

Trabajo Fin de Máster

Ingeniería Industrial

Modelización de un sistema de HIFU mediante una herramienta de cálculo basada en elementos finitos

Autor: Eduardo Guillén Jurado

Tutor: Ramón de Jesús Risco Delgado

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

Sevilla, 2020



Trabajo Fin de Máster
Ingeniería Industrial

Modelización de un sistema de HIFU mediante una herramienta de cálculo basada en elementos finitos

Autor:

Eduardo Guillén Jurado

Tutor:

Ramón Risco Delgado

Profesor titular

Dpto. de Física Aplicada III
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2020

Trabajo Fin de Máster: Modelización de un sistema de HIFU mediante una herramienta de cálculo basada en elementos finitos

Autor: Eduardo Guillén Jurado

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

Resumen

La criopreservación es una rama de la física que busca mantener la funcionalidad y vitalidad de tejidos celulares a temperaturas bajo cero durante intervalos de tiempo indefinido para una posterior recuperación de estos.

Enmarcados dentro del estudio e investigación de técnicas para la mejora de los procesos de criopreservación y posterior recalentamiento de tejidos biológicos, nuestro trabajo pretende ofrecer un modelo para la simulación vía software, de un sistema que utiliza la aplicación de ondas de ultrasonidos focalizadas de alta intensidad (HIFU) para el recalentamiento de dichas muestras criopreservadas.

Intentamos de esta forma abordar, desde una herramienta de cálculo basada en los elementos finitos, uno de los principales problemas que se presentan en este tipo de experimentaciones: la formación de cristales de hielo que imposibilitan la recuperación de los tejidos criopreservados.

Abstract

Cryopreservation is a branch of physics that seeks to maintain the functionality and vitality of cellular tissues at subzero temperatures for indefinite time intervals for their subsequent recovery.

Framed within the study and investigation of techniques for the improvement of cryopreservation processes and subsequent overheating of biological tissues, our work aims to offer a model - simulation - software of a system that uses the application of high intensity focused ultrasound waves. (HIFU) for reheating those cryopreserved samples.

In this way, we try to tackle, from a finite element calculation tool, one of the main problems that arise in this type of experimentation: the formation of ice crystals that make it impossible to recover cryopreserved tissues.

Índice

Resumen	ix
Abstract	xi
Índice	xii
Índice de Ilustraciones	xiv
1 Objetivos	1
2 Introducción	3
2.1 <i>Criopreservación</i>	3
2.2 <i>Ultrasonidos focalizados de alta potencia (HIFU)</i>	4
2.3 <i>Antecedentes inmediatos</i>	6
3 Metodología	7
3.1 <i>Diseño del modelo</i>	7
3.2 <i>Construcción del modelo</i>	8
3.3 <i>Definición de los materiales que forman parte del modelo</i>	10
3.4 <i>Inclusión de las ecuaciones físicas principales del sistema a modelar</i>	11
3.4.1 <i>Módulo de presión acústica en el dominio de la frecuencia</i>	11
3.4.2 <i>Módulo de transferencia de biocalor</i>	15
3.5 <i>Mallado del modelo</i>	16
3.6 <i>Definición de un gradiente de viscosidades</i>	17
3.7 <i>Generación de una función de forma específica de la potencia aplicada</i>	17
4 Resultados	19
4.1 <i>Modelo final sin estabilización de potencia ni gradiente de viscosidades</i>	19
4.2 <i>Modelo final sin estabilización de potencia y con gradiente de viscosidades</i>	21
4.3 <i>Modelo final con estabilización de potencia y con gradiente de viscosidades</i>	23
5 Conclusiones	27
5.1 <i>Modelo final sin estabilización de potencia y sin gradiente de viscosidades</i>	27
5.2 <i>Modelo final sin estabilización de potencia y con gradiente de viscosidades</i>	27
5.3 <i>Modelo final con estabilización de potencia y con gradiente de viscosidades</i>	29
6 Futuras líneas de investigación	31
Referencias	33
Anexo A	35
Anexo B	263

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: <i>Recristalización y crecimiento del hielo en la solución de vitrificación</i>	4
Ilustración 2: <i>Esquema HIFU</i> [8]	4
Ilustración 3: <i>Ejemplo atenuación en onda de ultrasonido aplicada a lo largo de diferentes tejidos</i> [11]	5
Ilustración 4: <i>Ubicación y dimensión relativa del cayado aórtico.</i> [12]	7
Ilustración 5: <i>Grosor de la sección aórtica</i> [13]	7
Ilustración 6: <i>Dimensiones transductor PZ52</i> [14]	8
Ilustración 7: <i>Intersección de formas simples para la formación del interior del recipiente</i>	9
Ilustración 8: <i>Construcción final del modelo</i>	9
Ilustración 9: <i>Propiedades del material seleccionado para la aorta</i> [15]	10
Ilustración 10: <i>Propiedades del material seleccionado para el fluido de transmisión</i> [16]	10
Ilustración 11: <i>Propiedades del material seleccionado para el bloque congelado</i> [17]	10
Ilustración 12: <i>Propiedades del material seleccionado para la cubierta del orificio</i> [18]	11
Ilustración 13: <i>Propiedades del material seleccionado para el vaso de precipitado</i> [19]	11
Ilustración 14: <i>Modelo de fuente acústica monopolar</i>	13
Ilustración 15: <i>Modelo de fuente acústica dipolar y cuadrupolar</i>	13
Ilustración 16: <i>Mallado de sonido frente a mallado de calor</i>	16
Ilustración 17: <i>Geometría para el gradiente de viscosidades</i>	17
Ilustración 18: <i>Temperaturas asignadas a las diferentes secciones del modelo con gradiente de viscosidades</i>	17
Ilustración 19: <i>Rampa rm_l</i>	18
Ilustración 20: <i>Onda rectangular $rect_l$</i>	18
Ilustración 21: <i>Onda sinusoidal sen_l</i>	18
Ilustración 22: <i>Campo de presiones acústicas para modelo sin estabilización ni gradiente de viscosidades</i>	19
Ilustración 23: <i>Superficie de temperaturas para modelo sin estabilización ni gradiente de viscosidades</i>	20
Ilustración 24: <i>Gradiente de temperaturas en los contornos de la aorta para modelo sin estabilización ni gradiente de viscosidades</i>	20
Ilustración 25: <i>Gradiente de temperaturas en los extremos de la aorta para modelo sin estabilización</i>	

<i>ni gradiente de viscosidades</i>	21
<i>Ilustración 26: Campo de presiones acústicas para modelo sin estabilización y con gradiente de viscosidades</i>	21
<i>Ilustración 27: Superficie de temperaturas para modelo sin estabilización y con gradiente de viscosidades</i>	22
<i>Ilustración 28: Gradiente de temperaturas en los contornos de la aorta para modelo sin estabilización y con gradiente de viscosidades</i>	22
<i>Ilustración 29: Gradiente de temperaturas en los extremos de la aorta para modelo sin estabilización y con gradiente de viscosidades</i>	23
<i>Ilustración 30: Campo de presiones acústicas para modelo con estabilización y con gradiente de viscosidades</i>	23
<i>Ilustración 31: Superficie de temperaturas para modelo con estabilización y con gradiente de viscosidades</i>	24
<i>Ilustración 32: Gradiente de temperaturas en los contornos de la aorta para modelo con estabilización y con gradiente de viscosidades</i>	24
<i>Ilustración 33: Gradiente de temperaturas en los extremos de la aorta para modelo sin estabilización y con gradiente de viscosidades</i>	25
<i>Ilustración 34: Tendencia a la divergencia de temperaturas entre los puntos extremos de la aorta</i>	27
<i>Ilustración 35: Aumento de la potencia transmitida al foco</i>	28
<i>Ilustración 36: Aumento de la divergencia de la temperatura entre los extremos de la aorta con respecto al modelo 1</i>	28
<i>Ilustración 37: Tendencia de la temperatura en el foco en las dos últimas versiones</i>	29
<i>Ilustración 38: Divergencia de temperaturas en los extremos de la aorta para el último modelo</i>	29

1 OBJETIVOS

El objetivo principal de este Trabajo Fin de Máster (a partir de ahora será referido como TFM) consiste en la creación de una herramienta de cálculo numérico basada en elemento finitos para el estudio del calentamiento mediante ultrasonidos focalizados de alta intensidad (HIFU) de 1 MHz generados por un transductor esférico. Mediante la aplicación de dichos ultrasonidos se pretende la recuperación, a través del recalentamiento, de un segmento de aorta ratón desde temperaturas criogénicas.

Aunque ya existen sistemas físicos que replican este planteamiento y buscan la experimentación y estudio de este, contar con una herramienta de software que simule dicho entorno nos facilitará la tarea de elaborar y probar infinidad de escenarios, acelerando así el proceso de investigación citado.

Para abordar este objetivo, hemos dividido la tarea en distintos subobjetivos que serán desarrollados durante el apartado de la metodología:

- Diseño del modelo: basándonos en las medidas con las que se están trabajando en el laboratorio del departamento al que pertenece este TFM, reproduciremos con exactitud el sistema completo que realiza este estudio.
- Construcción del modelo: partiendo del modelo diseñado construiremos una geometría que permita simular con precisión el entorno con el que pretendemos experimentar.
- Definición de materiales que forman parte del modelo: buscando mantener las características de un sistema real, seleccionaremos y buscaremos los materiales y propiedades que corresponderán a todos los elementos del modelo.
- Inclusión de las ecuaciones físicas principales del sistema a modelar: teniendo en cuenta cómo se comporta un entorno que cuenta con la generación de ondas de ultrasonidos y el calentamiento de las distintas sustancias por parte de estas, añadiremos convenientemente las ecuaciones que permitirán el modelizado correcto de dicho comportamiento.
- Mallado del modelo: nos permitirá ajustar el equilibrio óptimo entre la velocidad de la simulación y la precisión de esta.
- Definición de un gradiente de viscosidades: generará un modelo que minimice la reflexión de las ondas de ultrasonidos, permitiendo así obtener un mejor resultado de la modelización.
- Generación de una función de forma específica de la potencia aplicada: buscará una mejora de la función de potencia aplicada desde el transductor para conseguir una estabilización de la temperatura de calentamiento y una menor polarización de las temperaturas extremas del sólido a calentar.

Mientras que los cinco primeros son imprescindibles para alcanzar el objetivo planteado, en el caso de los dos últimos, hemos perseguido unos subobjetivos más específicos que mejorasen la calidad de los resultados finales, haciendo que estos sean mucho más fieles a la realidad. De esta forma, podríamos decir que los cinco primeros son los **subobjetivos principales**, y que los dos últimos son los **subobjetivos específicos**.

2 INTRODUCCIÓN

Antes de desarrollar cada uno de los objetivos, es necesario contextualizar la tarea que vamos a abordar en nuestro TFM, ya que esto nos permitirá orientar mejor cada una de las decisiones que tomemos tanto en los subobjetivos principales como en los específicos:

2.1 Criopreservación

El origen de los objetivos marcados, parte de los trabajos y estudios realizados en el campo de la criopreservación. 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).

Actualmente se aplica en gran cantidad de situaciones como son: usos rutinarios en laboratorios de investigación biomédica, bancos de tejidos para trasplantes, repositorios de especies en peligro de extinción o en centros dedicados a reproducción asistida.

La totalidad de técnicas que se aplican hoy en día en criopreservación se puede agrupar dentro de dos conjuntos principales: la congelación lenta o *slow freezing* y la vitrificación. A continuación, desarrollaremos los procesos físicos que suceden en ambas [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. Estos agentes son sustancias hidrosolubles con baja toxicidad, que disminuyen el punto eutéctico de la solución, haciendo que se minimice la formación de hielo intracelular (cristalizaciones), sin embargo, el uso excesivo de este tipo de agentes puede dañar el material biológico [2]. Dicho agente ha de cumplir tres condiciones indispensables: permanecer disuelto en agua a unas temperaturas extremadamente bajas, toxicidad baja y alta permeabilidad de las membranas celulares a él.

Este proceso empieza con un enfriamiento gradual del recipiente en el que se encuentra el tejido biológico y la solución con el crioprotector, aproximadamente a 1°C/min. Una vez alcanzada la congelación de la solución, a unos -5°C, se fuerza la formación de hielo en el medio extracelular. Este hielo provoca la salida del agua interna de las células biológicas por ósmosis, concentrando la solución y descendiendo 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 (vidrio), evitando la formación de cristales de agua congelada, que sería letal para el tejido biológico. Sin embargo, este método se puede aplicar únicamente 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 [3] [4].

- **Vitrificación**: En esta técnica encontramos como característica principal la no formación de hielo ni en el interior ni en el exterior de la célula, ya que se basa en el principio de que cualquier líquido solidifica sin formar cristales si la velocidad de enfriamiento es suficientemente alta [5]. En principio, la velocidad de enfriamiento necesaria para vitrificar el tejido biológico tendría que ser del orden de 10⁷°C/min, pero con la adición de algunos solutos se puede reducir esta velocidad de enfriamiento tanto como se desee, alterando la concentración de estos.

En función de lo expuesto anteriormente, se distinguen dos tipos de vitrificaciones: vitrificación mediante enfriamiento ultrarrápido (de no equilibrio) y vitrificación de equilibrio.

En la *Ilustración 1* hemos representado la probabilidad de nucleación y crecimiento de cristales para una solución crioprotectora genérica en el (eje Y), frente a la temperatura bajo cero a la que se encuentra

el tejido estudiado (eje X). En condiciones normales estas curvas estarían superpuestas porque el crecimiento de los cristales es inmediato a su formación, sin embargo, a muy bajas temperaturas se consigue que se de la formación sin el crecimiento [6].

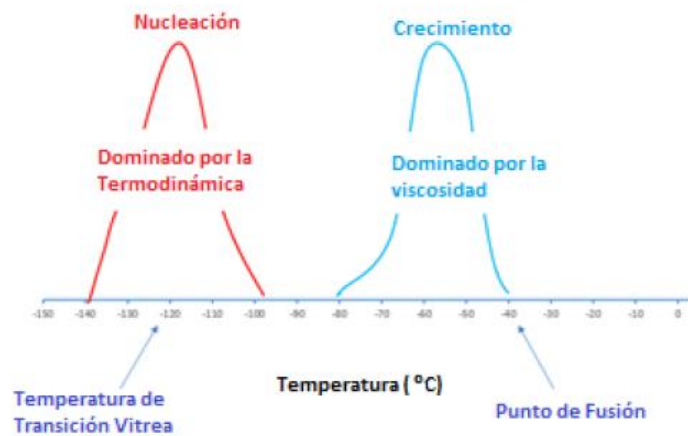


Ilustración 1: Recristalización y crecimiento del hielo en la solución de vitrificación

2.2 Ultrasonidos focalizados de alta potencia (HIFU)

Dentro de las distintas soluciones que se pueden plantear al problema de la formación de cristales en los tejidos biológicos con los que trabajamos, en este TFM vamos a afrontar el calentamiento de material criopreservado de forma que su velocidad sea uniforme y lo suficientemente alta para evitar el crecimiento de cristales de hielo. Para ello, se plantea el uso de ultrasonidos focalizados de alta intensidad comentados en el apartado de Objetivos. La importancia que han cobrado los Ultrasonidos de Alta Potencia o High Power Ultrasound (HPU) ha aumentado en los últimos años y actualmente se desarrollan multitud de aplicaciones comerciales a gran escala. Uno de los tipos de HPU que son más importante actualmente debido a sus aplicaciones médicas son los ultrasonidos focalizados de alta potencia o High Intensity Focused Ultrasound (HIFU), técnica no invasiva que consiste en la aplicación de una onda de ultrasonidos de alta frecuencia y energía para conseguir un calentamiento en el tejido objetivo hasta que alcance temperaturas comprendidas entre 55 y 100°C, con la peculiaridad de que los tejidos adyacentes a este solo se calienten por estar en contacto por el irradiado, no por la presencia de dichas ondas [7].

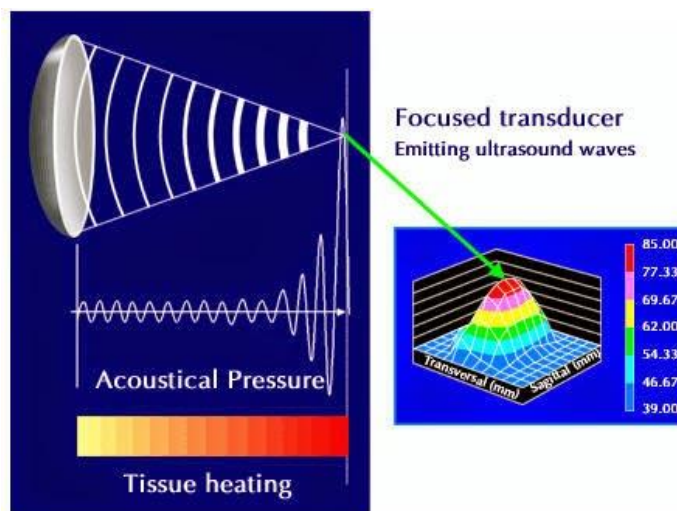


Ilustración 2: Esquema HIFU [8]

Los ultrasonidos son unas ondas de presión con una frecuencia de un rango inaudible por el ser humano (18-20 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.

Los ultrasonidos son generados mediante un material piezoeléctrico sometido a un voltaje, de forma que el material sufre contracciones y expansiones proporcionales a la corriente a la que se somete (desplazamiento normal del transductor). Los materiales piezoeléctricos más utilizados para aplicaciones médicas de HIFU son los policristalinos ferroeléctricos polarizados, que pueden estar en matrices poliméricas para obtener un mejor control sobre sus propiedades acústicas y eléctricas. Los campos de ultrasonidos generados por transductores acústicos dependen del tamaño, forma y frecuencia de la fuente [9].

Si el diámetro de una fuente de ultrasonidos es mucho mayor que la longitud de onda del ultrasonido en el medio, la onda ultrasónica puede ser focalizada mediante lentes de reflexión o con transductores autofocalizantes. La focalización puede realizarse también usando un conjunto o “array” de transductores de pequeño tamaño, que se accionan mediante señales con el desfase adecuado para obtener un punto focal común. La longitud de onda impone una limitación con el tamaño de la región focal y la nitidez del enfoque depende de la relación entre la apertura del transductor y la longitud de onda, además de la distancia del foco al transductor. Estos factores cobran gran relevancia en aplicaciones donde se busca el mínimo tamaño de región focal y la máxima concentración de energía en un punto [10].

La frecuencia de los ultrasonidos está directamente relacionada con la absorción y atenuación de estos en el medio; conforme 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 cuantifica mediante el coeficiente de atenuación, el cual varía en función de la frecuencia de los ultrasonidos y de las propiedades del medio.

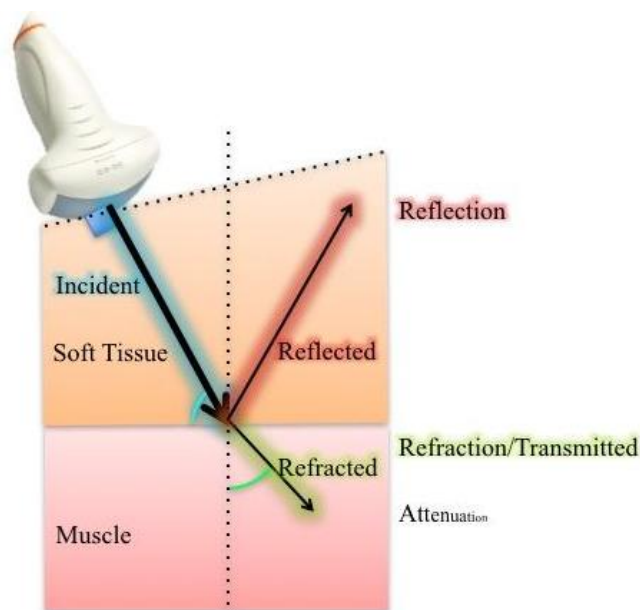


Ilustración 3: Ejemplo atenuación en onda de ultrasonido aplicada a lo largo de diferentes tejidos [11]

Aunque, como ya se ha comentado, el uso de los HIFU se aplica actualmente en la medicina con éxito, aún no se ha aplicado en la criopreservación. Los HIFU permiten un calentamiento lo suficientemente rápido y homogéneo como para poder realizar el recalentamiento de un material biológico criopreservado evitando la recristalización.

Para evitar la recristalización la velocidad de calentamiento necesaria debe estar en torno a los 55-100°C/min, aunque esta velocidad puede depender del crioprotector o mezcla de crioprotectores utilizados para su criopreservación, siendo esta inversamente proporcional a la concentración de crioprotectores.

2.3 Antecedentes inmediatos

Para la realización de nuestro TFM, se planteó en primer lugar la adaptación del software COMSOL Multiphysics® v 4.1 para poder trabajar con sus módulos de presión acústica y de transferencia de calor de forma conjunta, para así poder replicar el comportamiento antes comentado de las ondas de ultrasonidos para el recalentamiento de tejidos criopreservados.

Para poder hacer esto, era necesario el uso de la extensión del software que permitía trabajar con MATLAB®, pero el soporte técnico que habría de proporcionarnos esta, había dejado de prestar el servicio por la longevidad de la versión utilizada.

A la vista de esto, se replanteó el trabajo para buscar el desarrollo del modelo de simulación indicado en el apartado de Objetivos que permitirá hacer una simulación más completa del sistema que se ha venido desarrollando a lo largo de la Introducción.

En el desarrollo de este, se han tenido que realizar numerosas pruebas y versiones del modelo debido a la multitud de factores que influyen en él (geometría, físicas, materiales, interacción de dos estudios...), con lo que lo expuesto en este TFM es el resultado de la depuración del proceso de creación del modelo. Este proceso ha llevado siempre a buscar el método más fiable y sencillo de describir cada fase, en aras de asegurar que esta no era el foco de cualquier fallo.

3 METODOLOGÍA

Como se indicó en el apartado de Objetivos, en este apartado desarrollaremos todas las fases (o subobjetivos) que nos han llevado a alcanzar los objetivos principales planteados.

3.1 Diseño del modelo

El sistema con el que se estaba trabajando en el laboratorio constaba de diferentes partes:

- **Sección de aorta:** será el objeto de nuestras pruebas, puesto que ocupará el lugar del tejido a calentar para ser recuperado de un estado de criopreservación. Esta aorta corresponderá a la de una rata de la cepa *wistar*, y la sección extraída se encontrará a uno o dos centímetros del cayado aórtico.

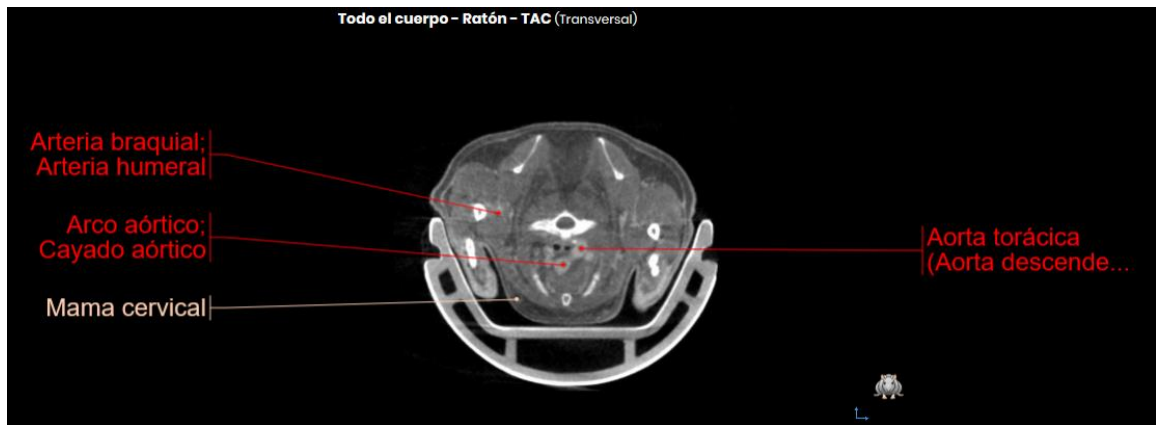


Ilustración 4: Ubicación y dimensión relativa del cayado aórtico. [12]

A la vista de la imagen del TAC, y sabiendo que la escala de este es 1:1, se ha determinado un diámetro de aorta de 1.5 mm. Para diseñar el grosor de este se ha recurrido a un estudio [13] sobre la morfología de la aorta de ratas ante el tratamiento con sunitinib (fármaco), en el que se presenta la sección escalada de la parte de la aorta que estamos diseñando.

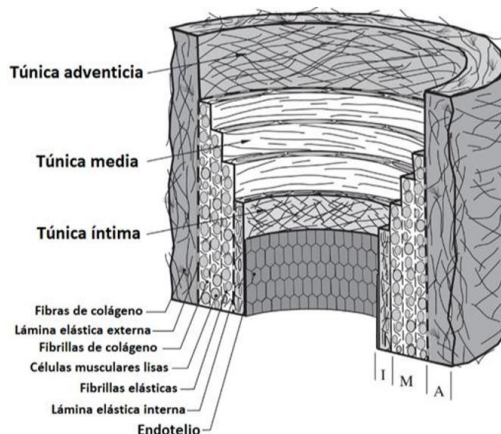


Ilustración 5: Grosor de la sección aórtica [13]

Siguiendo la escala de la *Ilustración 2*, hemos determinado un grosor de 0.215 mm.

