temperatura (K), Punto: (-1, -1, 1)	Temperatura (K), Punto: (-1.25, -1.25, 1.25)	Temperatura (K), Punto: (-1.75, -1.75, 1.75)	Temperatura (K), Punto: (-2, -2, 2)
49.680	217.78	218.90	217.87	218.01	218.18	218.39	218.65	219.10	219.24
55.680	218.73	219.57	218.80	218.90	219.03	219.19	219.38	219.72	219.83
61.680	219.47	220.12	219.52	219.60	219.70	219.83	219.97	220.24	220.33

5.4 TRAZAR GRUPOS

5.4.1 Presión acústica (acpr)

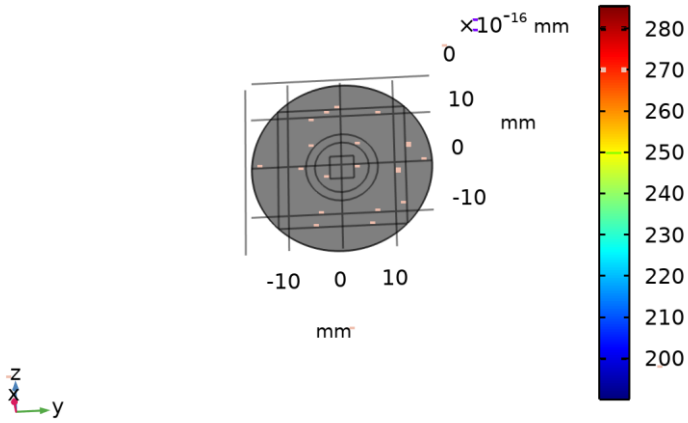
freq(1)=2E6 Hz Superficie: Campo total de presión acústica (Pa)



Superficie: Campo total de presión acústica (Pa)

5.4.2 Nivel de presión sonora (acpr)

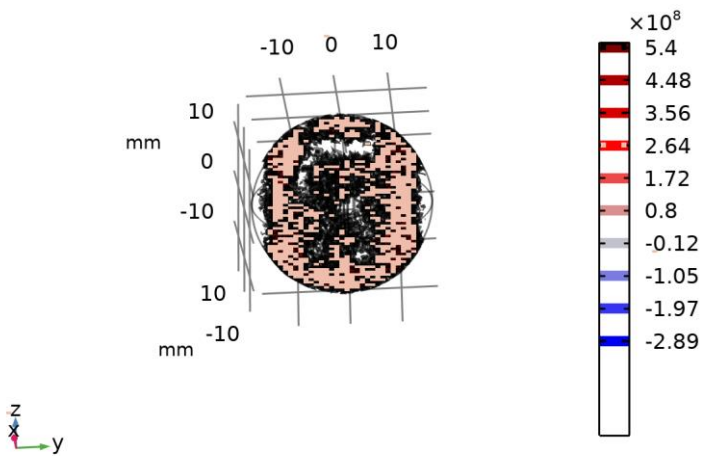
Tiempo=60 s Superficie: Nivel de presión sonora (dB)



Superficie: Nivel de presión sonora (dB)

5.4.3 Presión acústica, isosuperficies (acpr)

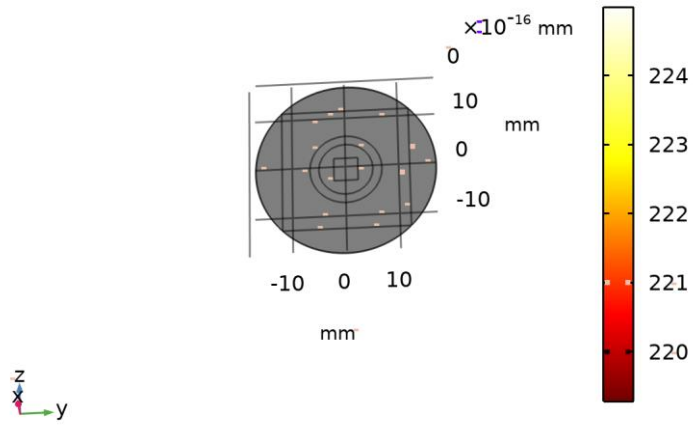
freq(1)=2E6 Hz Isosuperficie: Campo total de presión acústica (Pa)



Isosuperficie: Campo total de presión acústica (Pa)

5.4.4 Temperatura (ht2)

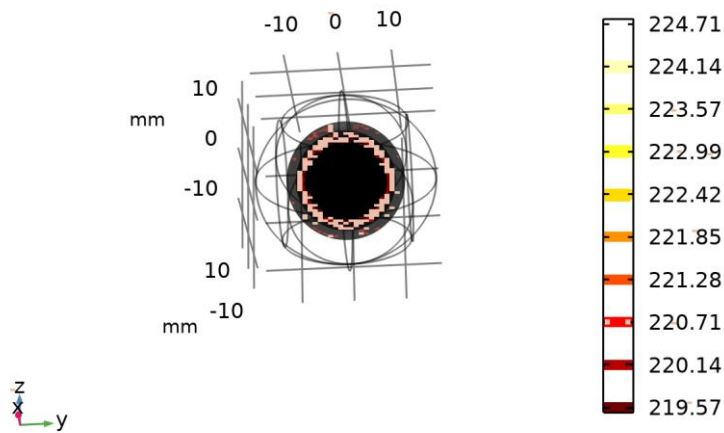
Tiempo=60 s Superficie: Temperatura (K)



Superficie: Temperatura (K)

5.4.5 Contornos isotérmicos (ht2)

Tiempo=60 s Isosuperficie: Temperatura (K)



Isosuperficie: Temperatura (K)

5.4.6 Grupo gráfico de sonda