- **Solución congelada:** será un bloque que contendrá la sección de aorta congelada, por lo que las medidas con las que habrá de ser diseñada tendrán que ser superiores a las de la aorta. En nuestro caso hemos optado por dimensionarla como un cubo de 2 mm de arista.
- **Transductor PZ52:** será el encargado de producir las ondas de ultrasonidos que calentarán la sección de aorta citada. Sus dimensiones son las especificadas a continuación según la hoja de características del fabricante:

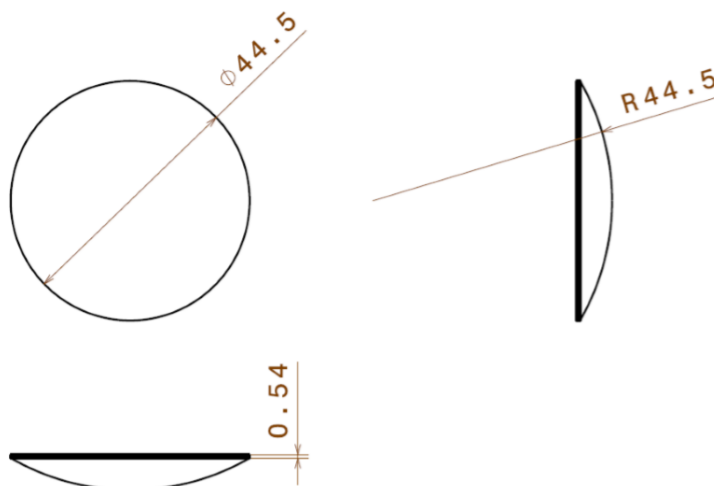


Ilustración 6: Dimensiones transductor PZ52 [14]

Aunque la forma física es la indicada en la *Ilustración 3*, es necesario diseñar el transductor con un orificio en su centro, de tal manera que se genere un foco lo suficientemente definido como para que se caliente solo una zona localizada del sistema. Este orificio tendrá un diámetro de 16.33 mm. En el interior del PZ52 realmente tendremos diferentes anillos (fases relativas) que producirán distintos tipos de focos en función de cuáles de estos anillos estén siendo excitados, por ello, nosotros tendremos que realizar un diseño que simule este comportamiento de excitación selectiva (de ahí la inclusión de dicho orificio).

- **Vaso de precipitado:** será el soporte físico que contendrá el bloque congelado con la aorta en su fondo, y el transductor en la parte superior (por eso carece de cubierta). Para que el transductor esté a una distancia adecuada de la aorta, el recipiente tendrá un diámetro de 45.5 mm, una altura de 44.07 mm y un grosor de 1.355 mm.
- **Fluido transmisor:** la zona que queda comprendida entre todos los elementos ya indicados será la encargada de transmitir las ondas de ultrasonidos desde el transductor hasta el bloque congelado que contiene a la aorta. Sus medidas vendrán definidas por la diferencia de todas las que ya hemos indicado.

El diseño con las acotaciones completas se incluye en el **Anexo B**. Cabe destacar que, entre el diseño y la construcción del modelo, hay una diferencia en la zona del transductor, viéndose en el diseño un vacío entre los bordes del vaso de precipitado y el transductor. Esto se debe a que se en el diseño no se ha incluido el soporte físico de la membrana del transductor (elemento en el que sí es esencial definir las medidas), ya que sus características no repercutirán en la simulación.

3.2 Construcción del modelo

Para este apartado y todos los que siguen, hemos utilizado el software de COMSOL Multiphysics® v 5.5:

1. **Selección del componente:** a la hora de comenzar a construir un modelo, es necesario escoger el método de construcción que más se adapte a nuestro diseño. Como se indicó en el apartado de Introducción, hubo varios intentos a la hora de incluir la geometría de nuestro modelo en el software. Esto nos llevó a pensar cuál de todas las opciones que ofrecía el programa permitía de una forma más sencilla la representación de nuestro modelo, puesto que a mayor sencillez disminuiríamos las

posibilidades de que aparezcan errores. Finalmente, **optamos por un modelo en 2D axisimétrico**, con el eje Z como eje de revolución.

2. **Definición de las secciones:** aunque se podría importar directamente la sección del modelo diseñado en AutoCad®, hemos optado por utilizar la herramienta de construcción que incorpora el software ya que, de esta forma, de nuevo estaremos evitando posibles fallos por incompatibilidades posibles en el momento de la importación.

Las secciones que componen la geometría de nuestro modelo habrán de ser construidas a partir de la combinación y operación de formas simples:

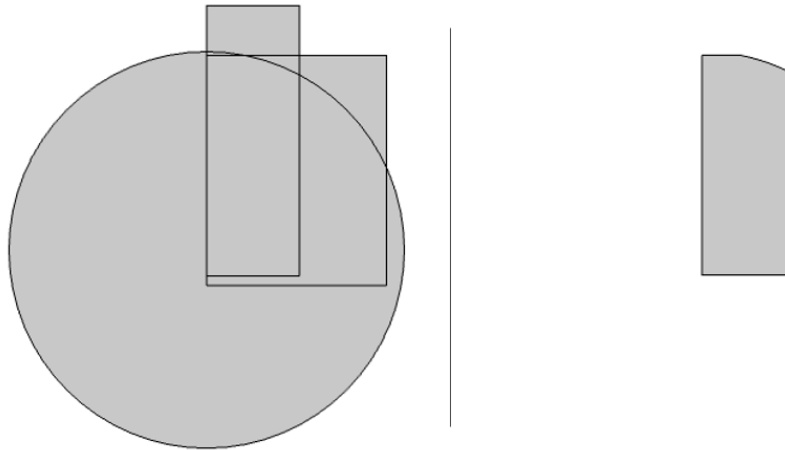


Ilustración 7: *Intersección de formas simples para la formación del interior del recipiente*

Siguiendo este proceso para el resto del modelo, llegaríamos a la forma final, en la que se observa en dos dimensiones una mitad del modelo que, revolucionada, daría lugar al diseño indicado en el apartado anterior:

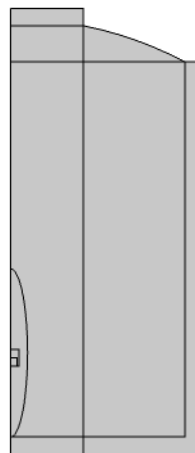


Ilustración 8: *Construcción final del modelo*

Se observa claramente la inclusión de la aorta y del cubo contenedor en una zona distinta del modelo diseñado originalmente, lo cual se debe a que, como se verá más adelante, se ha escogido una ubicación que recibiera la mayor intensidad sonora posible. De igual forma, se observa que hay una elipse en la parte baja del recipiente, la cual se corresponderá con la zona focal de las ondas de ultrasonidos, zona que será la que utilizaremos como punto de conversión entre la energía acústica y la energía calorífica.

3. **Materialización de las uniones:** será importante, al finalizar todo este proceso de construcción, materializar las uniones que forman todas las secciones creadas ya que, de lo contrario, podríamos tener problemas a la hora de trabajar con el modelo completo.

3.3 Definición de los materiales que forman parte del modelo

A todas las secciones definidas en el modelo les tendremos que asignar unas propiedades físicas para que el resolvidor pueda aplicar las ecuaciones propias del sistema físico que queremos estudiar. Estas propiedades podrían ser definidas una a una desde cero, o podríamos tomar materiales ya definidos en la librería del programa y ajustar aquellos parámetros que no se correspondan exactamente con lo que estamos utilizando nosotros:

- **Músculo plano:** será el material con el que se defina la aorta. Al tratarse de un vaso sanguíneo, sus fibras se parecen más a las de un músculo liso cuyos movimientos son involuntarios y de contracción lenta que a las de un músculo estriado cuya funcionalidad se fundamenta en la voluntariedad y la contracción rápida.

»	Propiedad	Variable	Valor	Unidad	Grupo de propiedad
✓	Capacidad térmica con presión constante	Cp	3421[J/(kg·K)]	J/(kg·K)	Básico
✓	Densidad	rho	1090[kg/m ³]	kg/m ³	Básico
✓	Conductividad térmica	k_iso ; kii = k_iso, kij = 0	0.49[W/(m·K)]	W/(m·K)	Básico
✓	Velocidad del sonido	c	1585	m/s	Básico

Ilustración 9: *Propiedades del material seleccionado para la aorta* [15]

- **Etilenglicol:** es el fluido que servirá como transmisor de las ondas por su alta viscosidad y bajo punto de solidificación, lo que nos permitirá evitar que se solidifique a bajas temperaturas (recordemos que buscamos calentar una sustancia criopreservada), siendo esta un inconveniente por la reflexión que produciría (una mayor reflexión implica una mayor disipación de la potencia acústica por la atenuación de la onda de ultrasonidos).

»	Propiedad	Variable	Valor	Unidad	Grupo de propiedad
✓	Capacidad térmica con presión constante	Cp	Cp(T)	J/(kg·K)	Básico
✓	Densidad	rho	rho(T)	kg/m ³	Básico
✓	Conductividad térmica	k_iso ; kii = k_iso, kij = 0	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 10: *Propiedades del material seleccionado para el fluido de transmisión* [16]

- **Hielo:** será el material definido para el bloque congelado de aorta. En el laboratorio se utiliza realmente una solución isotónica que reduce la creación de cristales en el proceso de cristalización, situación que no va a poder simular nuestro programa. Por tanto, hemos optado por utilizar un material cuyas propiedades refractarias, de densidad, conductividad y capacidad térmica sean iguales a las de la solución congelada antes citada, de tal forma que los resultados de la evolución de la temperatura sean lo más reales posibles.

»	Propiedad	Variable	Valor	Unidad	Grupo de propiedad
⚠	Coefficiente de Poisson	nu		1	Módulo de Young y coeficiente de Poisson
✓	Conductividad térmica	k_iso ; kii = k...	k_solid_1(T[1/K]...	W/(m·K)	Básico
✓	Capacidad térmica con presión constante	Cp	C_solid_1(T[1/K]...	J/(kg·K)	Básico
✓	Densidad	rho	rho_solid_1(T[1/...	kg/m ³	Básico
✓	Velocidad del sonido	c	5130	m/s	Básico
	Propiedad local Syt	Syt	Syt_solid_tensio...	Pa	Propiedades locales
	Coefficiente de expansión térmica	alpha_iso ; al...	(alpha_solid_1(T...	1/K	Básico
	Propiedad local HC	HC	HC_solid_1(T[1/...	J/(mol·K)	Propiedades locales
	Propiedad local VP	VP	VP_solid_1(T[1/...	Pa	Propiedades locales
	Propiedad local TD	TD	TD_solid_1(T[1/...	m ² /s	Propiedades locales
	Coefficiente tangencial de expansión térmica	alphan_iso...	CTE_solid_1(T[1...	1/K	Expansión térmica
	Deformación térmica	dL_iso ; dLii...	(dL_solid_1(T[1/...	1	Expansión térmica
	Coefficiente tangencial isotrópico de expansión térm...	alphanlso	CTE_solid_1(T[1...	1/K	Expansión térmica
	Deformación térmica isotrópica	dLiso	(dL_solid_1(T[1/...	1	Expansión térmica
	Módulo de Young	E	E(T[1/K])[Pa]	Pa	Módulo de Young y coeficiente de Poisson

Ilustración 11: *Propiedades del material seleccionado para el bloque congelado* [17]

- **Plástico acrílico:** será el material del que se defina la tapa del orificio del transductor. Realmente no tendrá mucha relevancia en la simulación, pero de esta forma mantenemos la máxima coherencia posible entre el modelo del laboratorio y el experimental:

Propiedad	Variable	Valor	Unidad	Grupo de propiedad
<input checked="" type="checkbox"/> Capacidad térmica con presión constante	Cp	1470[J/(kg*K)]	J/(kg·K)	Básico
<input checked="" type="checkbox"/> Densidad	rho	1190[kg/m^3]	kg/m^3	Básico
<input checked="" type="checkbox"/> Conductividad térmica	k_iso ; kii = k_iso...	0.18[W/(m*K)]	W/(m·K)	Básico
<input checked="" type="checkbox"/> Velocidad del sonido	c	2350	m/s	Básico
Coefficiente de expansión térmica	alpha_iso ; alpha...	7.0e-5[1/K]	1/K	Básico
Módulo de Young	E	3.2e9[Pa]	Pa	Módulo de Young y coeficiente de Poisson
Coefficiente de Poisson	nu	0.35	1	Módulo de Young y coeficiente de Poisson

Ilustración 12: *Propiedades del material seleccionado para la cubierta del orificio* [18]

- **Vidrio:** el recipiente que contendrá todo el sistema no podrá ser de plástico porque, al alcanzar temperaturas tan altas en el momento de la aplicación de las ondas de ultrasonidos, puede llegar a deformarse. Por ello, se ha optado por trabajar en el laboratorio y en la simulación con vidrio de borosilicato:

Propiedad	Variable	Valor	Unidad	Grupo de propiedad
<input checked="" type="checkbox"/> Capacidad térmica con presión constante	Cp	C(T[1/K])[J/(kg*K)]	J/(kg·K)	Básico
<input checked="" type="checkbox"/> Densidad	rho	2230	kg/m^3	Básico
<input checked="" type="checkbox"/> Velocidad del sonido	c	5190	m/s	Básico
<input checked="" type="checkbox"/> Conductividad térmica	k_iso ; kii = k_iso, kij = 0	1.2	W/(m·K)	Básico
Propiedad local HC	HC	HC(T[1/K])[J/(mol*K)]	J/(mol·K)	Propiedades locales

Ilustración 13: *Propiedades del material seleccionado para el vaso de precipitado* [19]

3.4 Inclusión de las ecuaciones físicas principales del sistema a modelar

Dentro de este apartado, se definirá por completo el sistema físico con el que trabajaremos. Como se comentó en el apartado de Introducción, esta versión de COMSOL[®] permite trabajar con dos sistemas físicos a la vez. En nuestro caso, esto será de gran ayuda, ya que queremos combinar el comportamiento de las ondas de ultrasonido al ser producidas en el transductor y propagadas a través del etilenglicol hasta llegar a la aorta, con la conversión en dicha aorta de la energía sonora en energía calorífica, provocando esta última un cambio de las propiedades del entorno que conllevan, a su vez, a una modificación en la propagación de la onda antes citada. De esta forma, estaríamos en un proceso de iteración constante tras el que, transcurrido un tiempo determinado de simulación, el programa convergería en la solución que perseguimos.

Para desarrollar este apartado, vamos a explicar ambas físicas [20] [21] [22]:

3.4.1 Módulo de presión acústica en el dominio de la frecuencia

Con este módulo podremos identificar la distribución del campo de intensidades acústicas que aparecen en el sistema ante la actuación del transductor. Su fundamento físico es el siguiente [1]:

La presión acústica queda definida en COMSOL[®] mediante la ecuación de Helmholtz (1), la cual representa una forma independiente de la ecuación de onda:

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

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

$$p_t = p + p_b \quad (3)$$

$$k_{eq}^2 = \left(\frac{\omega}{c_c}\right)^2 \quad (4)$$

$$c_c = \frac{\omega}{k} \quad (5)$$

$$k = \frac{\omega}{c} - i \cdot \ln(10) \cdot \frac{\alpha}{20} \quad (6)$$

Siendo:

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 mediante la aplicación de la técnica de separación de variables para reducir la complejidad del análisis. [23] [24] A continuación, se desarrolla la deducción partiendo de la ecuación de onda (7), dependiente de una variable espacial (r) y de una variable temporal (t):

$$\left(\nabla^2 - \frac{1}{c^2} \frac{\delta^2}{\delta t^2}\right) u(r, t) = 0 \quad (7)$$

Separación de variables, siendo la función de onda $u(r, t)$ separable:

$$u(r, t) = A(r)T(t) \quad (8)$$

Sustituyendo y simplificando se obtiene:

$$\frac{\nabla^2 A}{A} = \frac{1}{c^2 T} \frac{d^2 T}{dt^2} \quad (9)$$

$$\frac{\nabla^2 A}{A} = -k^2 \quad (10)$$

$$\frac{1}{c^2 T} \frac{d^2 T}{dt^2} = -k^2 \quad (11)$$

Donde la ecuación (10) depende exclusivamente de la variable espacial y la ecuación (11) depende del tiempo. Reorganizando la ecuación (10) se obtiene la ecuación de Helmholtz:

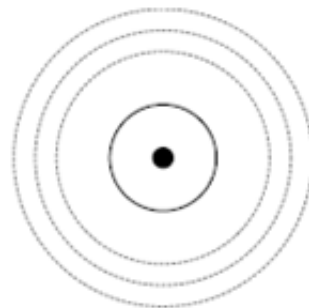
$$\nabla^2 A + k^2 A = (\nabla^2 + k^2)A = 0 \tag{12}$$

En el caso de la ecuación (1), se trata de la ecuación de Helmholtz no homogénea (11). Sin embargo, debido a que las fuentes monopulares y dipolares se considerarán nulas como se explicará más adelante en este apartado, la ecuación (1) y (10) son equivalentes para $A = \frac{p_t}{\rho_c}$.

$$\nabla^2 A(x) + k^2 A(x) = -f(x) \tag{13}$$

En la ecuación (1) se observan dos tipos de fuentes acústicas, fuente acústica monopolar y fuente acústica dipolar. Una fuente acústica se denomina monopolar si excita solo un modo, es decir, una fuente monopolar genera una onda compresional en el fluido que la rodea formando un patrón que se expande en sentido radial y es axialmente asimétrico.

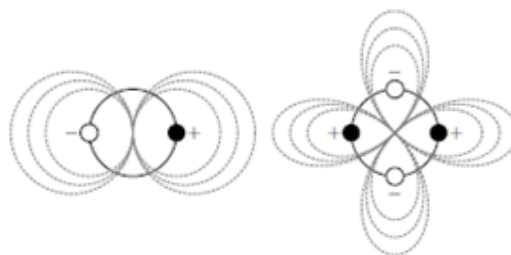
Una fuente monopolar puede modelarse con una fuente puntual acústica que exhibe un patrón de simetría esférica de la radiación que emite.



MONOPOLO
n = 0

Ilustración 14: Modelo de fuente acústica monopolar

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 en oposición de fase (signo contrario). Esto ocurre siempre que la distancia entre las fuentes monopulares sea mucho menor que la longitud de onda de las emisiones.



DIPOLO **CUADRUPOLO**
n = 1 **n = 2**

Ilustración 15: Modelo de fuente acústica dipolar y cuadrupolar

Por lo tanto, la fuente acústica dipolar consiste en dos fuentes monopulares con distinto signo, y las fuentes cuadrupolares en cuatro fuentes monopulares situadas con un desfase de $\pi/2$, tal y como se muestra en la Ilustración 12. [25]

Dado que ninguna de estas fuentes se ajusta al modelo que se plantea, para el estudio a realizar se considera que

no existen fuentes monopares y dipolares, si no que la fuente acústica la formaran los transductores del sistema. Los transductores son simulados en el software como superficies con forma de semielipsoide de revolución que sufren un desplazamiento normal a su posición a alta frecuencia. Obedeciendo a la ecuación (14) se aplica sobre estas superficies un desplazamiento normal, que genera los ultrasonidos causantes del calentamiento.

$$-n \cdot \left(-\frac{1}{\rho_c} (\nabla p_t - q_d) \right) = (i \cdot \omega)^2 \cdot d_n \quad (14)$$

Donde:

n es el vector normal a la superficie.

d_n es el desplazamiento normal del transductor.

Por lo tanto, para actuar sobre el movimiento de los transductores que generan los ultrasonidos, se debe modificar en COMSOL[®] el parámetro correspondiente al desplazamiento [26]. Este varía en función de la frecuencia que se quiera obtener y de la potencia del transductor, que como se vio en la ecuación (1) tiene relación directa con la intensidad de los ultrasonidos, para un medio dado, tal y como se observa en las ecuaciones (15) y (16).

$$u_0 = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot d_n \quad (15)$$

$$I = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c \cdot u_0^2 \quad (16)$$

$$I = \frac{P}{A} \quad (17)$$

Siendo:

u_0 Velocidad instantánea de la partícula.

f Frecuencia.

I Intensidad acústica sobre la superficie del transductor

P Potencia del transductor

A Área del transductor

Para las zonas en las que se consideran contornos rígidos al sonido, COMSOL[®] resuelve la ecuación (18), la cual es una simplificación de la ecuación (7) cuando el desplazamiento normal es nulo.

$$-n \cdot \left(-\frac{1}{\rho_c} (\nabla p_t - q_d) \right) = 0 \quad (18)$$

Para la correcta definición de este sistema físico tendremos que caracterizar varias situaciones:

1. **Presiones acústicas:** incluirá las ecuaciones arriba desarrolladas que modelan el comportamiento en las diferentes secciones (definidas con las propiedades previamente indicadas) teniendo en cuenta la temperatura de dicha sección, su presión absoluta y el tipo de modelo de presiones con el que trabajaremos (en nuestro caso hemos definido uno propio teniendo en cuenta el coeficiente de atenuación de cada tipo de material [4,5,6,7,8])
2. **Valores iniciales:** se indicarán las presiones iniciales de todas las secciones que conforman el modelo. En nuestro caso, ninguna de ellas estará sometida a una presión externa inicial.
3. **Simetría axial:** al haber definido el modelo como un componente en dos dimensiones con simetría

axial, tendremos que indicar cuál es el eje de revolución que generará el modelo completo.

4. **Radiación de onda cilíndrica:** al propagarse las ondas por todo el recipiente, es necesario indicarle al programa cómo se comportará en los límites del modelo indicado, de tal forma que la simulación sea lo más real posible. En nuestro caso, al tratarse de un recipiente cilíndrico, tendremos que asignar ese tipo de radiación en los límites exteriores.
5. **Desplazamiento normal:** para replicar el comportamiento del transductor, tendremos que asignarle a uno de los contornos exteriores la capacidad de desplazarse normalmente, para así producir las ondas de ultrasonidos a la frecuencia indicada. La amplitud de este desplazamiento vendrá determinada por un parámetro definido en las variables globales llamado *Amplitud*.

Para calcular este desplazamiento, utilizaremos las ecuaciones (15, 16 y 17).

3.4.2 Módulo de transferencia de biocalor

Ya que estos experimentos están orientados al recalentamiento de órganos criopreservados, será interesante definir la física del sistema con la posibilidad de incluir elementos con características biológicas.

El fundamento físico de este módulo es el siguiente [1]:

Para el módulo correspondiente a la transferencia de calor, el programa resuelve las ecuaciones (19) y (20).

$$\rho \cdot c_p u \cdot \nabla T + \nabla \cdot q = Q + Q_{ted} \quad (19)$$

$$q = -k \nabla T \quad (20)$$

Siendo:

c_p Capacidad calorífica a presión constante

u Vector de velocidad del fluido

T Temperatura

q Flujo de calor conductivo

Q Fuente de calor

Q_{ted} Amortiguación termoelástica

k Conductividad térmica

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

Para cualquier material sometido a una vibración, el campo de tensiones causa un cambio en la energía interna, de modo que la región comprimida aumenta su temperatura (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 [27] [28]:

$$\rho \cdot c_p u \cdot \nabla T + \nabla \cdot q = Q + Q_{ted} + Q_{vd} \quad (21)$$

Siendo:

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

De la misma forma que ocurría con el módulo de presiones acústicas, será necesario caracterizar este estudio:

1. **Tejidos biológicos:** en nuestro caso, solo será necesario definir la aorta como tal, indicando su temperatura interior.
2. **Sólidos y fluido:** el resto de las sustancias que intervienen en el modelo habrán de ser definidas tal y cómo son para, de esta forma, simular convenientemente el comportamiento de su interacción mútua (y con la aorta también).
3. **Simetría axial:** en este paso sucede igual que con el módulo de presión acústica.
4. **Valores iniciales:** al igual que hicimos en el módulo anterior, tendremos que definir las temperaturas iniciales de cada uno de los elementos del sistema. Para nuestro modelo, la temperatura del bloque congelado y de la aorta será de 133 K, la del etilenglicol será de 225 K, y la del recipiente y la cubierta del transductor será la temperatura ambiente, 293 K. Todas ellas serán incluidas con parámetros definidos en la lista de variables globales.
5. **Fuente de calor:** para conseguir la conversión de la energía acústica en energía calorífica, tendremos que definir una función que realice dicha conversión. En este caso, el origen será la densidad de potencia producida en el módulo anterior, denotado por la expresión: $acpr2.Q_{pw}$.

Es importante destacar que para cada una de las secciones no es necesario incorporar un módulo nuevo, basta con incluir todas las secciones en el dominio del módulo y luego ir definiendo diferentes presiones acústicas, valores iniciales, desplazamientos normales, temperaturas... Y ya el propio software se encargará de reemplazar las secciones en cada caso y calcular la interacción que se genera entre ellas.

3.5 Mallado del modelo

Para la optimización del modelo en el compromiso entre precisión y velocidad de simulación, definiremos dos mallas diferentes, una para el módulo de sonido y otro para el de calor:

- **Sonido:** tendrá un tamaño máximo de retícula en función de la frecuencia de la onda, con lo que la definición del mallado será muy alta
- **Calor:** en este caso nos interesará mucha definición en la zona en la que se realiza la conversión de potencia, mientras que en el resto del modelo podremos disminuir esa precisión en aras de conseguir una mayor velocidad de simulación.

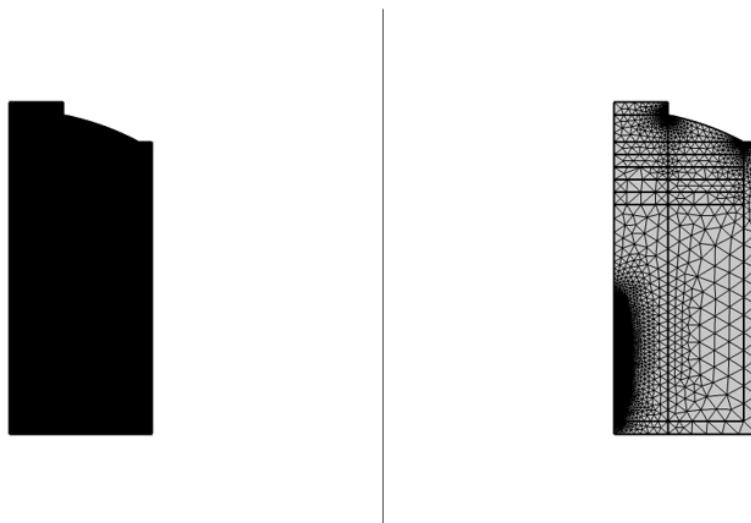


Ilustración 16: *Mallado de sonido frente a mallado de calor*

3.6 Definición de un gradiente de viscosidades

Como indicamos en el apartado de Introducción, tanto este apartado como el siguiente, son mejoras introducidas al modelo ya definido y completamente funcional.

En el caso de la inclusión de un gradiente de viscosidades, buscamos disminuir al máximo posible la reflexión producida por el cambio de viscosidad (recordamos que la inclusión de un fluido viscoso en lugar de aire o hielo se debió a esta misma causa), permitiendo así que se disipe menos energía sonora en su propagación.

Como se observa en la *Ilustración 7*, la viscosidad dinámica del etilenglicol es función de la temperatura, siendo este más viscoso cuanto más frío está, y menos cuando está a mayor temperatura (es inversamente proporcional al aumento de la temperatura). Sabiendo esto, definiémos varias secciones en el tercio superior del fluido, correspondientes a las distintas fases de viscosidad, haciendo efectiva dicha diferencia con una variación progresiva de 10 grados de temperatura. Como la aorta está en estado sólido, el etilenglicol más viscoso será el que esté junto a esta, mientras el que esté más cerca del transductor será el menos viscoso.

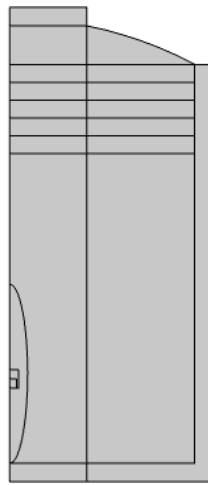


Ilustración 17: Geometría para el gradiente de viscosidades

TempEtilenglicolMuyPocoViscoso	275[K]	275 K
TempEtilenglicolPocoViscoso	265[K]	265 K
TempEtilenglicolMedioViscoso	255[K]	255 K
TempEtilenglicolViscoso	245[K]	245 K
TempEtilenglicolMuyViscoso	235[K]	235 K
TempEtilenglicol	225[K]	225 K

Ilustración 18: Temperaturas asignadas a las diferentes secciones del modelo con gradiente de viscosidades

3.7 Generación de una función de forma específica de la potencia aplicada

Siguiendo con los subobjetivos específicos de mejora, en este apartado mostraremos la forma de onda aplicada a la función de potencia para conseguir un menor gradiente de temperatura en los puntos extremos de la aorta.

El objetivo último de la aplicación de esta técnica busca el calentamiento rápido, estable y homogéneo de un tejido que ha sido criopreservado, por tanto, hemos probado diferentes formas de onda en la función de transformación de la potencia acústica en potencia calorífica (función que representa cómo estamos calentando el foco), hasta conseguir lograr el resultado que mejor se adecue a la premisa antes indicada.

Finalmente, hemos optado por esta forma de onda:

$$acpr2.Q_pw*(sen1(t[1/s])+2*rm1(t[1/s])-2*rect1(t[1/s]))$$

Como se observa, está compuesta por funciones más simples:

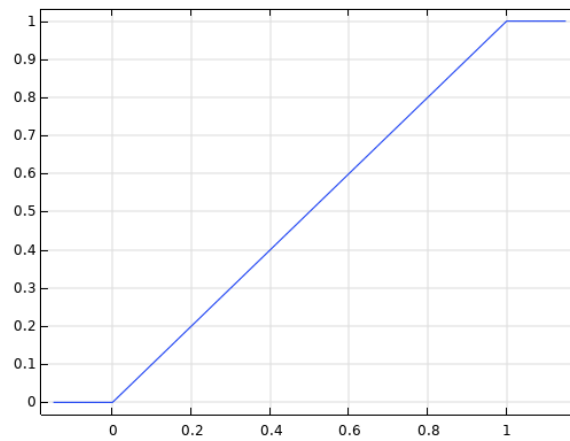


Ilustración 19: *Rampa r_{ml}*

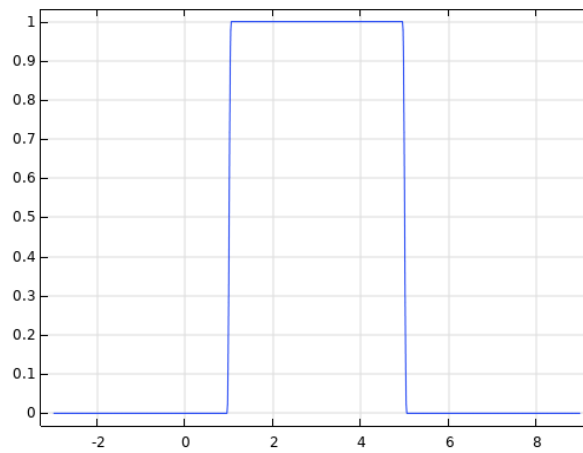


Ilustración 20: *Onda rectangular $rect_l$*

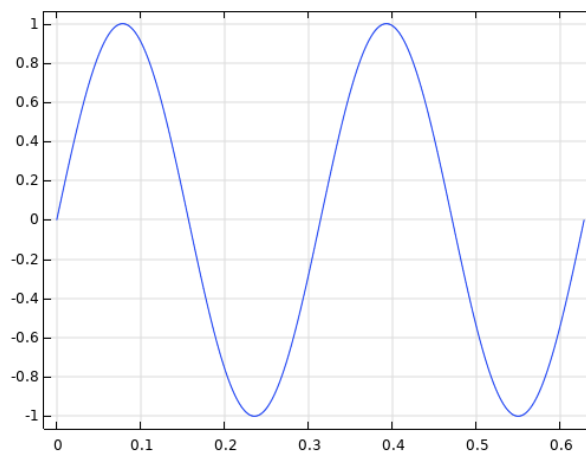


Ilustración 21: *Onda sinusoidal sen_l*

4 RESULTADOS

Una vez todo lo anterior se ha completado, realizaremos el estudio del modulo del sonido en el dominio de la frecuencia, y del módulo de la transferencia de biocalor para un intervalo temporal determinado.

Para el estudio de la presión acústica utilizaremos una frecuencia de 2 MHz para poder suministrar una potencia mayor al foco; mientras que, para el estudio de la transferencia de calor, evaluaremos el comportamiento del sistema durante el transcurso de 5 segundos (recordemos que el recalentamiento que buscamos debe proporcionarnos altas tasas de calentamiento).

4.1 Modelo final sin estabilización de potencia ni gradiente de viscosidades

Este modelo se corresponde con el cumplimiento de los objetivos marcados dentro del objetivo principal.

Para este modelo como para los siguientes, vamos a representar el gráfico de presiones acústicas (para determinar el grado de atenuación en cada caso), el de temperaturas (apreciar visualmente el comportamiento general del sistema), una gráfica que muestre la evolución en el tiempo de la temperatura en los contornos de la aorta (para observar los gradientes de la totalidad de la aorta), y otra con la temperatura de dos puntos extremos de esta (para poder analizar con precisión estos gradientes):

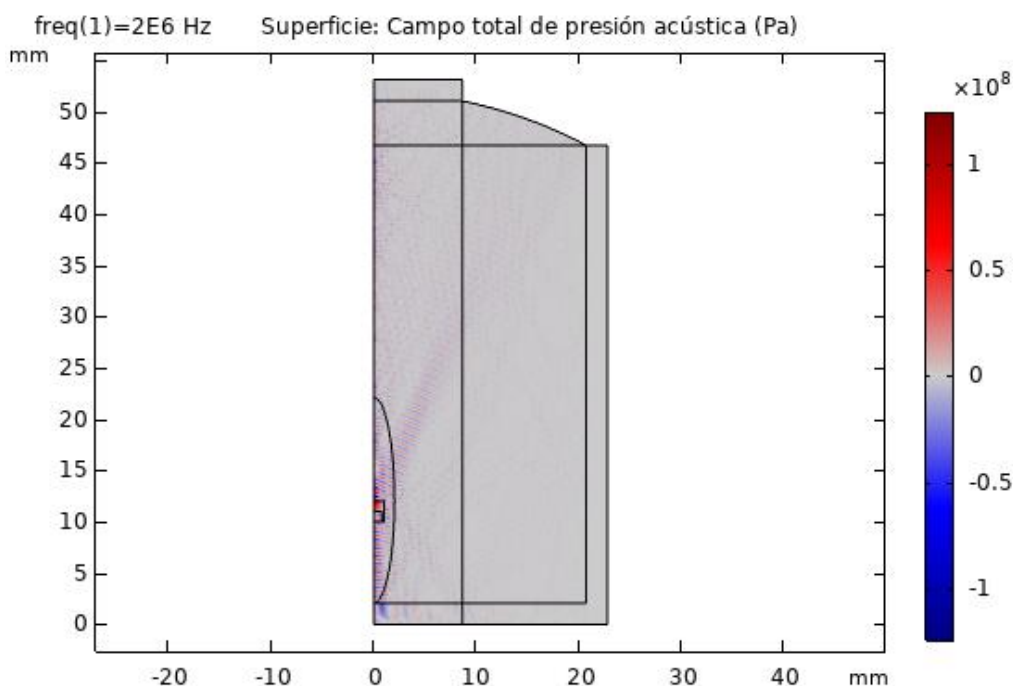


Ilustración 22: Campo de presiones acústicas para modelo sin estabilización ni gradiente de viscosidades

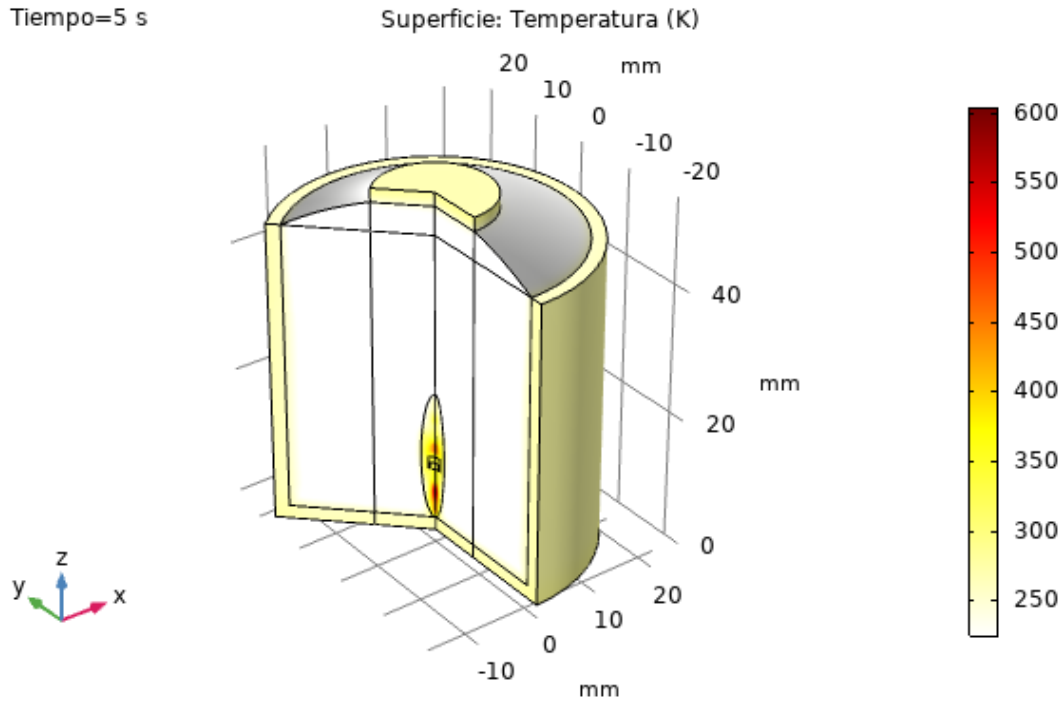


Ilustración 23: Superficie de temperaturas para modelo sin estabilización ni gradiente de viscosidades

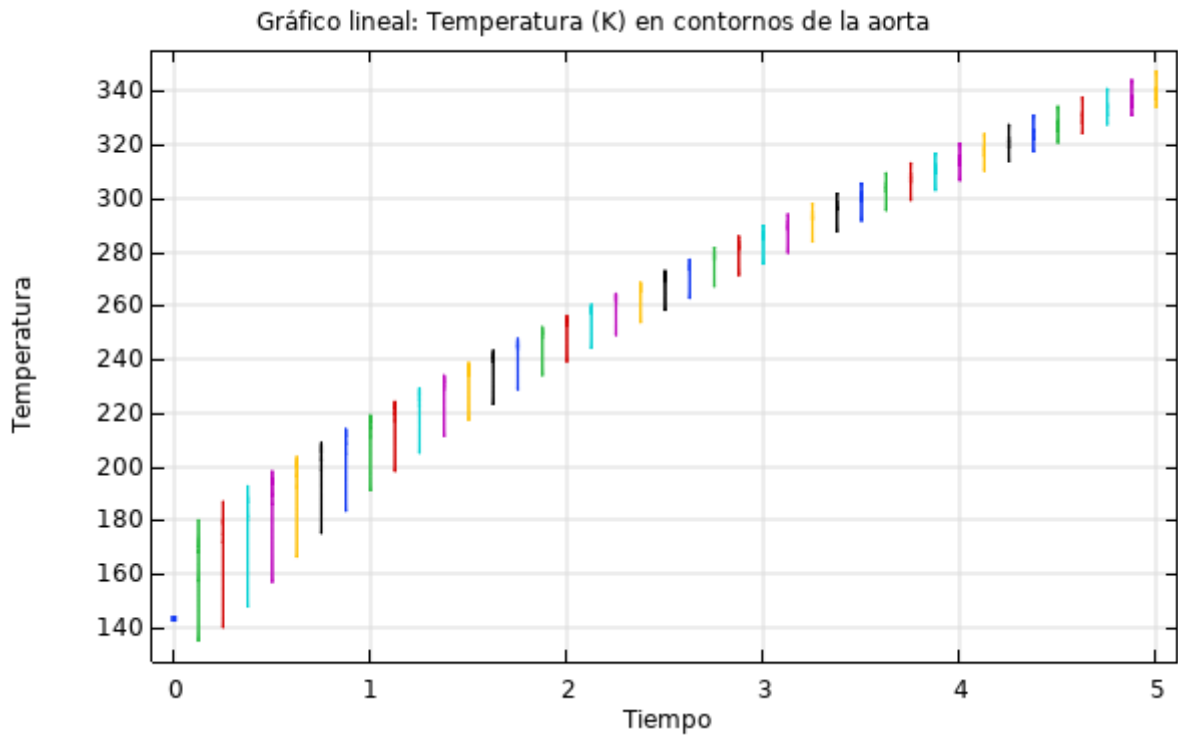


Ilustración 24: Gradiente de temperaturas en los contornos de la aorta para modelo sin estabilización ni gradiente de viscosidades

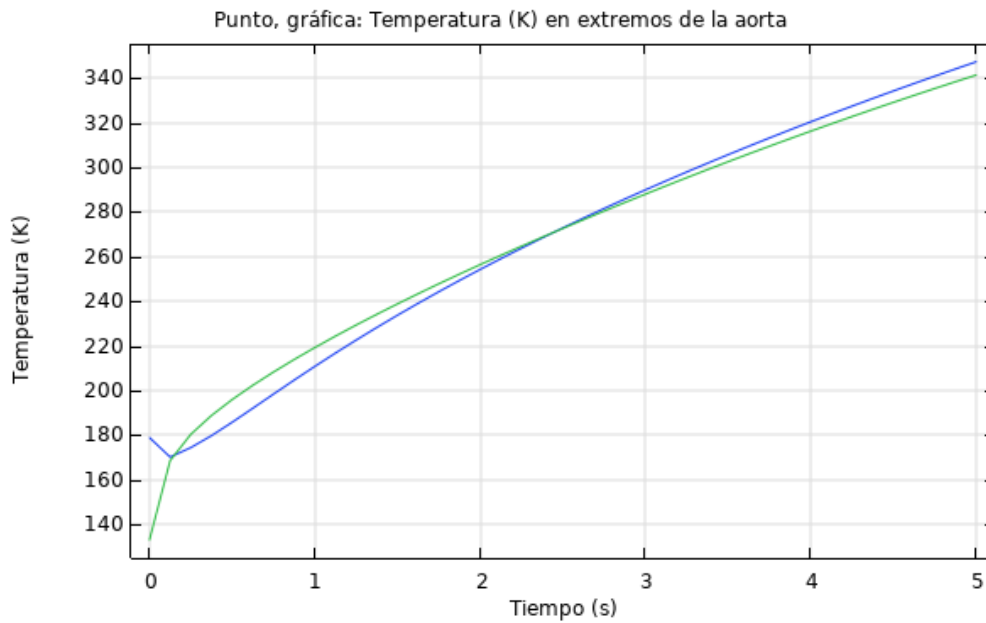


Ilustración 25: *Gradiente de temperaturas en los extremos de la aorta para modelo sin estabilización ni gradiente de viscosidades*

4.2 Modelo final sin estabilización de potencia y con gradiente de viscosidades

Este modelo incluye la primera de las dos mejoras planteadas: la de las secciones definidas para establecer el gradiente de viscosidades que disminuya la atenuación de la onda a su paso por el fluido de transmisión:

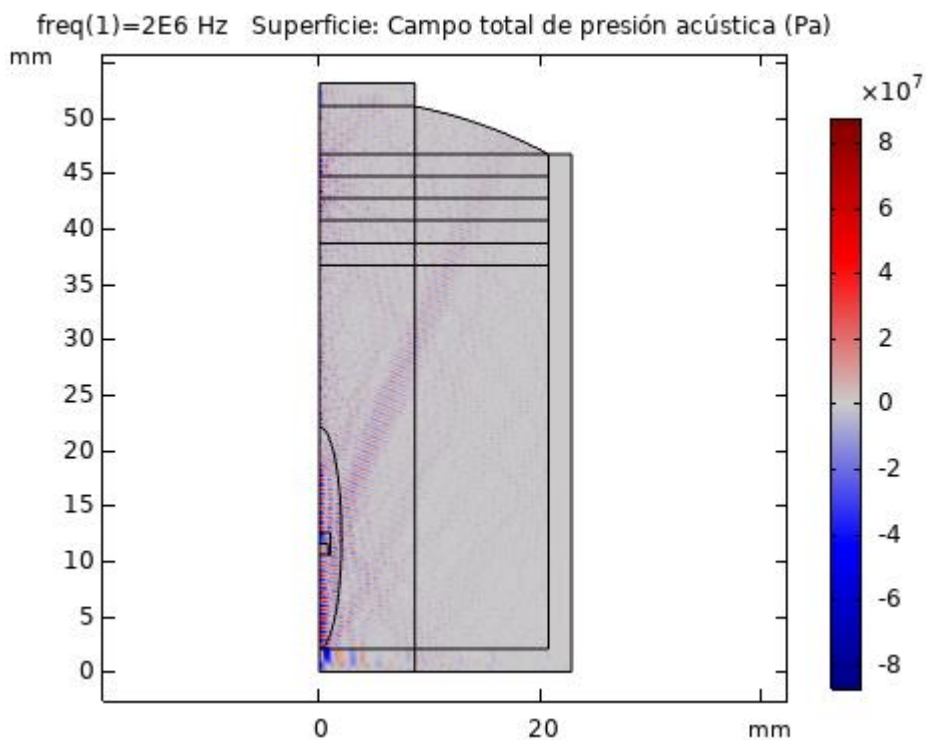


Ilustración 26: *Campo de presiones acústicas para modelo sin estabilización y con gradiente de viscosidades*

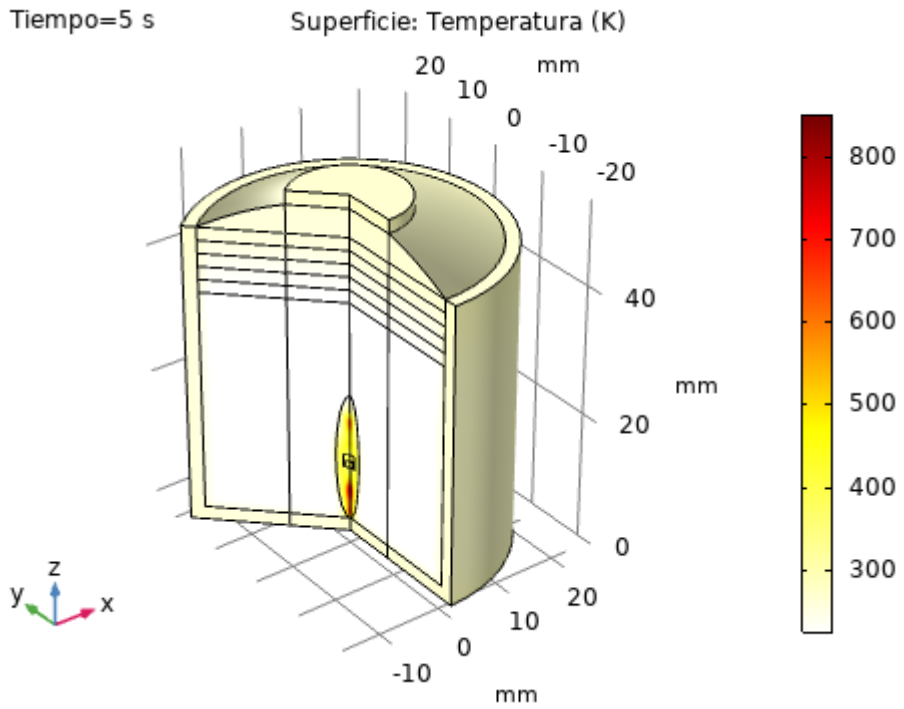


Ilustración 27: Superficie de temperaturas para modelo sin estabilización y con gradiente de viscosidades

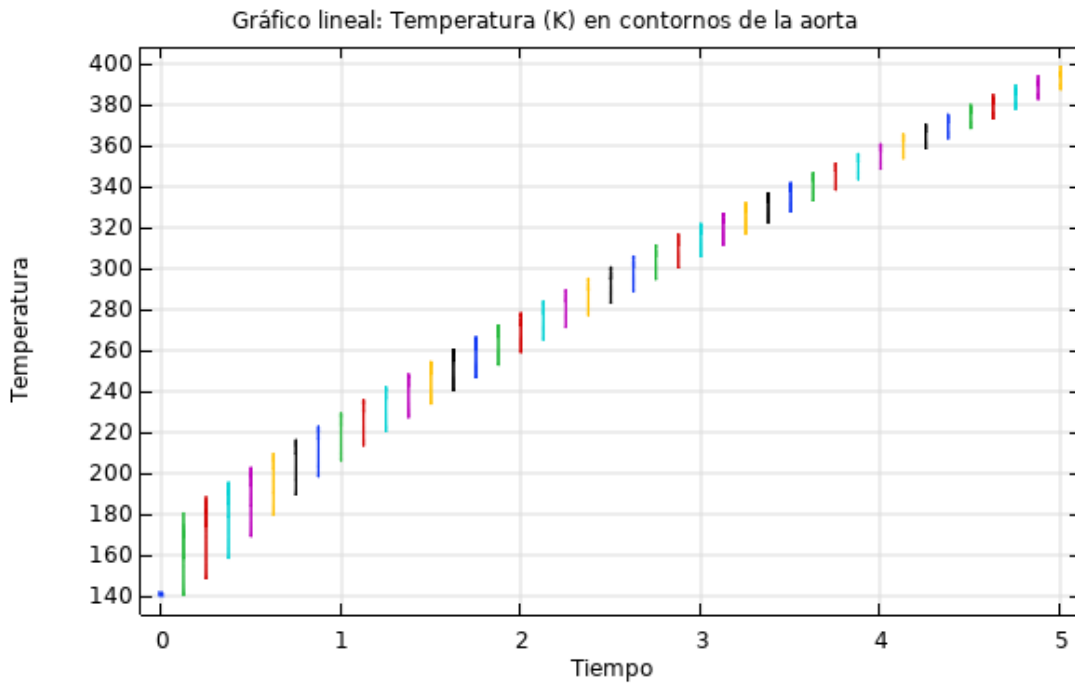


Ilustración 28: Gradiente de temperaturas en los contornos de la aorta para modelo sin estabilización y con gradiente de viscosidades

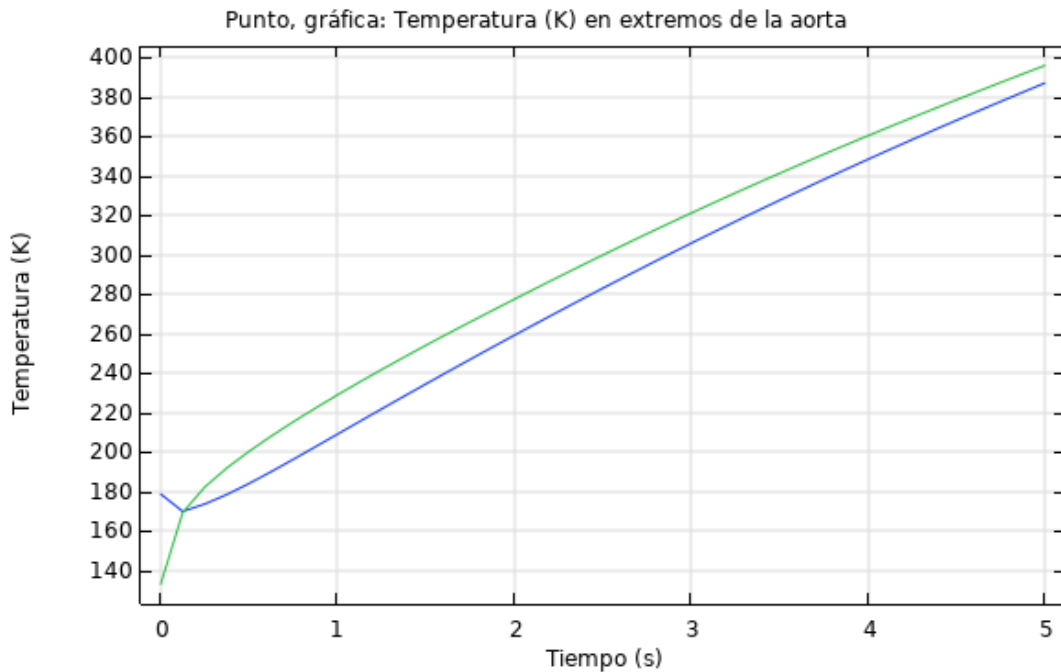


Ilustración 29: *Gradiente de temperaturas en los extremos de la aorta para modelo sin estabilización y con gradiente de viscosidades*

4.3 Modelo final con estabilización de potencia y con gradiente de viscosidades

Este modelo incluye las dos mejoras planteadas: la de las secciones definidas para establecer el gradiente de viscosidades que disminuya la atenuación de la onda a su paso por el fluido de transmisión y la modulación de la forma de onda de la función de conversión de la potencia acústica en potencia calorífica:

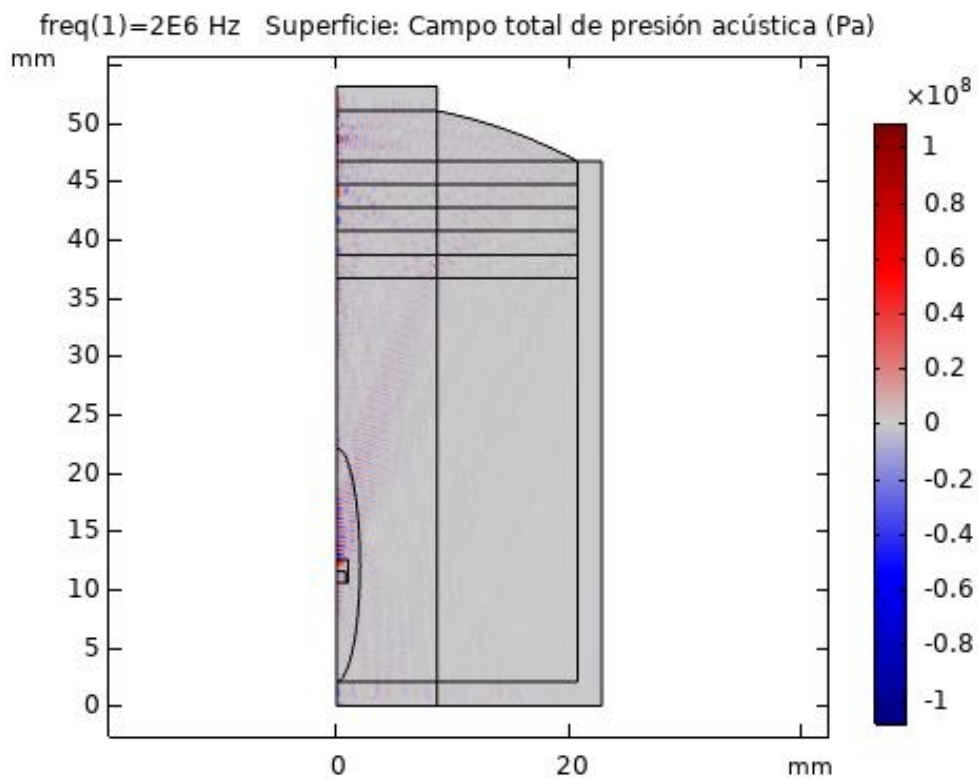


Ilustración 30: *Campo de presiones acústicas para modelo con estabilización y con gradiente de viscosidades*

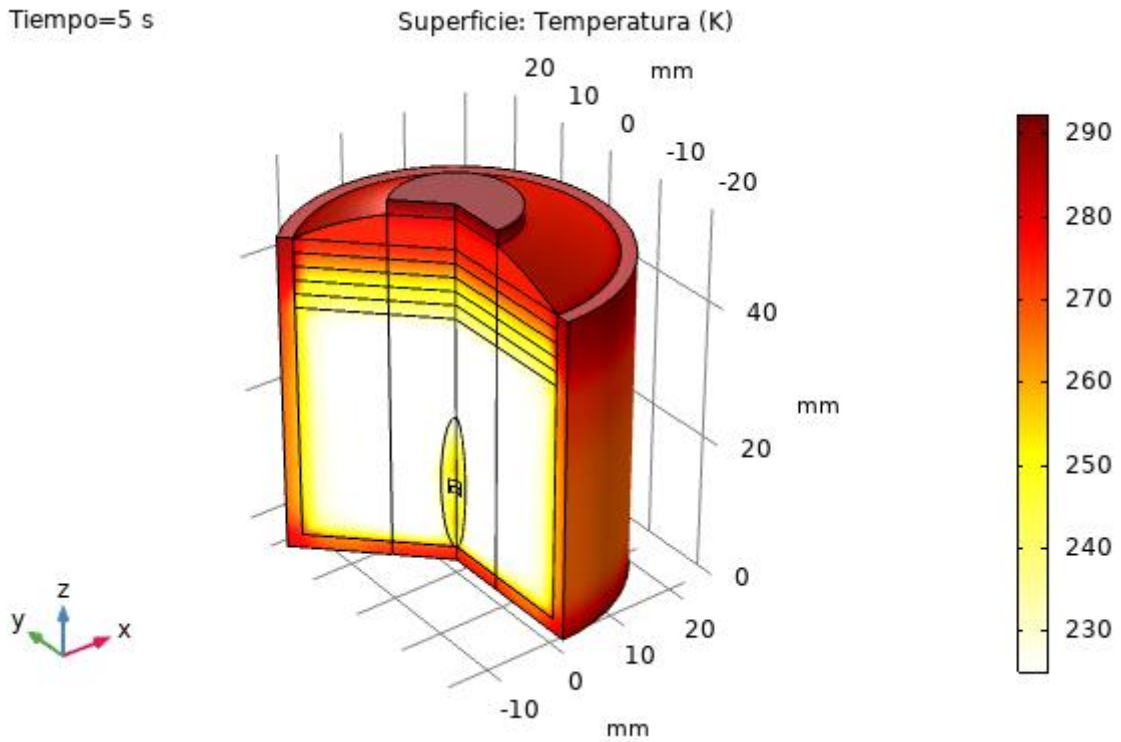


Ilustración 31: Superficie de temperaturas para modelo con estabilización y con gradiente de viscosidades

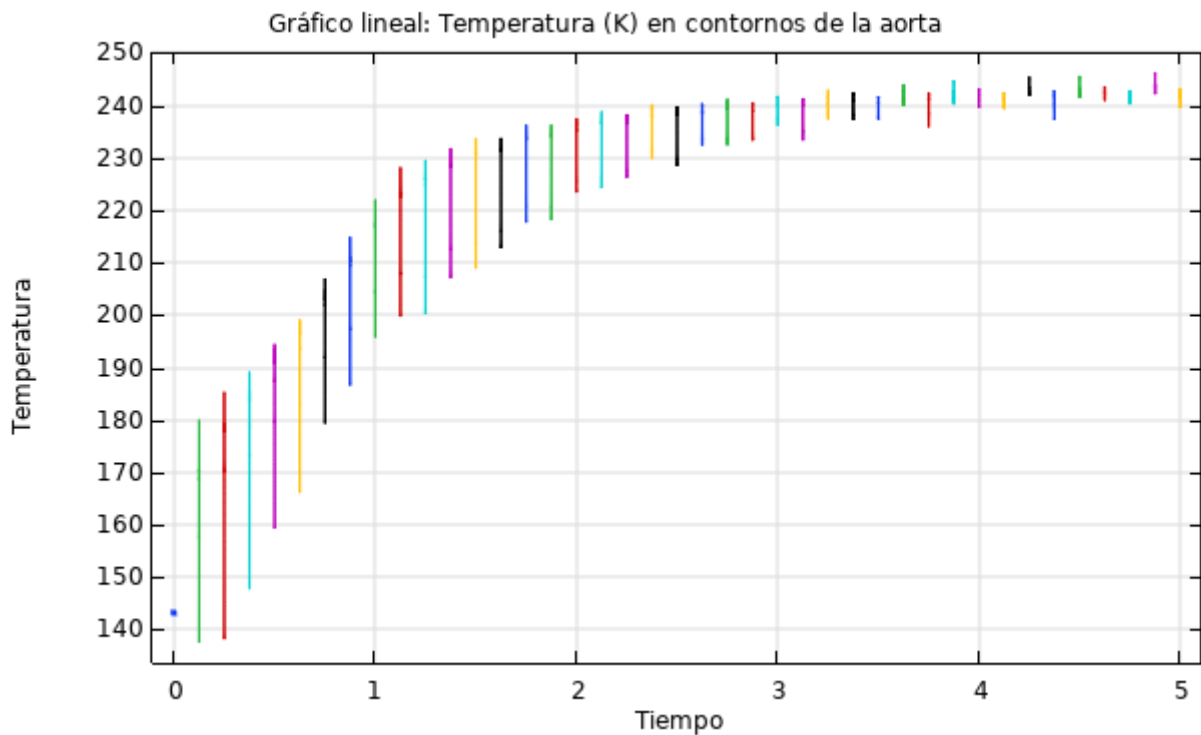


Ilustración 32: Gradiente de temperaturas en los contornos de la aorta para modelo con estabilización y con gradiente de viscosidades

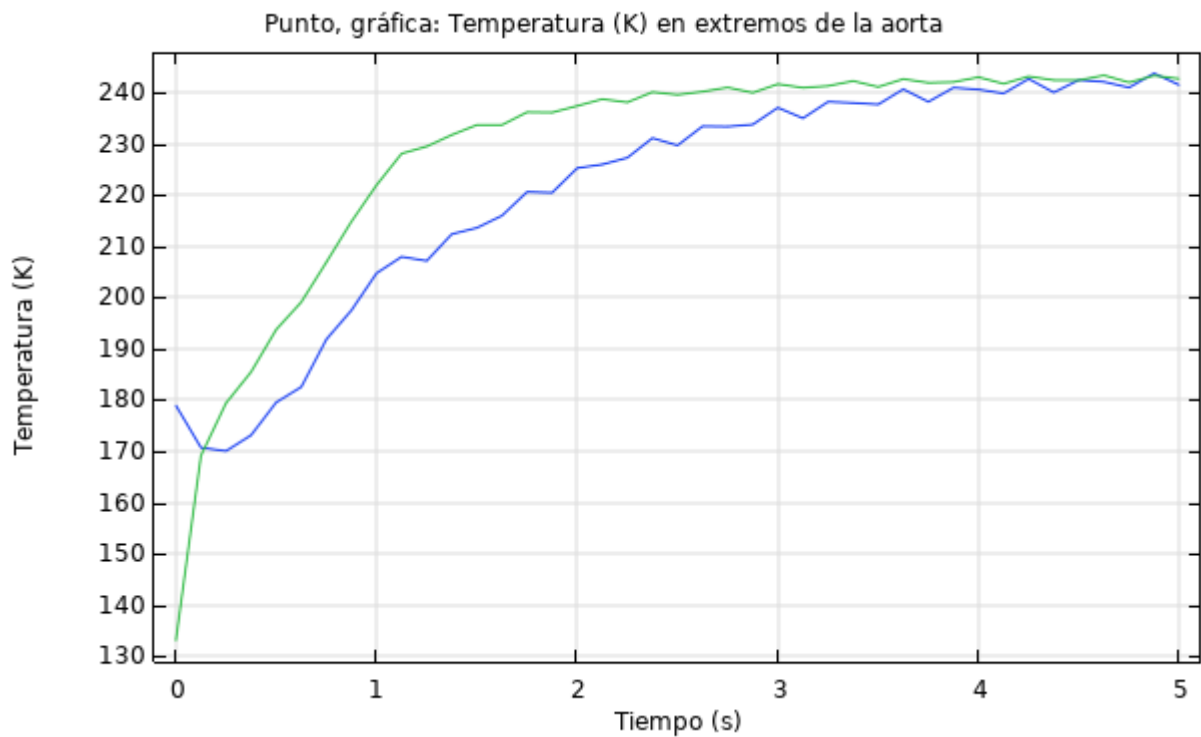


Ilustración 33: *Gradiente de temperaturas en los extremos de la aorta para modelo sin estabilización y con gradiente de viscosidades*

5 CONCLUSIONES

A la vista de las gráficas mostradas en el apartado de Resultados, vamos a extraer las conclusiones más destacables del estudio realizado en este trabajo:

5.1 Modelo final sin estabilización de potencia y sin gradiente de viscosidades

En los resultados obtenidos en este primer modelo (*Ilustraciones 22, 23, 24 y 25*), podemos comprobar cómo se alcanzan las temperaturas altas (340 K) necesarias para un correcto recalentamiento del tejido criopreservado a una velocidad igualmente alta (en tan solo 5 segundos). Sin embargo, en la última gráfica vemos como, en la mayoría de los instantes, encontramos una diferencia apreciable entre los puntos extremos de la aorta (5°) que tiende a ampliarse conforme aumenta el tiempo de simulación, hecho que queríamos evitar en este proceso de recalentamiento.

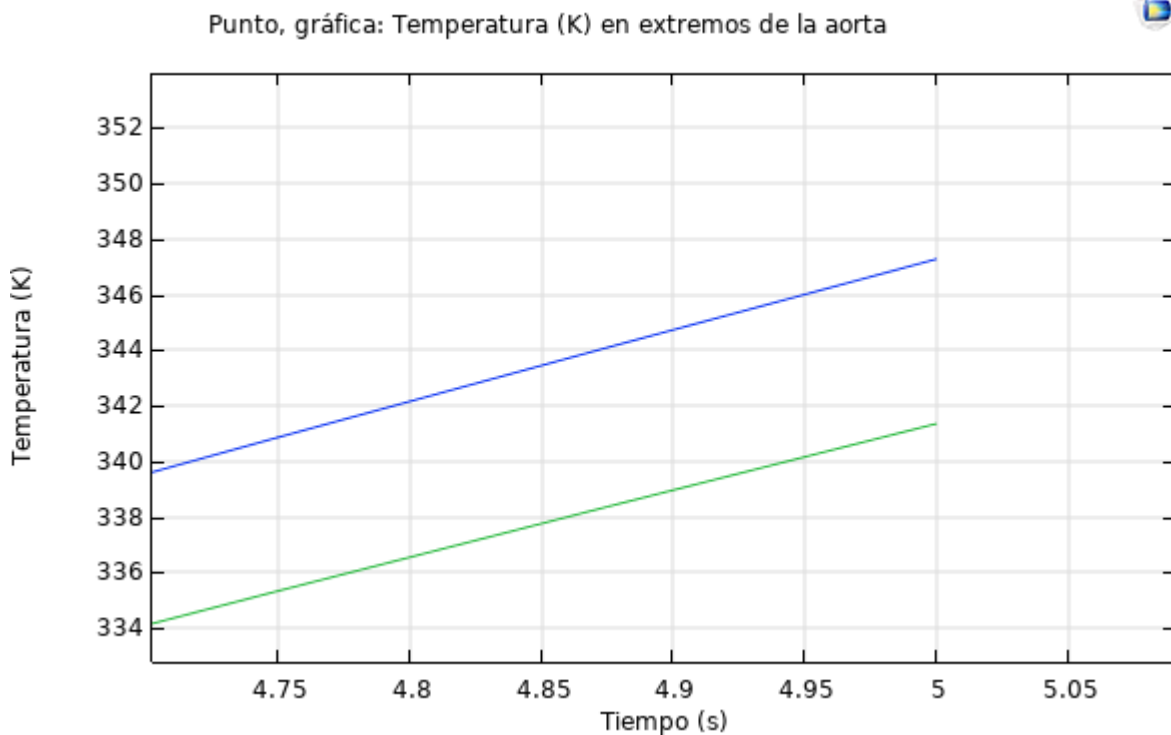


Ilustración 34: *Tendencia a la divergencia de temperaturas entre los puntos extremos de la aorta*

5.2 Modelo final sin estabilización de potencia y con gradiente de viscosidades

En los resultados obtenidos en este segundo modelo (*Ilustraciones 26, 27, 28 y 29*), podemos comprobar cómo se alcanzan temperaturas notablemente más altas que en el primer modelo, consecuencia de una menor atenuación de las ondas de ultrasonidos. Sin embargo, la distancia que encontramos entre los extremos de la aorta ha aumentado, hecho que queríamos minimizar durante el proceso de recalentamiento.

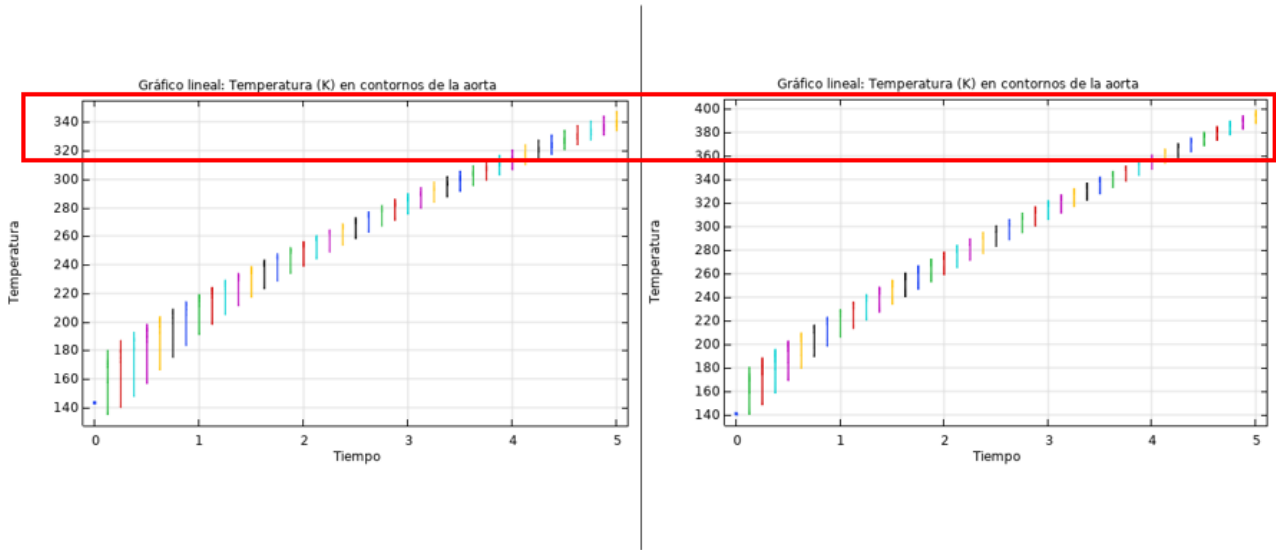


Ilustración 35: Aumento de la potencia transmitida al foco

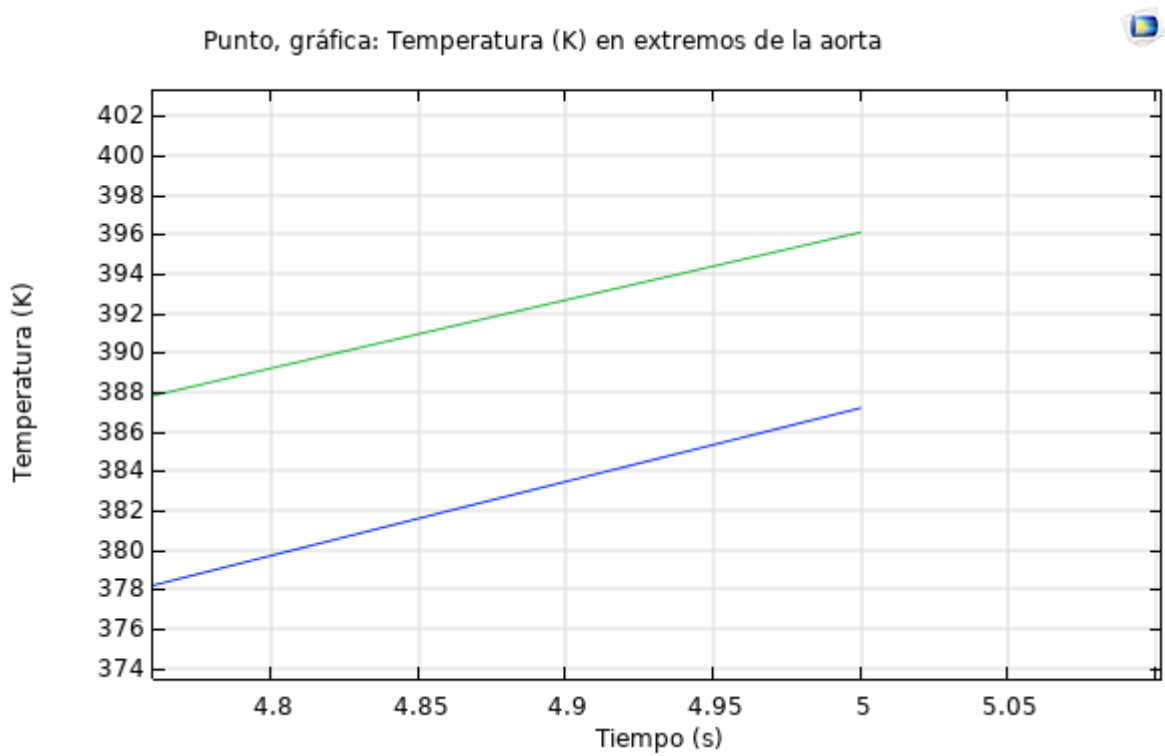


Ilustración 36: Aumento de la divergencia de la temperatura entre los extremos de la aorta con respecto al modelo 1

5.3 Modelo final con estabilización de potencia y con gradiente de viscosidades

En los resultados obtenidos en este último modelo (*Ilustraciones 30, 31, 32 y 33*), podemos comprobar cómo se alcanzan unas temperaturas más estables que en los dos modelos anteriores, aunque esto conlleve una disminución de la temperatura alcanzada (seguimos consiguiendo un calentamiento de 80°), lo cual se debe a la inclusión de una función de potencia con forma de rampa (calentamiento progresivo) y otra rectangular que elimina el calentamiento para que este dependa ahora de una onda sinusoidal (por esta disminución de la polarización total de la temperatura, en la *Ilustración 31* se percibían más colores en la imagen). Gracias a esto, la divergencia de temperatura entre los extremos de la aorta también se minimiza (inferior a 2°):

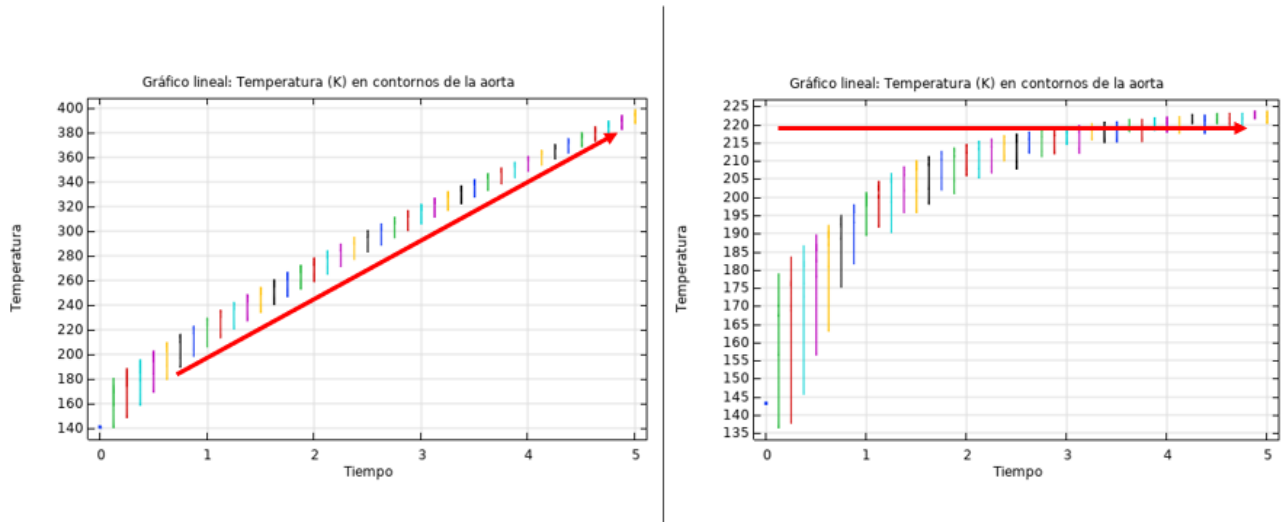


Ilustración 37: Tendencia de la temperatura en el foco en las dos últimas versiones

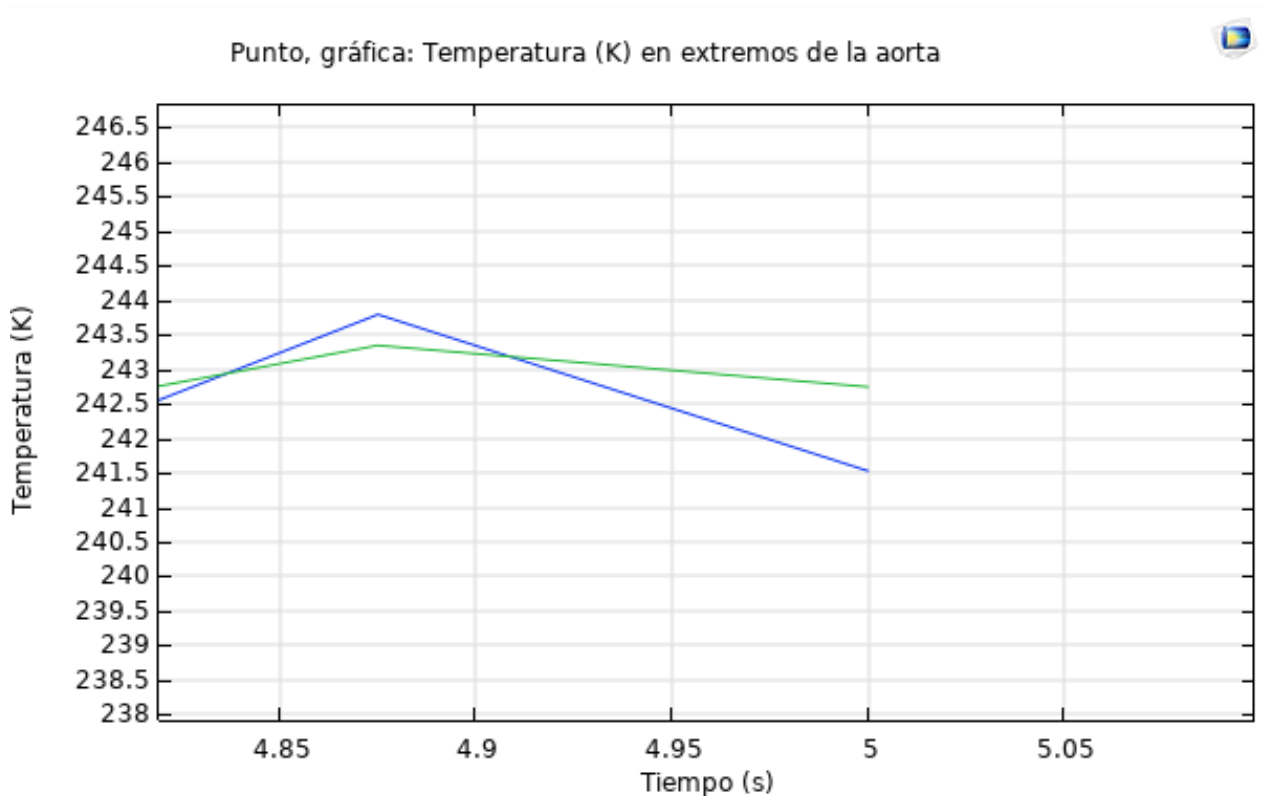


Ilustración 38: Divergencia de temperaturas en los extremos de la aorta para el último modelo

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:

- **Mejora de la función de estabilización de potencia:** dado que la función determinada en nuestro trabajo ha sido por método heurísticos, basados en el ensayo y error de diferentes modelos, pensamos que podría optimizarse esta funcionalidad de cara a ofrecer un mayor rendimiento de la potencia (menor consumo) y unas mejores características en el recalentamiento (mejores resultados en el proyecto de fondo).
- **Inclusión de un mayor número de transductores:** tal y como se comentó en el apartado de Introducción, esto permitiría reducir el tamaño del foco, consiguiendo disminuir la zona colateralmente calentada por la cercanía al tejido objeto de recalentamiento y hacer que este fuera mucho más homogéneo.
- **Cambio de forma del transductor:** podría plantearse la modelización de un transductor de forma cilíndrica que permitiera el calentamiento de tejidos de formas alargadas, lo que haría posible, por ejemplo, el calentamiento de una sección de aorta mucho mayor.
- **Estudio de las propiedades acústicas del material a irradiar:** esto permitiría un mejor conocimiento del comportamiento del tejido criopreservado ante la irradiación de las ondas de ultrasonidos, consiguiendo así mejorar el resultado del proceso de recalentamiento.

REFERENCIAS

- [1] Á. T. Roldán, «Simulación mediante elementos finitos de aplicación de ultrasonidos a procesos de criopreservación,» Sevilla, 2018.
- [2] L. ÁVILA-PORTILLO, «Fundamentos de criopreservación,» *Revista Colombiana de Obstetricia y Ginecología*, vol. 57, nº 4, pp. 291-300, 2006.
- [3] P. MAZUR, «Freezing of living cells: mechanisms and implications,» *Am J Physiol*, nº 1984. 247 (3 Pt 1), pp. 125-142.
- [4] A. C. M. G. M. B. M. A. C. P.-G. Á. D. M. P. F. M. J. R. R. CORRAL, «Ovarian tissue cryopreservation by stepped vitrification and monitored by X-ray computed tomography.,» *Cryobiology*, nº 81, pp. 17-26, 2018.
- [5] F. G. RALL WF, «Ice-free cryopreservation of mouse embryos at -196 degrees C by vitrification.,» *Nature*.
- [6] B. WOWK, «040 Metastable vitrification of cryoprotectant solutions,» *Cryobiology*, nº 67(3), p. 409, 2013.
- [7] J. E. K. THOMAS A. LESLIE, «High-intensity Focused Ultrasound Principles, Current Uses, and Potential for the Future,» *Ultrasound Quarterly*, vol. 22, nº 4, 2006.
- [8] A. Díaz-Miguel, «reportaje2056.blogspot.com,» 5 Septiembre 2014. [En línea]. Available: <http://reportaje2056.blogspot.com/2014/09/algo-pasa-con-el-hifu.html>. [Último acceso: 2020].
- [9] «Ultrasonidos. Red de Salud de Cuba,» [En línea]. Available: <http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion-fis/ultrasonidos.pdf>. [Último acceso: 10 Noviembre 2018].
- [10] K. H. H. FERENC A. JOLESZ, «MRI-Guided Focused Ultrasound Surgery,» *Informa Healthcare*, 2007.
- [11] Internal Medicine, «Impocus,» [En línea]. Available: <http://www.impocus.ca/acoustic-basics---how-does-us-travels>. [Último acceso: 2020].
- [12] L. B. S. A. B. G. G. S. M. D. H. B. G. Antoine Micheau, «Imaios,» 18 Febrero 2020. [En línea]. Available: <https://www.imaios.com/es/vet-Anatomy/Raton/Raton-Cuerpo-entero-micro-TC>. [Último acceso: 2020].
- [13] D. C. M. V. C. y. D. A. M. B. Laura Mora Boza, «Estudio morfométrico de la aorta en ratas tratadas con sunitinib,» Sevilla, Junio 2018.
- [14] J. C. P. y. R. d. J. R. Delgado, «Recalentamiento de material criopreservado mediante Ultrasonidos Focalizados de Alta Intensidad,» Sevilla, 2019.

- [15] Universidad Austral de Chile, «Cybertesis,» Universidad de Chile, 2002. [En línea]. Available: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2002/bmfcir918u/xhtml/TH.5.xml>. [Último acceso: 2020].
- [16] Textos Científicos, «Textos Científicos,» 8 11 2014. [En línea]. Available: <https://www.textoscientificos.com/quimica/etilenglicol>. [Último acceso: 2020].
- [17] I. C. Hurta, «Slideplayer,» 2015-2020. [En línea]. Available: <https://slideplayer.es/slide/10751152/>. [Último acceso: 2020].
- [18] Técnicas de medida y metalografía S.A., «Tecnimetal,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.tecnimetsa.es/medidores-de-espesores-ultrasonidos%20guia%20de%20velocidad.htm>. [Último acceso: 2020].
- [19] De Dietrich, «De Dietrich Process Systems,» [En línea]. Available: <https://www.dedietrich.com/es/soluciones-y-productos/esmalte-vidrio-de-borosilicato/las-propiedades-del-vidrio-de-borosilicato>. [Último acceso: 2020].
- [20] V. K. M. H. M. P. SHERVIN FOROUGH, «Numerical Analysis of Acoustic Propagation inside Multiple Liquids,» *Proceedings of the 5th International Conference of Fluid Flow, Heat and Mass Transfer (FFHMT'18)*, n° 178, 2018.
- [21] Comsol. Focused Ultrasound Induced Heating in Tissue Phantom, [En línea]. Available: <https://www.comsol.com/model/focused-ultrasound-induced-heating-in-tissue-phantom-12659>. [Último acceso: 10 Noviembre 2018].
- [22] J. J. B. T. R. C. VISA SUOMIA, «Full modelling of high-intensity focused ultrasound and thermal heating in the kidney using realistic patient models,» *Physics.Med-ph*, n° arXiv:1708.02860v1, 2017.
- [23] F. J. e. al, «Computational Ocean Acoustics, Modern Acoustics and Signal Processing,» *Springer Science*, pp. 65-153, 2011.
- [24] «Helmholtz Equation and High Frequency Approximations School of Electrical Engineering and Computer Science,» [En línea]. Available: <http://www.csc.kth.se/utbildning/kth/kurser/DN2255/ndiff12/Lecture5.pdf>. [Último acceso: 10 Noviembre 2018].
- [25] L. F. D. C. T.-V. P. J. MATUSZYK, «Solution of Coupled Acoustic-Elastic Wave Propagation Problems with Anelastic Attenuation Using Automatic,» *ICES REPORT*, n° 11-03, 2011.
- [26] B. P. B. F. a. R. R. Olmo Alberto, «Use of high-intensity focused ultrasound for the rewarming of cryopreserved biological material».
- [27] C. ZENER, «Internal friction in solids, I. Theory of internal friction in reeds,» *Phys*, vol. 52, n° 1937, pp. 230-235.
- [28] C. ZENER, «Internal friction in solids, II. General theory of thermoelastic internal friction,» *Phys*, vol. 53, n° 1938, pp. 90-99.

ANEXO A

En este anexo se adjunta el informe del modelo final que genera COMSOL[®] en el que se detallan todos los elementos explicados durante el apartado de Metodología, así como los resultados expuestos:

1 INFORME MODELO FINAL CON ESTABILIZACIÓN Y GRADIENTE DE VISCOSIDADES

Autor	Eduardo Guillén Jurado
-------	------------------------

Contenido

1. Definiciones globales	38
1.1. <i>Parámetros</i>	38
1.2. <i>Funciones</i>	39
2. Modelo	42
2.1. <i>Definiciones</i>	42
2.2. <i>Geometría 2</i>	43
2.3. <i>Materiales</i>	48
2.4. <i>Presión acústica, frecuencia 2</i>	65
2.5. <i>Transferencia de biocalor</i>	166
2.6. <i>Mallas</i>	232
3. Estudio 1 - Sonido	238
3.1. <i>Dominio de la frecuencia</i>	238
3.2. <i>Configuraciones del resolvidor</i>	239
4. Estudio 2 - Calor	242
4.1. <i>Temporal</i>	242
4.2. <i>Configuraciones del resolvidor</i>	243
5. Resultados	252
5.1. <i>Conjuntos de datos</i>	252
5.2. <i>Tablas</i>	255
5.3. <i>Trazar grupos</i>	256

1 Definiciones globales

AJUSTES GLOBALES

Nombre	Modelov15FinalConEstabilización.mph
Ruta	C:\Users\eduar\Documents\Estudios\Universidad\Máster\2º\Trabajo Fin de Máster\Modelo\Modelov15FinalConEstabilización.mph
Versión	COMSOL Multiphysics 5.5 (Construcción: 292)
Sistema de unidades	SI

UTILIZAR PRODUCTOS

COMSOL Multiphysics
Acoustics Module
Design Module
Heat Transfer Module

1.1 PARÁMETROS

PARÁMETROS 1

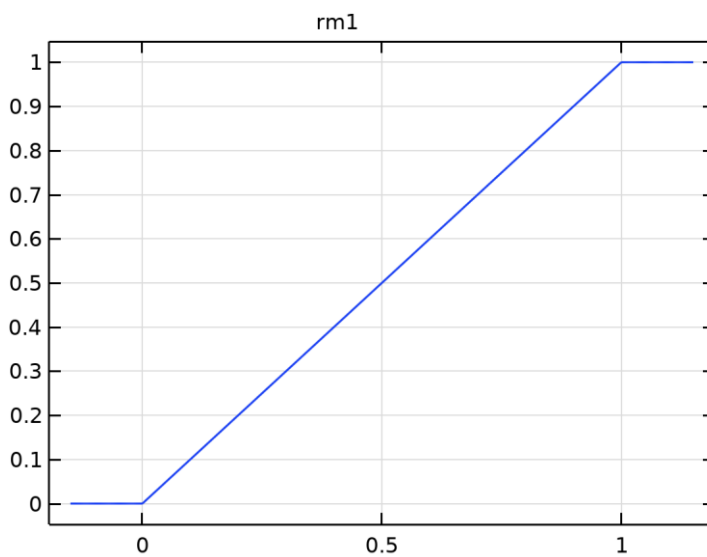
Nombre	Expresión	Valor	Descripción
TempAmbiente	293[K]	293 K	
TempHielo	133[K]	133 K	
Amplitud	100[nm]	1E-7 m	
Frecuencia	2[MHz]	2E6 Hz	
TiempoFinal	5[s]	5 s	
Alpha_Agua	0.025[1/m]	0.025 1/m	
Alpha_Etilenglicol	0.855[1/m]	0.855 1/m	
Alpha_Hielo	0.05[1/m]	0.05 1/m	
Alpha_Aorta	0.7[1/m]	0.7 1/m	
Alpha_Recipiente	0.3[1/m]	0.3 1/m	
TempEtilenglicolConOffset	255[K]	255 K	
TempEtilenglicolMuyPocoViscoso	275[K]	275 K	

Nombre	Expresión	Valor	Descripción
TempEtilenglicolPocoViscoso	265[K]	265 K	
TempEtilenglicolMedioViscoso	255[K]	255 K	
TempEtilenglicolViscoso	245[K]	245 K	
TempEtilenglicolMuyViscoso	235[K]	235 K	
TempEtilenglicol	225[K]	225 K	

1.2 FUNCIONES

1.2.1 Rampa 1

Nombre de función	rm1
Tipo de función	Rampa



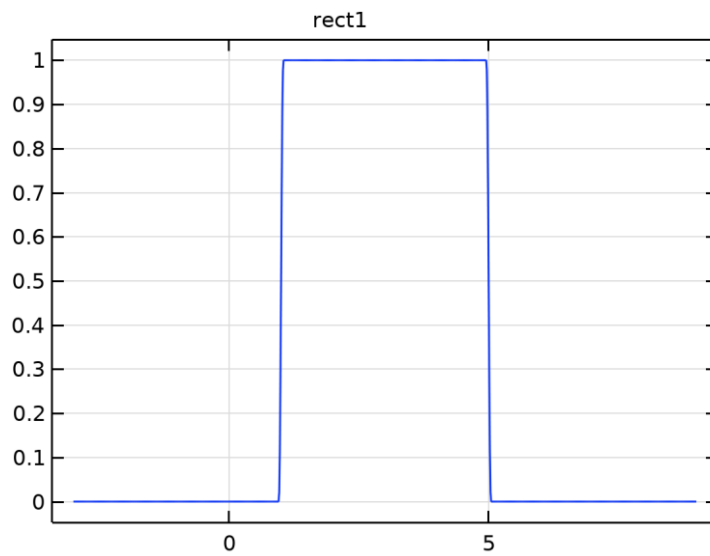
Rampa 1

PARÁMETROS

Descripción	Valor
Ubicación	0
Pendiente	1
Corte	1
Corte	Encendido

1.2.2 Rectángulo 1

Nombre de función	rect1
Tipo de función	Rectángulo



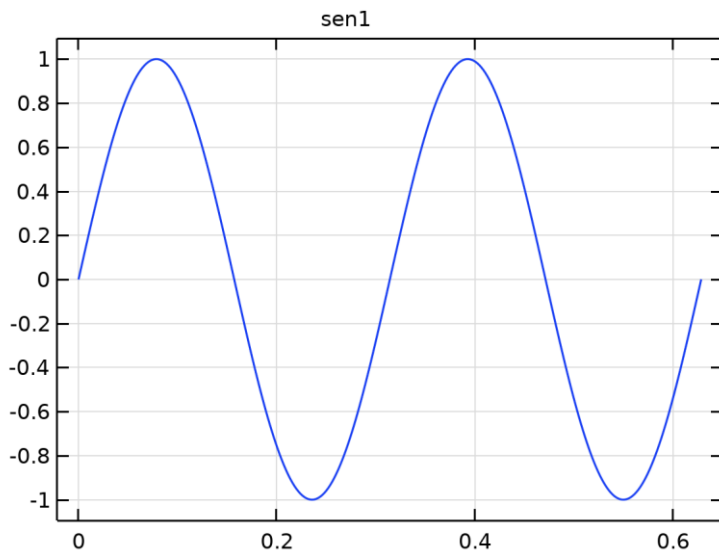
Rectángulo 1

PARÁMETROS

Descripción	Valor
Límite inferior	1
Límite superior	5

1.2.3 Onda 1

Nombre de función	sen1
Tipo de función	Onda



Onda 1

PARÁMETROS

Descripción	Valor
Frecuencia angular	20

2 Modelo

AJUSTES

Descripción	Valor
Sistema de unidades	SI
Orden de forma geométrica	Automático

COORDENADAS DEL MARCO ESPACIAL

Primero	Segunda	Tercera
r	phi	z

COORDENADAS DE MARCO DE MATERIAL

Primero	Segunda	Tercera
R	PHI	Z

COORDENADA DE MARCO DE GEOMETRÍA

Primero	Segunda	Tercera
R _g	PHI _g	Z _g

COORDENADAS DEL MARCO DE MALLA

Primero	Segunda	Tercera
R _m	PHI _m	Z _m

2.1 DEFINICIONES

2.1.1 Sistemas de coordenadas

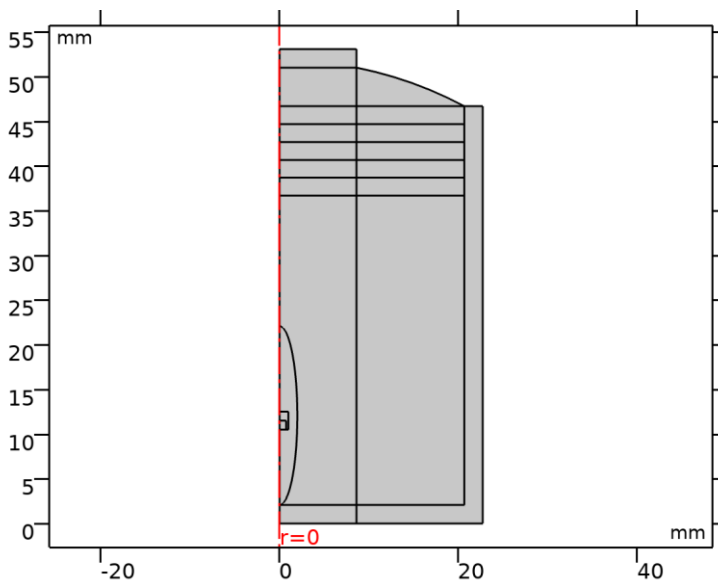
6.1.1.1 Sistema de contornos 2

Tipo de sistema de coordenadas	Sistema de contornos
Etiqueta	sys2

NOMBRES DE COORDENADAS

Primero	Segunda	Tercera
t1	to	n

2.2 GEOMETRÍA 2



Geometría 2

UNIDADES

Unidad de longitud	mm
Unidad angular	deg

ESTADÍSTICAS DE GEOMETRÍA

Descripción	Valor
Dimensión de espacio	2
Número de dominios	20
Número de contornos	60
Número de vértices	41

2.2.1 Rectángulo 2 - Interior recipiente (r2)

POSICIÓN

Descripción	Valor
Posición	{0, 2.07}

TAMAÑO

Descripción	Valor
Ancho	20.68
Altura	60

2.2.2 Círculo 2 - Interior transductor (c2)

POSICIÓN

Descripción	Valor
Posición	{0, 7.85}

TAMAÑO Y FORMA

Descripción	Valor
Radio	44

2.2.3 Rectángulo 5 - Agujero transductor (r5)

POSICIÓN

Descripción	Valor
Posición	{0, 0}

TAMAÑO

Descripción	Valor
Ancho	40
Altura	51

2.2.4 Rectángulo 3 - Aorta (r3)

POSICIÓN

Descripción	Valor
Posición	{0, 10.5}

TAMAÑO

Descripción	Valor
Ancho	0.75
Altura	1

2.2.5 Rectángulo 4 - Hielo (r4)

POSICIÓN

Descripción	Valor
Posición	{0, 10.5}

TAMAÑO

Descripción	Valor
Ancho	1
Altura	2

2.2.6 Rectángulo 6 - Recipiente Exterior (r6)

POSICIÓN

Descripción	Valor
Posición	{0, 0}

TAMAÑO

Descripción	Valor
Ancho	22.75
Altura	46.68

2.2.7 Rectángulo 7 - Recipiente Superior (r7)

POSICIÓN

Descripción	Valor
Posición	{0, 0}

TAMAÑO

Descripción	Valor
Ancho	8.607
Altura	53.07

2.2.8 Rectángulo 8 - Zona Muy Poco Viscosa (r8)

POSICIÓN

Descripción	Valor
Posición	{0, 44.68}

TAMAÑO

Descripción	Valor
Ancho	20.68
Altura	2

2.2.9 Rectángulo 9 - Zona Poco Viscosa (r9)

POSICIÓN

Descripción	Valor
Posición	{0, 42.68}

TAMAÑO

Descripción	Valor
Ancho	20.68
Altura	2

2.2.10 Rectángulo 10 - Zona Medio Viscosa (r10)

POSICIÓN

Descripción	Valor
Posición	{0, 40.68}

TAMAÑO

Descripción	Valor
Ancho	20.68
Altura	2

2.2.11 Rectángulo 11 - Zona Viscosa (r11)

POSICIÓN

Descripción	Valor
Posición	{0, 38.68}

TAMAÑO

Descripción	Valor
Ancho	20.68
Altura	2

2.2.12 Rectángulo 12 - Zona Muy Viscosa (r12)

POSICIÓN

Descripción	Valor
Posición	{0, 36.68}

TAMAÑO

Descripción	Valor
Ancho	20.68
Altura	2

2.2.13 Elipse 1 - Foco (e1)

POSICIÓN

Descripción	Valor
Posición	{0, 12.07}

ÁNGULO DE ROTACIÓN

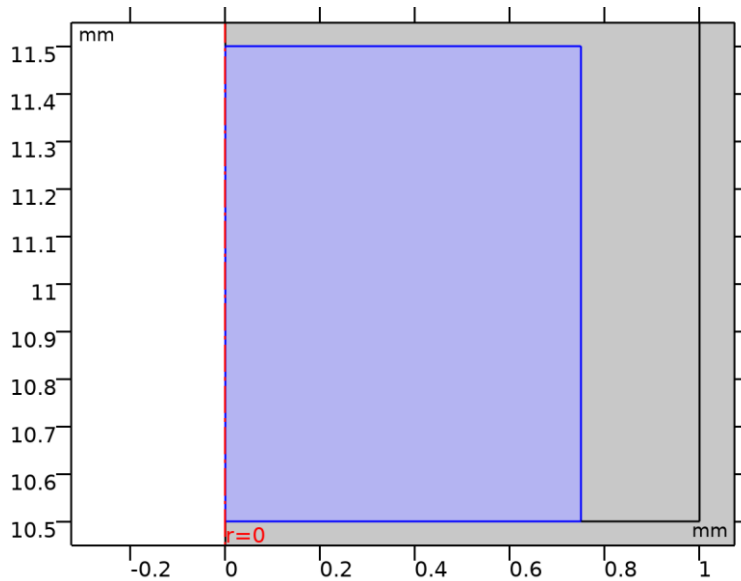
Descripción	Valor
Rotación	-90

TAMAÑO Y FORMA

Descripción	Valor
semieje a	10
semieje b	2
Ángulo de sector	180

2.3 MATERIALES

2.3.1 Muscle



Muscle

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrica	Dominio
Selección	Geometría geom2: Dimensión 2: Dominio 4

PARÁMETROS DE MATERIAL

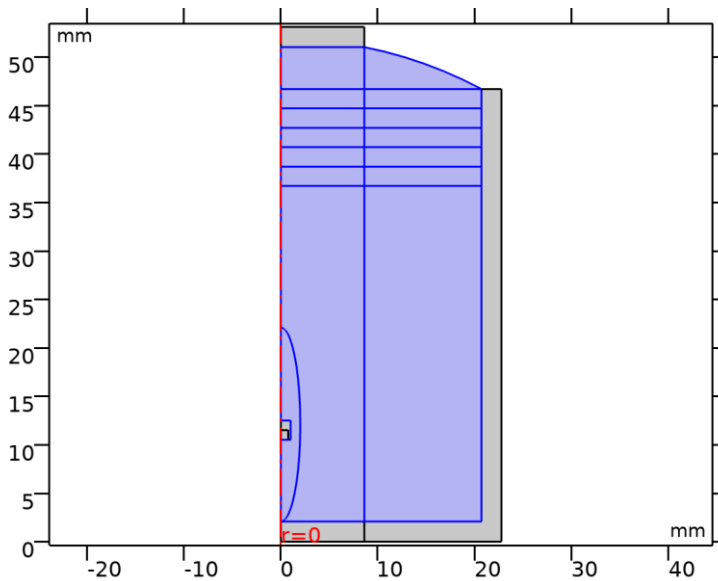
Nombre	Valor	Unidad
Capacidad térmica con presión constante	3421[J/(kg*K)]	J/(kg·K)
Densidad	1090[kg/m ³]	kg/m ³
Conductividad térmica	0.49[W/(m*K)]	W/(m·K)
Velocidad del sonido	1585	m/s

BASIC AJUSTES

Description	Value
Capacidad térmica con presión constante	3421[J/(kg*K)]
heatcapacity_symmetry	0
Densidad	1090[kg/m ³]
density_symmetry	0

Description	Value
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

2.3.2 Ethylene glycol



Ethylene glycol

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrica	Dominio
Selección	Geometría geom2: Dimensión 2: Dominios 2–3, 6–11, 14–20

PARÁMETROS DE MATERIAL

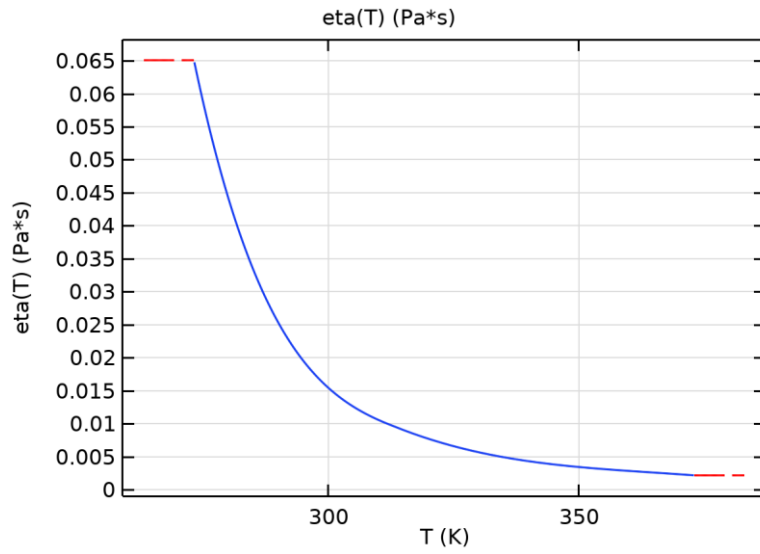
Nombre	Valor	Unidad
Capacidad térmica con presión constante	Cp(T)	J/(kg·K)
Densidad	rho(T)	kg/m ³
Conductividad térmica	k(T)	W/(m·K)
Velocidad del sonido	1500	m/s
Coefficiente de dilatación adiabática	0.0062	1

BASIC AJUSTES

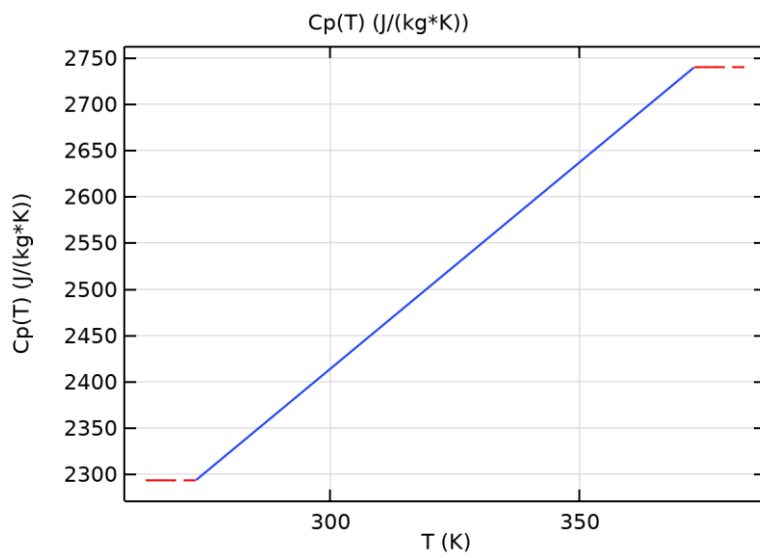
Description	Value
Viscosidad dinámica	eta(T)
dynamicviscosity_symmetry	0
Capacidad térmica con presión constante	Cp(T)
heatcapacity_symmetry	0
Densidad	rho(T)
density_symmetry	0
Conductividad térmica	{{k(T), 0, 0}, {0, k(T), 0}, {0, 0, k(T)}}
thermalconductivity_symmetry	3
Velocidad del sonido	1500
soundspeed_symmetry	0
Coefficiente de dilatación adiabática	0.0062
ratioofspecificeat_symmetry	0

FUNCTIONS

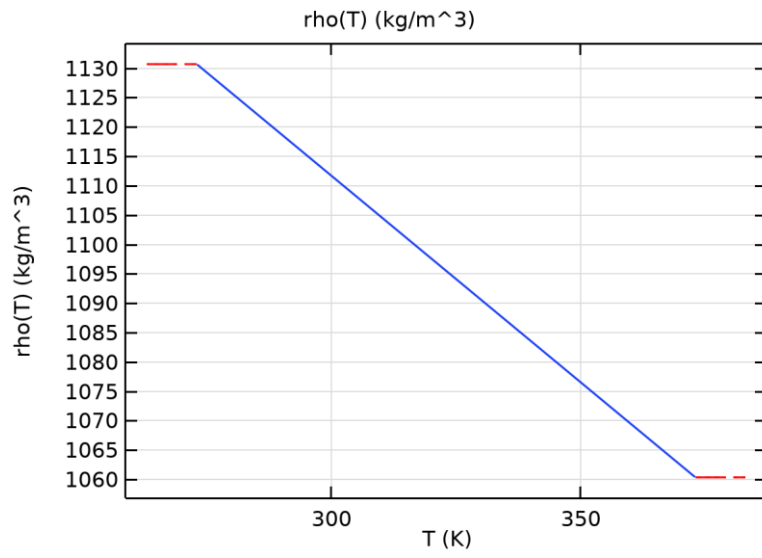
Nombre de función	Type
eta	Piecewise
Cp	Piecewise
rho	Piecewise
k	Piecewise



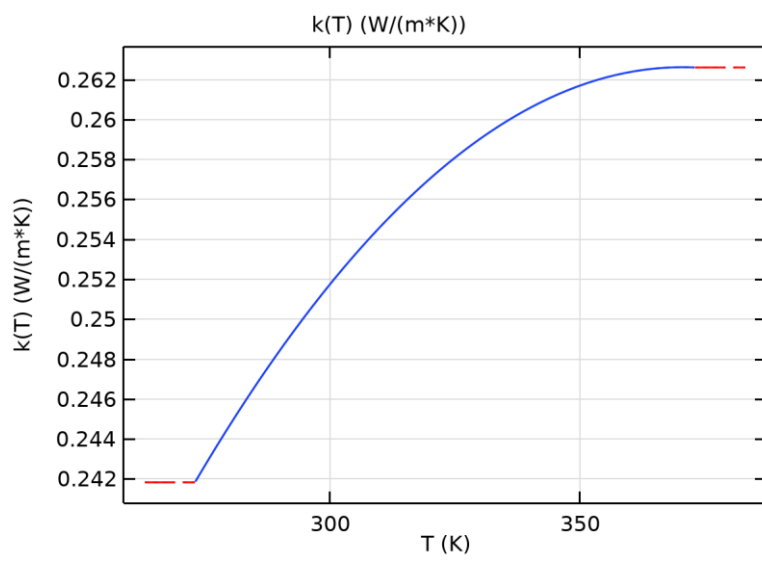
η



C_p

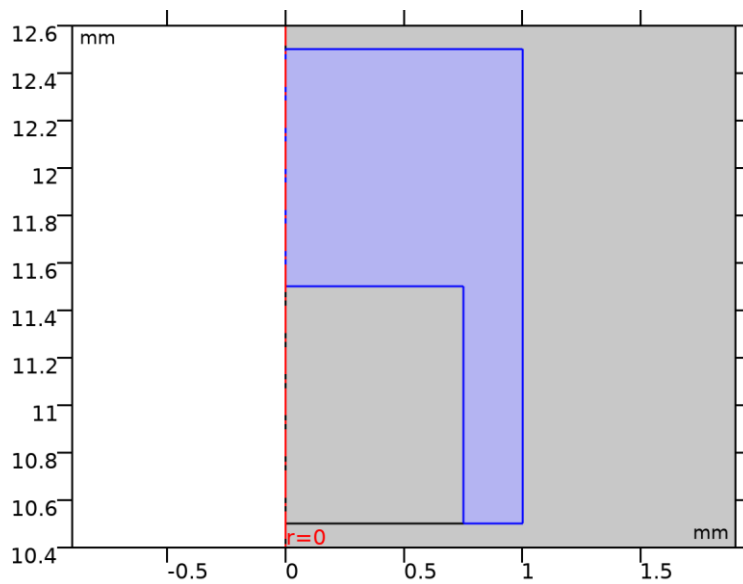


rho



k

2.3.3 H2O (water) [solid,tension]



H2O (water) [solid,tension]

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrica	Dominio
Selección	Geometría geom2: Dimensión 2: Dominio 5

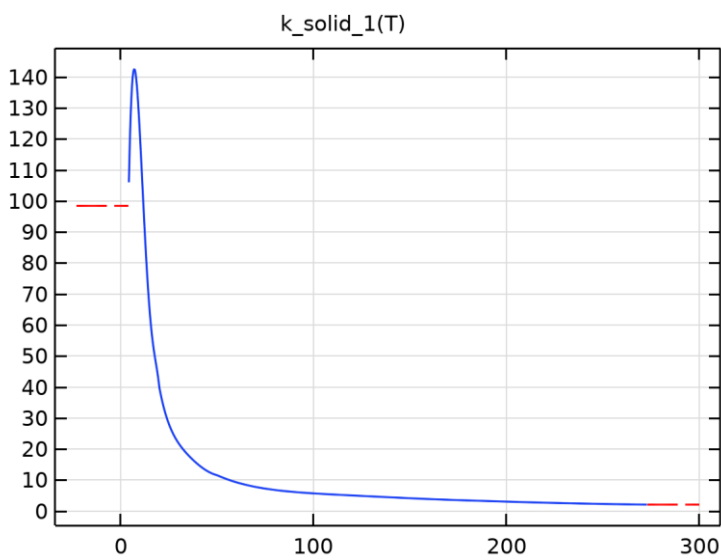
PARÁMETROS DE MATERIAL

Nombre	Valor	Unidad
Conductividad térmica	$k_solid_1(T[1/K])[W/(m*K)]$	W/(m·K)
Capacidad térmica con presión constante	$C_solid_1(T[1/K])[J/(kg*K)]$	J/(kg·K)
Densidad	$\rho_solid_1(T[1/K])[kg/m^3]$	kg/m ³
Velocidad del sonido	5130	m/s

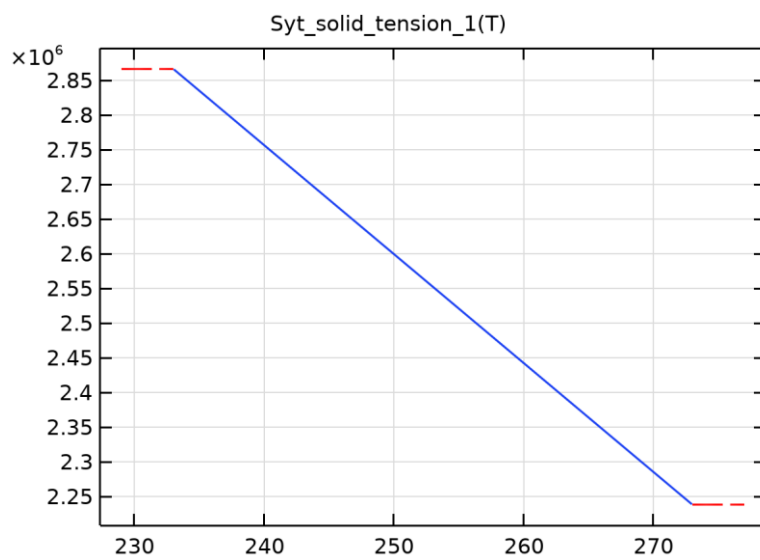
BÁSICO AJUSTES

Description	Value
Conductividad térmica	$\{ \{ k_solid_1(T[1/K])[W/(m*K)], 0, 0 \}, \{ 0, k_solid_1(T[1/K])[W/(m*K)], 0 \}, \{ 0, 0, k_solid_1(T[1/K])[W/(m*K)] \} \}$
thermalconductivity_symmetry	0
Syt	$Syt_solid_tension_1(T[1/K])[Pa]$
Syt_symmetry	0
Coefficiente de expansión térmica	$\{ \{ (\alpha_solid_1(T[1/K])[1/K] + (Tempref - 273[K])*if(abs(T - Tempref) > 1e-3,$

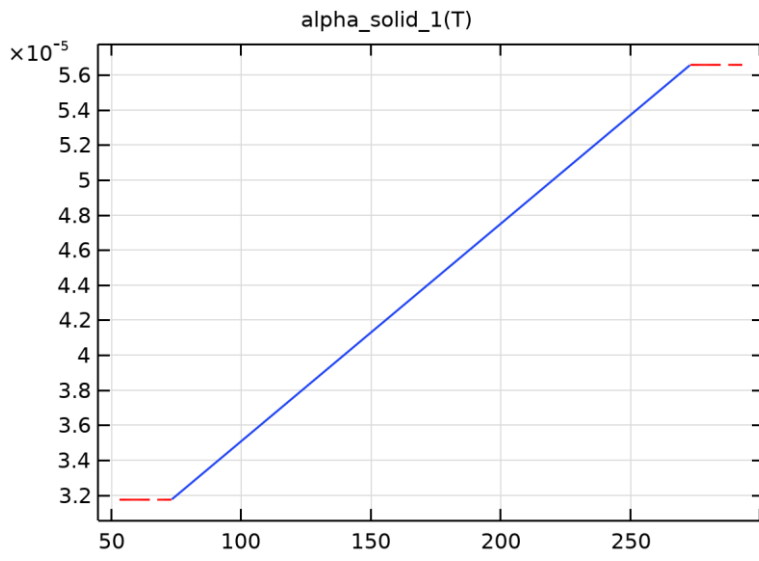
Nombre de función	Type
alpha_solid_1	Piecewise
C_solid_1	Piecewise
HC_solid_1	Piecewise
VP_solid_1	Piecewise
rho_solid_1	Piecewise
TD_solid_1	Piecewise



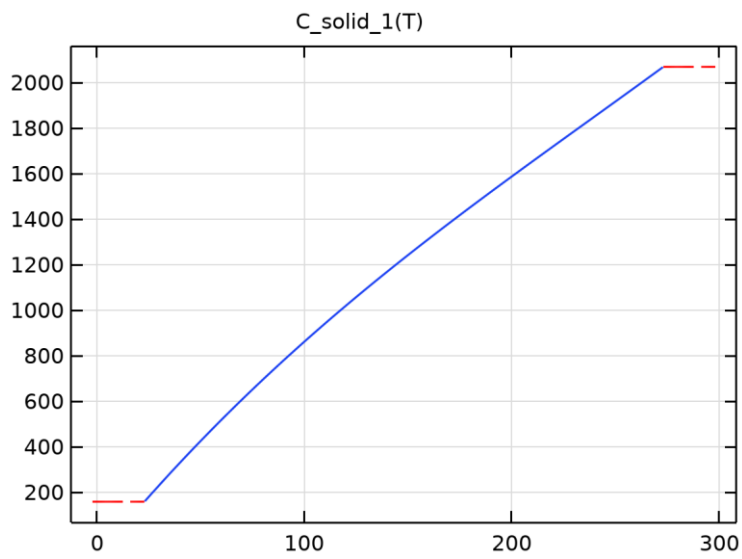
k_{solid_1}



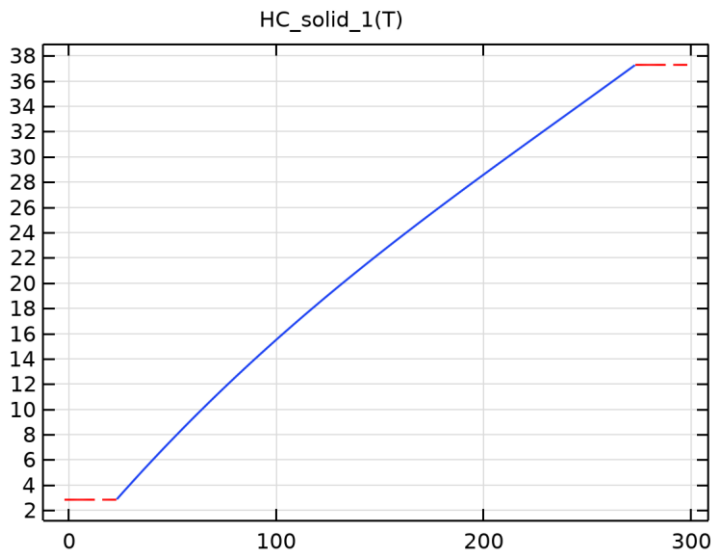
$Syt_{solid_tension_1}$



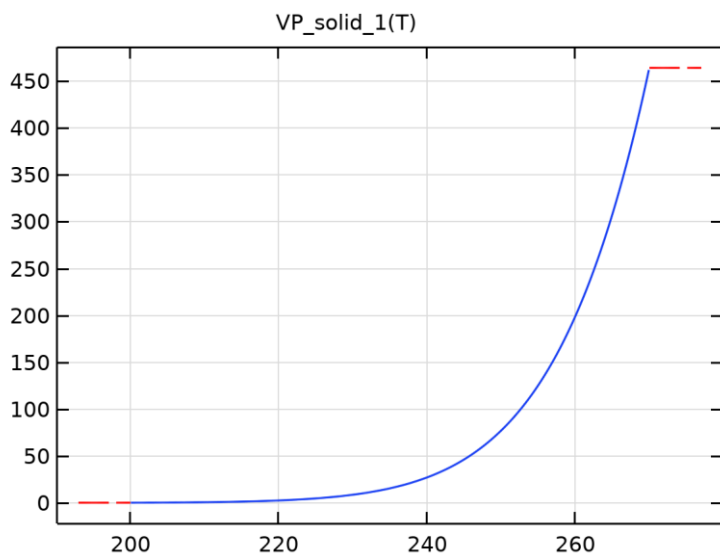
alpha_solid_1



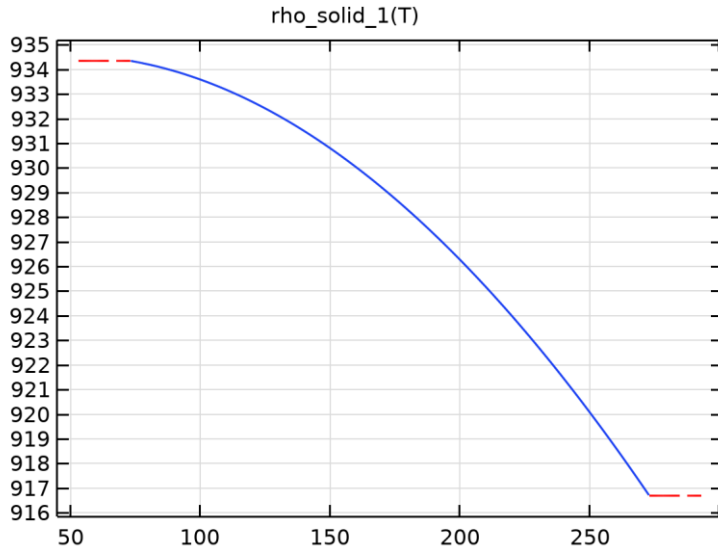
C_solid_1



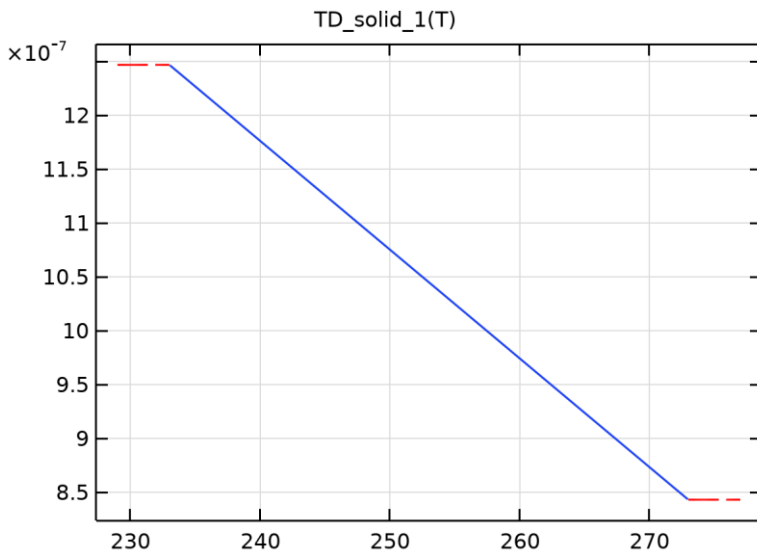
HC_solid_1



VP_solid_1



ρ_{solid_1}



TD_{solid_1}

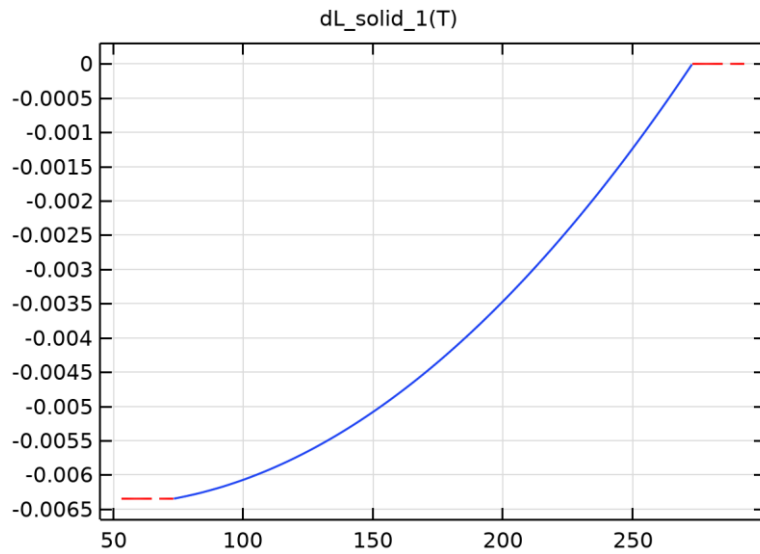
EXPANSIÓN TÉRMICA AJUSTES

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	$\{\{(dL_solid_1(T[1/K]) - dL_solid_1(Tempref[1/K]))/(1 + dL_solid_1(Tempref[1/K])), 0, 0\}, \{0, (dL_solid_1(T[1/K]) - dL_solid_1(Tempref[1/K]))/(1 + dL_solid_1(Tempref[1/K])), 0\}, \{0, 0, (dL_solid_1(T[1/K]) - dL_solid_1(Tempref[1/K]))/(1 + dL_solid_1(Tempref[1/K]))\}\}$

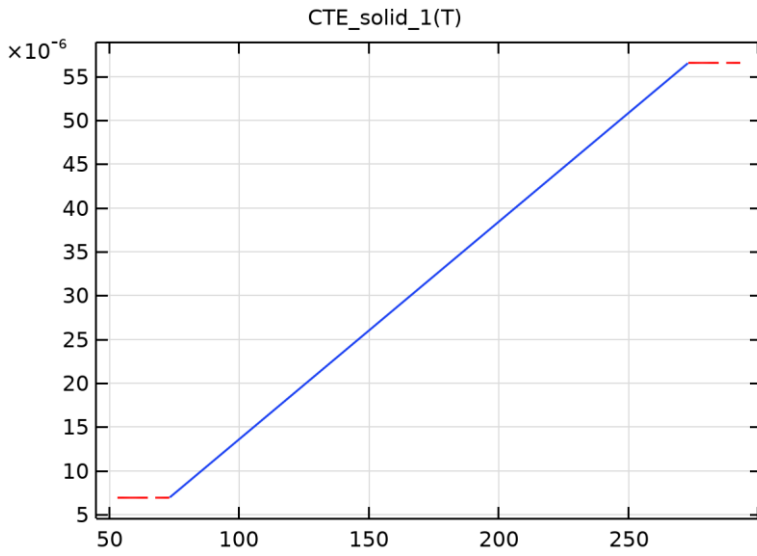
Description	Value
Coefficiente tangencial isotrópico de expansión térmica	CTE_solid_1(T[1/K])[1/K]
Deformación térmica isotrópica	$(dL_solid_1(T[1/K]) - dL_solid_1(Tempref[1/K])) / (1 + dL_solid_1(Tempref[1/K]))$
alphatan_symmetry	0
dL_symmetry	0
alphatanIso_symmetry	0
dLIso_symmetry	0

FUNCTIONS

Nombre de función	Type
dL_solid_1	Piecewise
CTE_solid_1	Piecewise



dL_solid_1



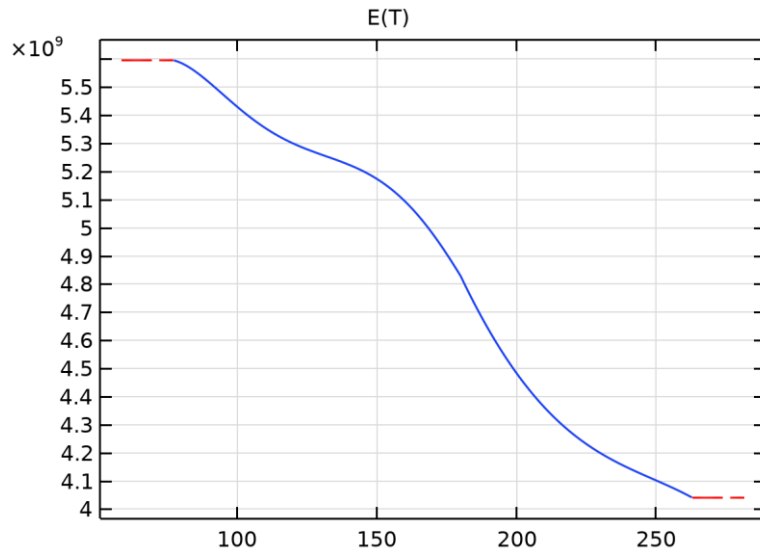
CTE_solid_1

MÓDULO DE YOUNG Y COEFICIENTE DE POISSON AJUSTES

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

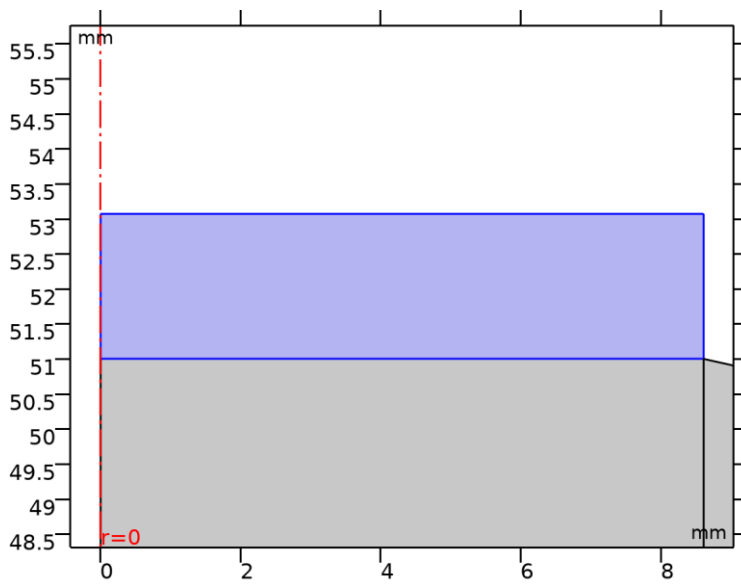
FUNCTIONS

Nombre de función	Type
E	Piecewise



E

2.3.4 Acrylic plastic



Acrylic plastic

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrica	Dominio
Selección	Geometría geom2: Dimensión 2: Dominio 12

PARÁMETROS DE MATERIAL

Nombre	Valor	Unidad
Capacidad térmica con presión constante	1470[J/(kg*K)]	J/(kg·K)
Densidad	1190[kg/m ³]	kg/m ³

Nombre	Valor	Unidad
Conductividad térmica	0.18[W/(m*K)]	W/(m·K)
Velocidad del sonido	2350	m/s

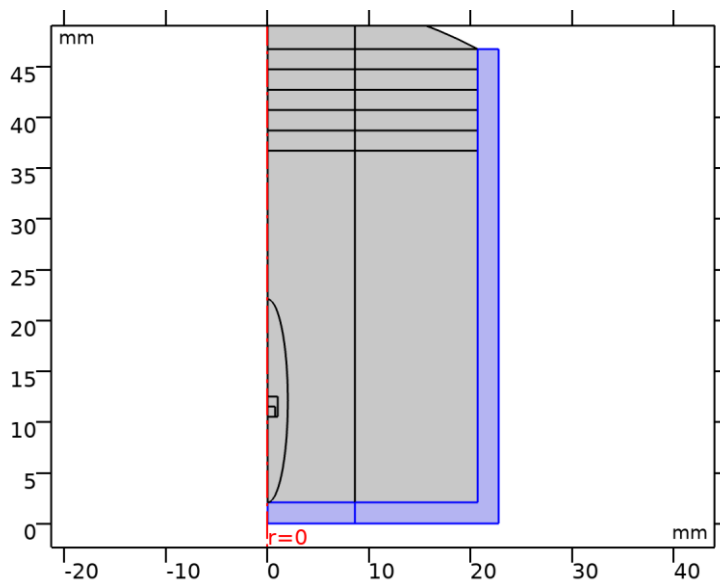
BASIC AJUSTES

Description	Value
Coefficiente de expansión térmica	{{7.0e-5[1/K], 0, 0}, {0, 7.0e-5[1/K], 0}, {0, 0, 7.0e-5[1/K]}}
thermalexpansioncoefficient_symmetry	3
Capacidad térmica con presión constante	1470[J/(kg*K)]
heatcapacity_symmetry	0
Densidad	1190[kg/m^3]
density_symmetry	0
Conductividad térmica	{{0.18[W/(m*K)], 0, 0}, {0, 0.18[W/(m*K)], 0}, {0, 0, 0.18[W/(m*K)]}}
thermalconductivity_symmetry	3
Velocidad del sonido	2350
soundspeed_symmetry	0

YOUNG'S MODULUS AND POISSON'S RATIO AJUSTES

Description	Value
Módulo de Young	3.2e9[Pa]
youngsmodulus_symmetry	0
Coefficiente de Poisson	0.35
poissonsratio_symmetry	0

2.3.5 92.22% SiO₂ - 7.78% B₂O₃ [solid]



92.22% SiO₂ - 7.78% B₂O₃ [solid]

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrico	Dominio
Selección	Geometría geom2: Dimensión 2: Dominios 1, 13

PARÁMETROS DE MATERIAL

Nombre	Valor	Unidad
Capacidad térmica con presión constante	C(T[1/K])[J/(kg*K)]	J/(kg·K)
Densidad	2230	kg/m ³
Velocidad del sonido	5190	m/s
Conductividad térmica	1.2	W/(m·K)

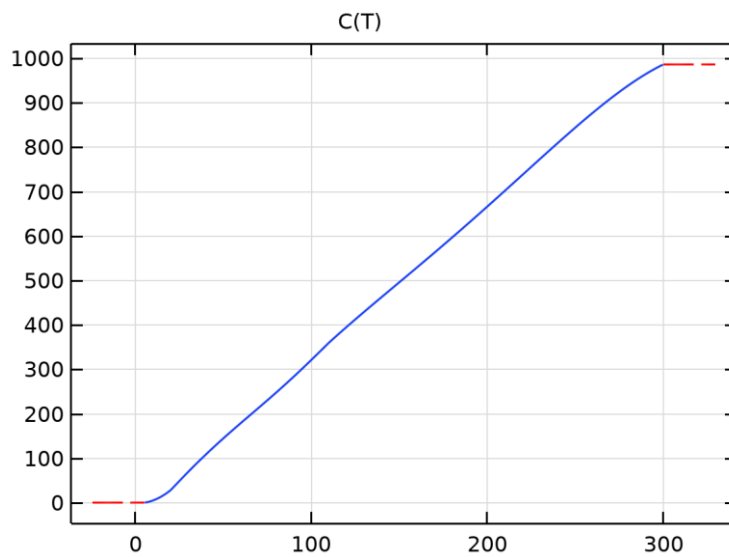
BÁSICO AJUSTES

Description	Value
Capacidad térmica con presión constante	C(T[1/K])[J/(kg*K)]
heatcapacity_symmetry	0
HC	HC(T[1/K])[J/(mol*K)]
HC_symmetry	0
Densidad	2230
density_symmetry	0

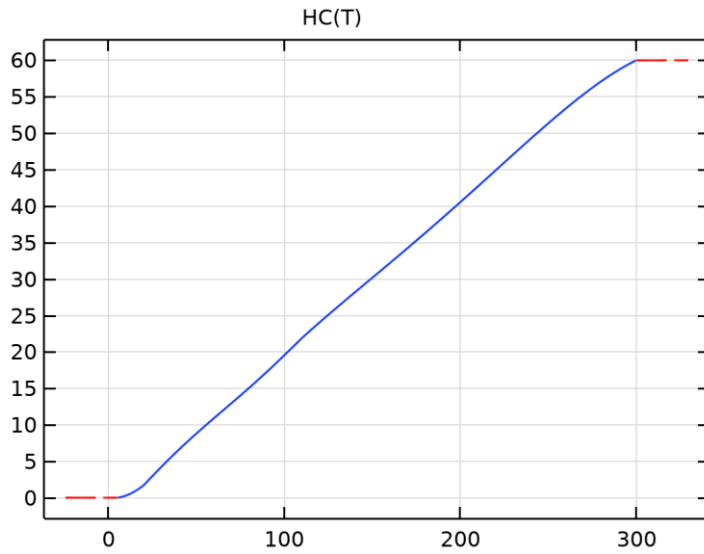
Description	Value
Velocidad del sonido	5190
soundspeed_symmetry	0
Conductividad térmica	{{1.2, 0, 0}, {0, 1.2, 0}, {0, 0, 1.2}}
thermalconductivity_symmetry	0

FUNCTIONS

Nombre de función	Type
C	Piecewise
HC	Piecewise



C

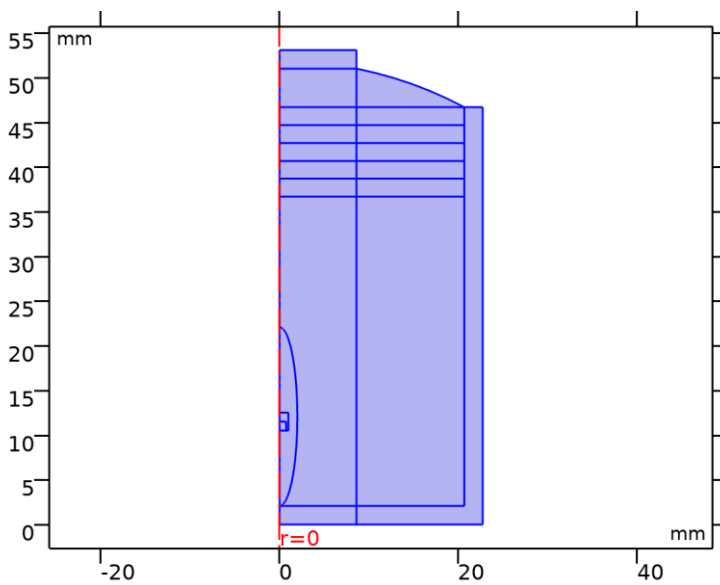


HC

2.4 PRESIÓN ACÚSTICA, FRECUENCIA 2

UTILIZAR PRODUCTOS

COMSOL Multiphysics
Acoustics Module



Presión acústica, frecuencia 2

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrico	Dominio
Selección	Geometría geom2: Dimensión 2: Todos los dominios

EQUATIONS

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

$$p_t = p_2 + p_b$$

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

2.4.1 Ajustes de interfaz de física

6.1.1.2 Símbolos de física

SETTINGS

Description	Value
Habilitar símbolos físicos	Encendido

6.1.1.3 Discretización

SETTINGS

Description	Value
Orden del elemento	Lagrange cuadrático

6.1.1.4 Ajuste de ecuación de presión acústica

SETTINGS

Description	Value
Número de modo azimutal	0

6.1.1.5 Puerto, configuración de barrido

SETTINGS

Description	Value
Activar barrido de puertos	Apagado

6.1.1.6 Ajustes de nivel de presión de sonido

SETTINGS

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

6.1.1.7 Velocidad de onda típica para PMLs

SETTINGS

Description	Value
Velocidad de onda típica para PMLs	1483[m/s]

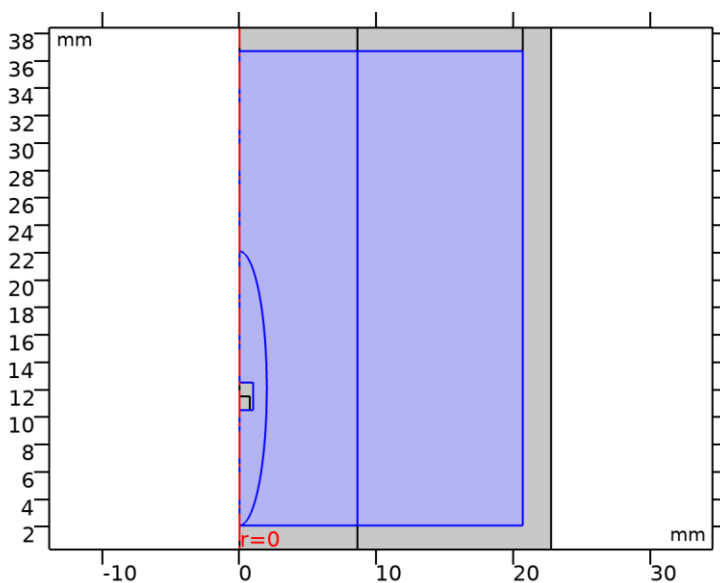
2.4.2 Variables

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección
acpr2.freq	freq	Hz	Frecuencia	Global
acpr2.omega	$2 \cdot \pi \cdot \text{acpr2.freq}$	rad/s	Frecuencia angular	Global
acpr2.m	0	1	Número de modo azimutal	Global
acpr2.km	acpr2.m/r	rad/m	Número de onda azimutal	Dominios 1–20
acpr2.ikm	$i \cdot \text{acpr2.m/r}$	rad/m	Phase-shifted azimuthal wave number	Dominios 1–20
acpr2.delta	$1/\text{acpr2.omega}^2$	s ²	Factor de escala	Dominios 1–20
acpr2.pref_SPL	2.0E-5[Pa]	Pa	Presión de referencia	Global
acpr2.Iref_SIL	1.0E-12[W/m ²]	W/m ²	Intensidad de referencia	Global
acpr2.Pref_SWL	1.0E-12[W]	W	Potencia de referencia	Global
acpr2.cref	1483[m/s]	m/s	Velocidad de onda típica para PMLs	Dominios 1–20
acpr2.nr	nr	1	Vector normal, componente r	Contornos 4, 6, 8, 11, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28–31, 33–46, 48–53, 57–59
acpr2.nphi	0	1	Vector normal, componente phi	Contornos 4, 6, 8, 11, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28–31, 33–46, 48–53, 57–59

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección
acpr2.nz	nz	1	Vector normal, componente z	Contornos 4, 6, 8, 11, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28–31, 33–46, 48–53, 57–59
acpr2.nr	dnr	1	Vector normal, componente r	Contornos 1–3, 5, 7, 9–10, 12–13, 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27, 32, 47, 54–56, 60
acpr2.nphi	0	1	Vector normal, componente phi	Contornos 1–3, 5, 7, 9–10, 12–13, 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27, 32, 47, 54–56, 60
acpr2.nz	dnz	1	Vector normal, componente z	Contornos 1–3, 5, 7, 9–10, 12–13, 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27, 32, 47, 54–56, 60
acpr2.nrmesh	nrmesh	1	Vector normal, (malla), componente r	Contornos 4, 6, 8, 11, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28–31, 33–46, 48–53, 57–59
acpr2.nphimesh	0	1	Vector normal, (malla), componente phi	Contornos 4, 6, 8, 11, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28–31, 33–46, 48–53, 57–59
acpr2.nzmesh	nzmesh	1	Vector normal, (malla), componente z	Contornos 4, 6, 8, 11, 14, 16, 18, 20,

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección
				22, 24, 26, 28-31, 33-46, 48-53, 57-59
acpr2.nrmesh	dnrmesh	1	Vector normal, (malla), componente r	Contornos 1-3, 5, 7, 9-10, 12-13, 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27, 32, 47, 54-56, 60
acpr2.nphimesh	0	1	Vector normal, (malla), componente phi	Contornos 1-3, 5, 7, 9-10, 12-13, 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27, 32, 47, 54-56, 60
acpr2.nzmesh	dnzmesh	1	Vector normal, (malla), componente z	Contornos 1-3, 5, 7, 9-10, 12-13, 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27, 32, 47, 54-56, 60
acpr2.iomega	acpr2.omega*i	rad/s	Frecuencia angular compleja	Global

2.4.3 Presión acústica 1 - Etilenglicol



Presión acústica 1 - Etilenglicol

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrico	Dominio
Selección	Geometría geom2: Dimensión 2: Todos los dominios

ECUACIONES

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

$$\rho_t = \rho_2 + \rho_b$$

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

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

6.1.1.8 Modelo de presión acústica

SETTINGS

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

6.1.1.9 Entrada del modelo

SETTINGS

Description	Value
Temperatura	Definido por el usuario
Temperatura	TempEtilenglicol
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

6.1.1.10 Variables

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.p_s	acpr2.p_t- acpr2.p_b	Pa	Campo de presión difractado	Dominios 2-3, 14	
acpr2.Lp_s	$10 \cdot \log_{10}(0.5 \cdot \text{acpr2.p}_s \cdot \text{conj}(\text{acpr2.p}_s) / \text{acpr2.pref}_S \cdot \text{PL}^2)$	dB	Nivel de presión de sonido difractado	Dominios 2-3, 14	
acpr2.p_b	0	Pa	Campo de presión en segundo plano	Dominios 2-3, 14	Operación +
acpr2.rho	material.rho	kg/m ³	Densidad	Dominios 2-3, 14	Meta
acpr2.c	material.c	m/s	Velocidad del sonido	Dominios 2-3, 14	Meta
acpr2.alpha1	Alpha_Etilenglico1	Np/m	Coefficiente de atenuación	Dominios 2-3, 14	
acpr2.q_totr	acpr2.qr	N/m ³	Fuente de dipolo total, componente r	Dominios 2-3, 14	Operación +
acpr2.q_totphi	acpr2.qphi	N/m ³	Fuente de dipolo total, componente phi	Dominios 2-3, 14	Operación +
acpr2.q_totz	acpr2.qz	N/m ³	Fuente de dipolo total, componente z	Dominios 2-3, 14	Operación +
acpr2.nacc	0	m/s ²	Inward acceleration (source)	Contornos 3-4, 6, 10-12, 14, 29-30, 33-34, 36, 48, 57-58	Operación +
acpr2.Q	0	1/s ²	Total monopole domain source	Dominios 2-3, 14	Operación +
acpr2.qr	0	N/m ³	Fuente de dipolo	Dominios 2-	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			de dominio, componente r	3, 14	
acpr2.qphi	0	N/m ³	Fuente de dipolo de dominio, componente phi	Dominios 2–3, 14	Operación +
acpr2.qz	0	N/m ³	Fuente de dipolo de dominio, componente z	Dominios 2–3, 14	Operación +
acpr2.FAcoPerAr ear	$acpr2.p_t * acpr2.nr * dvol_spatial * r / (dvol * R)$	N/m ²	Carga acústica por unidad de área, componente r	Contornos 3–4, 6, 10–12, 14, 29–30, 33–34, 36, 48, 57–58	
acpr2.FAcoPerAr eaphi	$acpr2.p_t * acpr2.nphi * dvol_spatial * r / (dvol * R)$	N/m ²	Carga acústica por unidad de área, componente phi	Contornos 3–4, 6, 10–12, 14, 29–30, 33–34, 36, 48, 57–58	
acpr2.FAcoPerAr eaz	$acpr2.p_t * acpr2.nz * dvol_spatial * r / (dvol * R)$	N/m ²	Carga acústica por unidad de área, componente z	Contornos 3–4, 6, 10–12, 14, 29–30, 33–34, 36, 48, 57–58	
acpr2.p_t	$p2 + acpr2.p_b$	Pa	Campo total de presión acústica	Dominios 2–3, 14	
acpr2.c_c	$acpr2.iomega / acpr2.ik$	m/s	Velocidad del sonido compleja	Dominios 2–3, 14	
acpr2.rho_c	$acpr2.rho * (acpr2.c / acpr2.c_c)^2$	kg/m ³	Densidad compleja	Dominios 2–3, 14	
acpr2.Z	$acpr2.rho_c * acpr2.c_c$	Pa·s/m	Impedancia acústica característica	Dominios 2–3, 14	
acpr2.k	$acpr2.ik / i$	rad/m	Número de onda	Dominios 2–3, 14	
acpr2.ik	$acpr2.iomega / acpr2.c + acpr2.alpha1$	rad/m	Número de onda desfasado	Dominios 2–3, 14	
acpr2.delta_diff	2.0E-5[m ² /s]	m ² /s	Sound diffusivity	Dominios 2–3, 14	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.K_eff	$acpr2.rho_c * acpr2.c_c^2$	Pa	Módulo de compresibilidad efectivo	Dominios 2–3, 14	
acpr2.gradpr	$d(acpr2.p_t,r)$	N/m ³	Gradiente de la presión total, componente r	Dominios 2–3, 14	Operación +
acpr2.gradpphi	$-i * acpr2.m * acpr2.p_t/r$	N/m ³	Gradiente de la presión total, componente phi	Dominios 2–3, 14	Operación +
acpr2.gradpz	$d(acpr2.p_t,z)$	N/m ³	Gradiente de la presión total, componente z	Dominios 2–3, 14	Operación +
acpr2.gradtestpr	test(p2r)	N/m ³	Variable de ayuda, componente r	Dominios 2–3, 14	Operación +
acpr2.gradtestpphi	$i * acpr2.m * test(p2)/r$	N/m ³	Variable de ayuda, componente phi	Dominios 2–3, 14	Operación +
acpr2.gradtestpz	test(p2z)	N/m ³	Variable de ayuda, componente z	Dominios 2–3, 14	Operación +
acpr2.hessianpr	$d(d(acpr2.p_t,r),r)$	N/(m·m ³)	Hessiano de la presión total, componente rr	Dominios 2–3, 14	Operación +
acpr2.hessianpphi	$-i * acpr2.m * d(acpr2.p_t,r)/r$	N/(m·m ³)	Hessiano de la presión total, componente phir	Dominios 2–3, 14	Operación +
acpr2.hessianpz	$d(d(acpr2.p_t,z),r)$	N/(m·m ³)	Hessiano de la presión total, componente zr	Dominios 2–3, 14	Operación +
acpr2.hessianprphi	$-d(acpr2.p_t,r) * i * acpr2.m/r$	N/(m·m ³)	Hessiano de la presión total, componente rphi	Dominios 2–3, 14	Operación +
acpr2.hessianpphi	$acpr2.p_t * (i * acpr2.m)^2 / r^2$	N/(m·m ³)	Hessiano de la presión total, componente phiphi	Dominios 2–3, 14	Operación +
acpr2.hessianpzphi	$-d(acpr2.p_t,z) * i * acpr2.m/r$	N/(m·m ³)	Hessiano de la presión total, componente zphi	Dominios 2–3, 14	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.hessianprz	$d(d(\text{acpr2.p_t,r}),z)$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente rz	Dominios 2–3, 14	Operación +
acpr2.hessianpphiz	$-i \cdot \text{acpr2.m} \cdot d(\text{acpr2.p_t,z})/r$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente phiz	Dominios 2–3, 14	Operación +
acpr2.hessianpzz	$d(d(\text{acpr2.p_t,z}),z)$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente zz	Dominios 2–3, 14	Operación +
acpr2.hessiantestprr	$\text{test}(p2r)$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente rr	Dominios 2–3, 14	Operación +
acpr2.hessiantestp phir	$i \cdot \text{acpr2.m} \cdot \text{test}(p2r)/r$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente phir	Dominios 2–3, 14	Operación +
acpr2.hessiantestp zr	$\text{test}(p2zr)$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente zr	Dominios 2–3, 14	Operación +
acpr2.hessiantestp rphi	$\text{test}(p2r) \cdot i \cdot \text{acpr2.m}/r$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente rphi	Dominios 2–3, 14	Operación +
acpr2.hessiantestp phiphi	$\text{test}(p2) \cdot (i \cdot \text{acpr2.m})^2/r^2$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente phiphi	Dominios 2–3, 14	Operación +
acpr2.hessiantestp zphi	$\text{test}(p2z) \cdot i \cdot \text{acpr2.m}/r$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente zphi	Dominios 2–3, 14	Operación +
acpr2.hessiantestp rz	$\text{test}(p2rz)$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente rz	Dominios 2–3, 14	Operación +
acpr2.hessiantestp phiz	$i \cdot \text{acpr2.m} \cdot \text{test}(p2z)/r$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente phiz	Dominios 2–3, 14	Operación +
acpr2.hessiantestp zz	$\text{test}(p2zz)$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente zz	Dominios 2–3, 14	Operación +
acpr2.keq_sq	$-\text{acpr2.ik}^2 - (\text{acpr2.m}/r)^2$	$1/m^2$	Número de onda al cuadrado para	Dominios 2–3, 14	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			ecuaciones		
acpr2.keq	$\sqrt{\text{acpr2.keq_sq}}$	rad/m	Número de onda para ecuaciones	Dominios 2–3, 14	
acpr2.kip	$\sqrt{\text{acpr2.keq_sq}}$	rad/m	Número de onda en el plano	Dominios 2–3, 14	
acpr2.absp	$\sqrt{\text{realdot}(\text{acpr2.p_t}, \text{acpr2.p_t})}$	Pa	Presión absoluta	Dominios 2–3, 14	
acpr2.ar	$-(\text{acpr2.gradpr} - \text{acpr2.q_totr}) / \text{acpr2.rho_c}$	m/s ²	Aceleración local, componente r	Dominios 2–3, 14	
acpr2.aphi	$-(\text{acpr2.gradpphi} - \text{acpr2.q_totphi}) / \text{acpr2.rho_c}$	m/s ²	Aceleración local, componente phi	Dominios 2–3, 14	
acpr2.az	$-(\text{acpr2.gradpz} - \text{acpr2.q_totz}) / \text{acpr2.rho_c}$	m/s ²	Aceleración local, componente z	Dominios 2–3, 14	
acpr2.a_inst	$\sqrt{\text{real}(\text{acpr2.ar})^2 + \text{real}(\text{acpr2.aphi})^2 + \text{real}(\text{acpr2.az})^2}$	m/s ²	Aceleración local instantánea	Dominios 2–3, 14	
acpr2.aipr	acpr2.ar	m/s ²	Aceleración en el plano, componente r	Dominios 2–3, 14	
acpr2.aipphi	0	m/s ²	Aceleración en el plano, componente phi	Dominios 2–3, 14	
acpr2.aipz	acpr2.az	m/s ²	Aceleración en el plano, componente z	Dominios 2–3, 14	
acpr2.aopr	0	m/s ²	Aceleración fuera del plano, componente r	Dominios 2–3, 14	
acpr2.aopphi	acpr2.aphi	m/s ²	Aceleración fuera del plano, componente phi	Dominios 2–3, 14	
acpr2.aopz	0	m/s ²	Aceleración fuera del plano, componente z	Dominios 2–3, 14	
acpr2.a_rms	$\sqrt{0.5 * (\text{realdot}(\text{acpr2.ar}, \text{acpr2.ar}) + \text{r})}$	m/s ²	Aceleración	Dominios 2–	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
	$\text{ealdot}(\text{acpr2.aphi}, \text{acpr2.aphi}) + \text{realdot}(\text{acpr2.az}, \text{acpr2.az}))$		local, (RMS)	3, 14	
acpr2.vr	$-(\text{acpr2.gradpr} - \text{acpr2.q_totr}) / (\text{acpr2.rho_c} * \text{acpr2.iomega})$	m/s	Velocidad local, componente r	Dominios 2-3, 14	
acpr2.vphi	$-(\text{acpr2.gradpphi} - \text{acpr2.q_totphi}) / (\text{acpr2.rho_c} * \text{acpr2.iomega})$	m/s	Velocidad local, componente phi	Dominios 2-3, 14	
acpr2.vz	$-(\text{acpr2.gradpz} - \text{acpr2.q_totz}) / (\text{acpr2.rho_c} * \text{acpr2.iomega})$	m/s	Velocidad local, componente z	Dominios 2-3, 14	
acpr2.v_inst	$\sqrt{\text{real}(\text{acpr2.vr})^2 + \text{real}(\text{acpr2.vphi})^2 + \text{real}(\text{acpr2.vz})^2}$	m/s	Velocidad local instantánea	Dominios 2-3, 14	
acpr2.v_rms	$\sqrt{0.5 * (\text{realdot}(\text{acpr2.vr}, \text{acpr2.vr}) + \text{realdot}(\text{acpr2.vphi}, \text{acpr2.vphi}) + \text{realdot}(\text{acpr2.vz}, \text{acpr2.vz}))}$	m/s	Velocidad local, componente (RMS)	Dominios 2-3, 14	
acpr2.Ir	$0.5 * \text{realdot}(\text{acpr2.p_t}, \text{acpr2.vr})$	W/m ²	Intensidad, componente r	Dominios 2-3, 14	
acpr2.Iphi	$0.5 * \text{realdot}(\text{acpr2.p_t}, \text{acpr2.vphi})$	W/m ²	Intensidad, componente phi	Dominios 2-3, 14	
acpr2.Iz	$0.5 * \text{realdot}(\text{acpr2.p_t}, \text{acpr2.vz})$	W/m ²	Intensidad, componente z	Dominios 2-3, 14	
acpr2.I_mag	$\sqrt{\text{acpr2.Ir}^2 + \text{acpr2.Iphi}^2 + \text{acpr2.Iz}^2}$	W/m ²	Magnitud de intensidad	Dominios 2-3, 14	
acpr2.Lp	$10 * \log_{10}(0.5 * \text{acpr2.p_t} * \text{conj}(\text{acpr2.p_t}) / \text{acpr2.pref_SPL}^2)$	dB	Nivel de presión sonora	Dominios 2-3, 14	
acpr2.vipr	acpr2.vr	m/s	Velocidad en el plano,	Dominios 2-	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			componente r	3, 14	
acpr2.vipphi	0	m/s	Velocidad en el plano, componente phi	Dominios 2-3, 14	
acpr2.vipz	acpr2.vz	m/s	Velocidad en el plano, componente z	Dominios 2-3, 14	
acpr2.vopr	0	m/s	Velocidad fuera del plano, componente r	Dominios 2-3, 14	
acpr2.vopphi	acpr2.vphi	m/s	Velocidad fuera del plano, componente phi	Dominios 2-3, 14	
acpr2.vopz	0	m/s	Velocidad fuera del plano, componente z	Dominios 2-3, 14	
acpr2.diss_visc	0	W/m ³	Densidad de disipación de potencia viscosa	Dominios 2-3, 14	
acpr2.diss_therm	0	W/m ³	Densidad de disipación de potencia térmica	Dominios 2-3, 14	
acpr2.diss_tot	acpr2.diss_visc+acpr2.diss_therm	W/m ³	Densidad de disipación de potencia termo-viscosa total	Dominios 2-3, 14	
acpr2.Q_pw	-2*imag(acpr2.k)*acpr2.I_mag	W/m ³	Densidad de disipación total de onda plana	Dominios 2-3, 14	
acpr2.rho_eff_invrr	1/acpr2.rho_c	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 2-3, 14	
acpr2.rho_eff_invphir	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 2-3, 14	
acpr2.rho_eff_invzr	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 2-3, 14	
acpr2.rho_eff_invrphi	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 2-3, 14	
acpr2.rho_eff_invrphiphi	1/acpr2.rho_c	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 2-3, 14	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.rho_eff_inv zphi	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 2– 3, 14	
acpr2.rho_eff_inv rz	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 2– 3, 14	
acpr2.rho_eff_inv phiz	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 2– 3, 14	
acpr2.rho_eff_inv zz	1/acpr2.rho_c	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 2– 3, 14	
acpr2.rho_effrr	acpr2.rho_c	kg/m ³	Densidad efectiva, componente rr	Dominios 2– 3, 14	
acpr2.rho_effphir	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente phir	Dominios 2– 3, 14	
acpr2.rho_effzr	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente zr	Dominios 2– 3, 14	
acpr2.rho_effrphi	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente rphi	Dominios 2– 3, 14	
acpr2.rho_effphip hi	acpr2.rho_c	kg/m ³	Densidad efectiva, componente phiphi	Dominios 2– 3, 14	
acpr2.rho_effzphi	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente zphi	Dominios 2– 3, 14	
acpr2.rho_effrz	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente rz	Dominios 2– 3, 14	
acpr2.rho_effphiz	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente phiz	Dominios 2– 3, 14	
acpr2.rho_effzz	acpr2.rho_c	kg/m ³	Densidad efectiva, componente zz	Dominios 2– 3, 14	

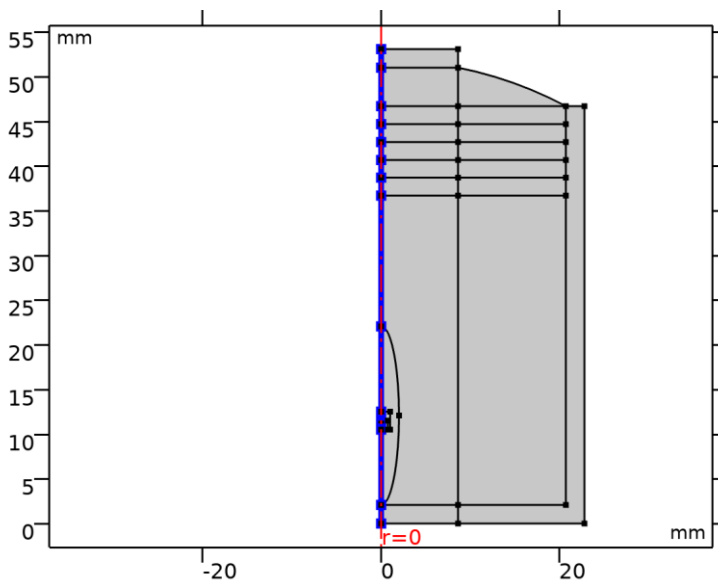
6.1.1.11 Funciones de forma

Nombre	Función de forma	Unidad	Descripción	Marco de forma	Selección
p2	Lagrange (Cuadrático)	Pa	Presión	Marco espacial	Dominios 2-3, 14

6.1.1.12 Expresiones débiles

Expresión débil	Orden de integración	Marco de integración	Selección
$2*(-acpr2.gradpr*acpr2.gradtestpr - acpr2.gradpphi*acpr2.gradtestpphi - acpr2.gradpz*acpr2.gradtestpz - acpr2.p_t*test(p2)*acpr2.ik^2)*acpr2.delta*pi*r/acpr2.rho_c$	4	Marco espacial	Dominios 2-3, 14
$2*acpr2.delta*acpr2.Q*test(p2)*pi*r$	4	Marco espacial	Dominios 2-3, 14
$2*acpr2.delta*(acpr2.q_totr*acpr2.gradtestpr + acpr2.q_totphi*acpr2.gradtestpphi + acpr2.q_totz*acpr2.gradtestpz)*pi*r/acpr2.rho_c$	4	Marco espacial	Dominios 2-3, 14

2.4.4 Simetría axial 1



Simetría axial 1

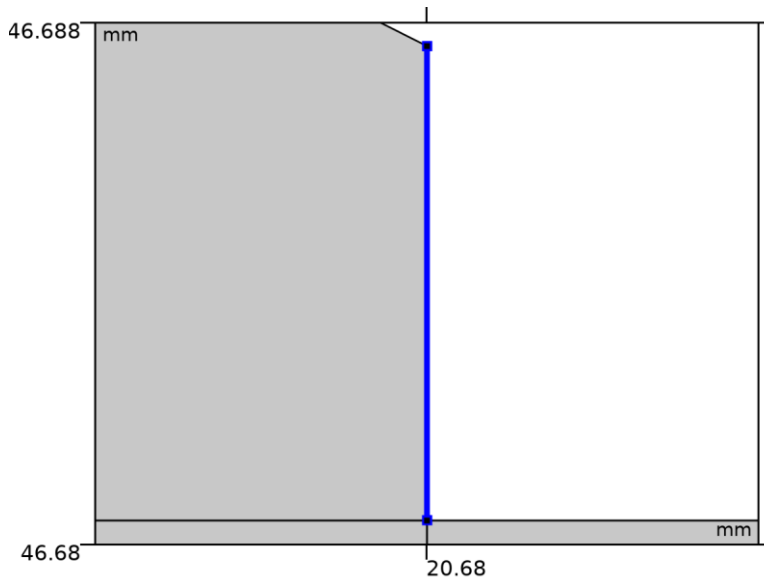
SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrico	Contorno
Selección	Geometría geom2: Dimensión 1: Todos los contornos

UTILIZAR PRODUCTOS

COMSOL Multiphysics

2.4.5 Contorno rígido al sonido (pared) 1



Contorno rígido al sonido (pared) 1

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrico	Contorno
Selección	Geometría geom2: Dimensión 1: Todos los contornos

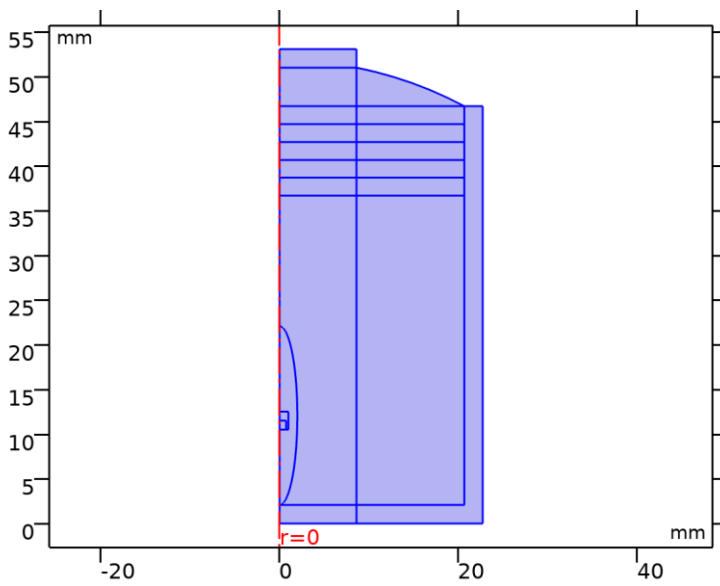
ECUACIONES

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

UTILIZAR PRODUCTOS

COMSOL Multiphysics

2.4.6 Valores iniciales 1



Valores iniciales 1

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrica	Dominio
Selección	Geometría geom2: Dimensión 2: Todos los dominios

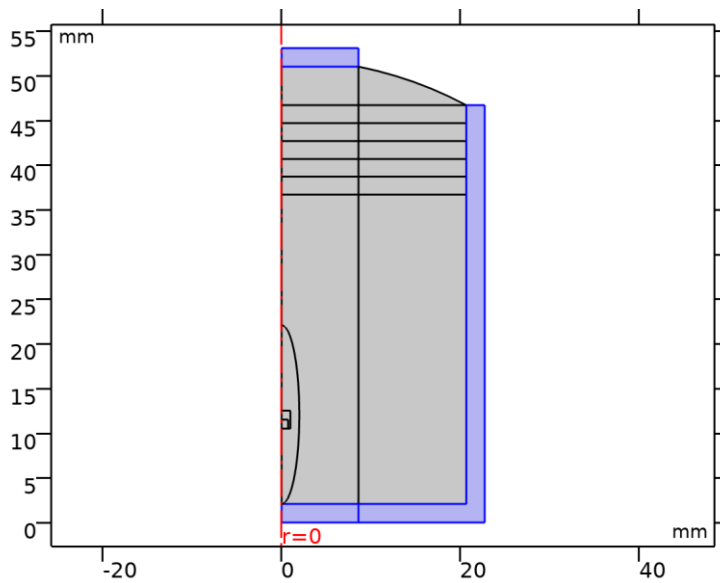
SETTINGS

Description	Value
Presión	101325

UTILIZAR PRODUCTOS

COMSOL Multiphysics

2.4.7 Presión acústica 2 - Recipiente



Presión acústica 2 - Recipiente

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrica	Dominio
Selección	Geometría geom2: Dimensión 2: Dominios 1, 12-13

ECUACIONES

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

$$p_t = p_2 + p_b$$

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

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

6.1.1.13 Modelo de presión acústica

SETTINGS

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

6.1.1.14 Entrada del modelo

SETTINGS

Description	Value
Temperatura	Definido por el usuario
Temperatura	TempAmbiente
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	Acrylic plastic	Basic
Velocidad del sonido	Acrylic plastic	Basic
Densidad	92.22% SiO2 - 7.78% B2O3 [solid]	Básico
Velocidad del sonido	92.22% SiO2 - 7.78% B2O3 [solid]	Básico

6.1.1.15 Variables

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.p_s	acpr2.p_t-acpr2.p_b	Pa	Campo de presión difractado	Dominios 1, 12-13	
acpr2.Lp_s	$10 \cdot \log_{10}(0.5 \cdot \text{acpr2.p}_s \cdot \text{conj}(\text{acpr2.p}_s) / \text{acpr2.pref}_S \cdot \text{PL}^2)$	dB	Nivel de presión de sonido difractado	Dominios 1, 12-13	
acpr2.p_b	0	Pa	Campo de presión en segundo plano	Dominios 1, 12-13	Operación +
acpr2.rho	material.rho	kg/m ³	Densidad	Dominios 1, 12-13	Meta
acpr2.c	material.c	m/s	Velocidad del sonido	Dominios 1, 12-13	Meta
acpr2.alpha1	Alpha_Recipiente	Np/m	Coefficiente de atenuación	Dominios 1, 12-13	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.q_totr	acpr2.qr	N/m ³	Fuente de dipolo total, componente r	Dominios 1, 12–13	Operación +
acpr2.q_totphi	acpr2.qphi	N/m ³	Fuente de dipolo total, componente phi	Dominios 1, 12–13	Operación +
acpr2.q_totz	acpr2.qz	N/m ³	Fuente de dipolo total, componente z	Dominios 1, 12–13	Operación +
acpr2.nacc	0	m/s ²	Inward acceleration (source)	Contornos 1–2, 4, 25–27, 31–32, 34, 47–53, 55–56, 59	Operación +
acpr2.Q	0	1/s ²	Total monopole domain source	Dominios 1, 12–13	Operación +
acpr2.qr	0	N/m ³	Fuente de dipolo de dominio, componente r	Dominios 1, 12–13	Operación +
acpr2.qphi	0	N/m ³	Fuente de dipolo de dominio, componente phi	Dominios 1, 12–13	Operación +
acpr2.qz	0	N/m ³	Fuente de dipolo de dominio, componente z	Dominios 1, 12–13	Operación +
acpr2.FAcoPerArea	acpr2.p_t*acpr2.nr*dvol_spatial*r/(dvol*R)	N/m ²	Carga acústica por unidad de área, componente r	Contornos 1–2, 4, 25–27, 31–32, 34, 47–53, 55–56, 59	
acpr2.FAcoPerAreaphi	acpr2.p_t*acpr2.nphi*dvol_spatial*r/(dvol*R)	N/m ²	Carga acústica por unidad de área, componente phi	Contornos 1–2, 4, 25–27, 31–32, 34, 47–53, 55–56, 59	
acpr2.FAcoPerAreaz	acpr2.p_t*acpr2.nz*dvol_spatial*r/(dvol*R)	N/m ²	Carga acústica por unidad de área, componente z	Contornos 1–2, 4, 25–27, 31–32, 34, 47–53, 55–56, 59	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.p_t	$p_2 + \text{acpr2.p}_b$	Pa	Campo total de presión acústica	Dominios 1, 12–13	
acpr2.c_c	$\text{acpr2.iomega}/\text{acpr2.ik}$	m/s	Velocidad del sonido compleja	Dominios 1, 12–13	
acpr2.rho_c	$\text{acpr2.rho} * (\text{acpr2.c} / \text{acpr2.c}_c)^2$	kg/m ³	Densidad compleja	Dominios 1, 12–13	
acpr2.Z	$\text{acpr2.rho}_c * \text{acpr2.c}_c$	Pa·s/m	Impedancia acústica característica	Dominios 1, 12–13	
acpr2.k	$\text{acpr2.ik}/i$	rad/m	Número de onda	Dominios 1, 12–13	
acpr2.ik	$\text{acpr2.iomega}/\text{acpr2.c} + \text{acpr2.alpha1}$	rad/m	Número de onda desfasado	Dominios 1, 12–13	
acpr2.delta_diff	2.0E-5[m ² /s]	m ² /s	Sound diffusivity	Dominios 1, 12–13	
acpr2.K_eff	$\text{acpr2.rho}_c * \text{acpr2.c}_c^2$	Pa	Módulo de compresibilidad efectivo	Dominios 1, 12–13	
acpr2.gradpr	$d(\text{acpr2.p}_t, r)$	N/m ³	Gradiente de la presión total, componente r	Dominios 1, 12–13	Operación +
acpr2.gradpphi	$-i * \text{acpr2.m} * \text{acpr2.p}_t / r$	N/m ³	Gradiente de la presión total, componente phi	Dominios 1, 12–13	Operación +
acpr2.gradpz	$d(\text{acpr2.p}_t, z)$	N/m ³	Gradiente de la presión total, componente z	Dominios 1, 12–13	Operación +
acpr2.gradtestpr	test(p2r)	N/m ³	Variable de ayuda, componente r	Dominios 1, 12–13	Operación +
acpr2.gradtestpphi	$i * \text{acpr2.m} * \text{test}(p_2) / r$	N/m ³	Variable de ayuda, componente phi	Dominios 1, 12–13	Operación +
acpr2.gradtestpz	test(p2z)	N/m ³	Variable de ayuda, componente z	Dominios 1, 12–13	Operación +
acpr2.hessianpr	$d(d(\text{acpr2.p}_t, r), r)$	N/(m·m ³)	Hessiano de la presión total, componente rr	Dominios 1, 12–13	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.hessianpphi r	$-i \cdot \text{acpr2.m} \cdot d(\text{acpr2.p_t,r})/r$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente phir	Dominios 1, 12–13	Operación +
acpr2.hessianpzr	$d(d(\text{acpr2.p_t,z}),r)$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente zr	Dominios 1, 12–13	Operación +
acpr2.hessianprphi	$-d(\text{acpr2.p_t,r}) \cdot i \cdot \text{acpr2.m}/r$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente rphi	Dominios 1, 12–13	Operación +
acpr2.hessianpphi phi	$\text{acpr2.p_t} \cdot (i \cdot \text{acpr2.m})^2 / r^2$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente phiphi	Dominios 1, 12–13	Operación +
acpr2.hessianpzphi	$-d(\text{acpr2.p_t,z}) \cdot i \cdot \text{acpr2.m}/r$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente zphi	Dominios 1, 12–13	Operación +
acpr2.hessianprz	$d(d(\text{acpr2.p_t,r}),z)$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente rz	Dominios 1, 12–13	Operación +
acpr2.hessianpphi z	$-i \cdot \text{acpr2.m} \cdot d(\text{acpr2.p_t,z})/r$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente phiz	Dominios 1, 12–13	Operación +
acpr2.hessianpzz	$d(d(\text{acpr2.p_t,z}),z)$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente zz	Dominios 1, 12–13	Operación +
acpr2.hessiantestp rr	test(p2rr)	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente rr	Dominios 1, 12–13	Operación +
acpr2.hessiantestp phir	$i \cdot \text{acpr2.m} \cdot \text{test}(p2r)/r$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente phir	Dominios 1, 12–13	Operación +
acpr2.hessiantestp zr	test(p2zr)	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente zr	Dominios 1, 12–13	Operación +
acpr2.hessiantestp rphi	test(p2r) \cdot i \cdot acpr2.m/r	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente rphi	Dominios 1, 12–13	Operación +
acpr2.hessiantestp phiphi	test(p2) \cdot (i \cdot acpr2.m) ² / r ²	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda,	Dominios 1, 12–13	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			componente phiphi		
acpr2.hessiantestp zphi	test(p2z)*i*acpr2. m/r	N/(m·m ³)	Variable de ayuda, componente zphi	Dominios 1, 12–13	Operación +
acpr2.hessiantestp rz	test(p2rz)	N/(m·m ³)	Variable de ayuda, componente rz	Dominios 1, 12–13	Operación +
acpr2.hessiantestp phiz	i*acpr2.m*test(p2 z)/r	N/(m·m ³)	Variable de ayuda, componente phiz	Dominios 1, 12–13	Operación +
acpr2.hessiantestp zz	test(p2zz)	N/(m·m ³)	Variable de ayuda, componente zz	Dominios 1, 12–13	Operación +
acpr2.keq_sq	-acpr2.ik^2- (acpr2.m/r)^2	1/m ²	Número de onda al cuadrado para ecuaciones	Dominios 1, 12–13	Operación +
acpr2.keq	sqrt(acpr2.keq_sq)	rad/m	Número de onda para ecuaciones	Dominios 1, 12–13	
acpr2.kip	sqrt(acpr2.keq_sq)	rad/m	Número de onda en el plano	Dominios 1, 12–13	
acpr2.absp	sqrt(realdot(acpr2. p_t,acpr2.p_t))	Pa	Presión absoluta	Dominios 1, 12–13	
acpr2.ar	-(acpr2.gradpr- acpr2.q_totr)/acpr 2.rho_c	m/s ²	Aceleración local, componente r	Dominios 1, 12–13	
acpr2.aphi	-(acpr2.gradpphi- acpr2.q_totphi)/ac pr2.rho_c	m/s ²	Aceleración local, componente phi	Dominios 1, 12–13	
acpr2.az	-(acpr2.gradpz- acpr2.q_totz)/acpr 2.rho_c	m/s ²	Aceleración local, componente z	Dominios 1, 12–13	
acpr2.a_inst	sqrt(real(acpr2.ar) ^2+real(acpr2.aphi)^2+real(acpr2.az) ^2)	m/s ²	Aceleración local instantánea	Dominios 1, 12–13	
acpr2.aipr	acpr2.ar	m/s ²	Aceleración en el plano, componente r	Dominios 1, 12–13	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.aipphi	0	m/s ²	Aceleración en el plano, componente phi	Dominios 1, 12-13	
acpr2.aipz	acpr2.az	m/s ²	Aceleración en el plano, componente z	Dominios 1, 12-13	
acpr2.aopr	0	m/s ²	Aceleración fuera del plano, componente r	Dominios 1, 12-13	
acpr2.aopphi	acpr2.aphi	m/s ²	Aceleración fuera del plano, componente phi	Dominios 1, 12-13	
acpr2.aopz	0	m/s ²	Aceleración fuera del plano, componente z	Dominios 1, 12-13	
acpr2.a_rms	$\sqrt{0.5*(\text{realdot}(acpr2.ar,acpr2.ar)+\text{realdot}(acpr2.aphi,acpr2.aphi)+\text{realdot}(acpr2.az,acpr2.az))}$	m/s ²	Aceleración local, (RMS)	Dominios 1, 12-13	
acpr2.vr	$-(acpr2.gradpr-acpr2.q_totr)/(acpr2.rho_c*acpr2.iomega)$	m/s	Velocidad local, componente r	Dominios 1, 12-13	
acpr2.vphi	$-(acpr2.gradpphi-acpr2.q_totphi)/(acpr2.rho_c*acpr2.iomega)$	m/s	Velocidad local, componente phi	Dominios 1, 12-13	
acpr2.vz	$-(acpr2.gradpz-acpr2.q_totz)/(acpr2.rho_c*acpr2.iomega)$	m/s	Velocidad local, componente z	Dominios 1, 12-13	
acpr2.v_inst	$\sqrt{\text{real}(acpr2.vr)^2+\text{real}(acpr2.vphi)^2+\text{real}(acpr2.vz)^2}$	m/s	Velocidad local instantánea	Dominios 1, 12-13	
acpr2.v_rms	$\sqrt{0.5*(\text{realdot}(acpr2.vr,acpr2.vr)+\text{realdot}(acpr2.vphi,acpr2.vphi)+\text{realdot}(acpr2.vz,acpr2.vz))}$	m/s	Velocidad local, componente (RMS)	Dominios 1, 12-13	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
	$\text{ot}(\text{acpr2.vz}, \text{acpr2.vz}))$				
acpr2.Ir	$0.5 * \text{realdot}(\text{acpr2.p}_t, \text{acpr2.vr})$	W/m ²	Intensidad, componente r	Dominios 1, 12–13	
acpr2.Iphi	$0.5 * \text{realdot}(\text{acpr2.p}_t, \text{acpr2.vphi})$	W/m ²	Intensidad, componente phi	Dominios 1, 12–13	
acpr2.Iz	$0.5 * \text{realdot}(\text{acpr2.p}_t, \text{acpr2.vz})$	W/m ²	Intensidad, componente z	Dominios 1, 12–13	
acpr2.I_mag	$\text{sqrt}(\text{acpr2.Ir}^2 + \text{acpr2.Iphi}^2 + \text{acpr2.Iz}^2)$	W/m ²	Magnitud de intensidad	Dominios 1, 12–13	
acpr2.Lp	$10 * \log_{10}(0.5 * \text{acpr2.p}_t * \text{conj}(\text{acpr2.p}_t) / \text{acpr2.pref_SPL}^2)$	dB	Nivel de presión sonora	Dominios 1, 12–13	
acpr2.vipr	acpr2.vr	m/s	Velocidad en el plano, componente r	Dominios 1, 12–13	
acpr2.vipphi	0	m/s	Velocidad en el plano, componente phi	Dominios 1, 12–13	
acpr2.vipz	acpr2.vz	m/s	Velocidad en el plano, componente z	Dominios 1, 12–13	
acpr2.vopr	0	m/s	Velocidad fuera del plano, componente r	Dominios 1, 12–13	
acpr2.vopphi	acpr2.vphi	m/s	Velocidad fuera del plano, componente phi	Dominios 1, 12–13	
acpr2.vopz	0	m/s	Velocidad fuera del plano, componente z	Dominios 1, 12–13	
acpr2.diss_visc	0	W/m ³	Densidad de disipación de potencia viscosa	Dominios 1, 12–13	
acpr2.diss_therm	0	W/m ³	Densidad de disipación de potencia térmica	Dominios 1, 12–13	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.diss_tot	$acpr2.diss_visc + acpr2.diss_therm$	W/m ³	Densidad de disipación de potencia termo-viscosa total	Dominios 1, 12-13	
acpr2.Q_pw	$-2 * \text{imag}(acpr2.k) * acpr2.I_mag$	W/m ³	Densidad de disipación total de onda plana	Dominios 1, 12-13	
acpr2.rho_eff_invrr	$1/acpr2.rho_c$	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 1, 12-13	
acpr2.rho_eff_invphir	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 1, 12-13	
acpr2.rho_eff_invzr	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 1, 12-13	
acpr2.rho_eff_invrphi	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 1, 12-13	
acpr2.rho_eff_invphiphi	$1/acpr2.rho_c$	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 1, 12-13	
acpr2.rho_eff_invzphi	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 1, 12-13	
acpr2.rho_eff_invrz	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 1, 12-13	
acpr2.rho_eff_invphiz	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 1, 12-13	
acpr2.rho_eff_invzz	$1/acpr2.rho_c$	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 1, 12-13	
acpr2.rho_effir	$acpr2.rho_c$	kg/m ³	Densidad efectiva, componente rr	Dominios 1, 12-13	
acpr2.rho_effphir	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente phir	Dominios 1, 12-13	
acpr2.rho_effzr	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente zr	Dominios 1, 12-13	
acpr2.rho_effrphi	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente rphi	Dominios 1, 12-13	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.rho_effpphi	acpr2.rho_c	kg/m ³	Densidad efectiva, componente pphi	Dominios 1, 12–13	
acpr2.rho_effzphi	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente zphi	Dominios 1, 12–13	
acpr2.rho_effrz	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente rz	Dominios 1, 12–13	
acpr2.rho_effphiz	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente phiz	Dominios 1, 12–13	
acpr2.rho_effzz	acpr2.rho_c	kg/m ³	Densidad efectiva, componente zz	Dominios 1, 12–13	

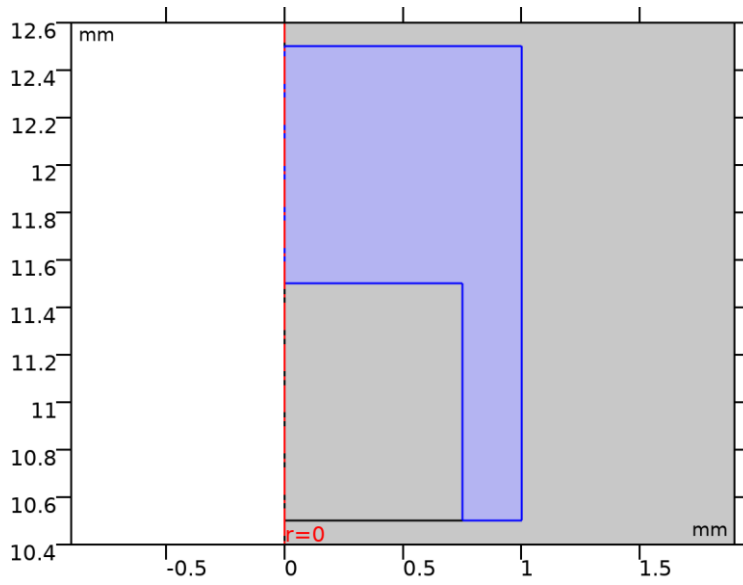
6.1.1.16 Funciones de forma

Nombre	Función de forma	Unidad	Descripción	Marco de forma	Selección
p2	Lagrange (Cuadrático)	Pa	Presión	Marco espacial	Dominios 1, 12–13

6.1.1.17 Expresiones débiles

Expresión débil	Orden de integración	Marco de integración	Selección
$2*(-acpr2.gradpr*acpr2.gradtestpr-acpr2.gradpphi*acpr2.gradtestpphi-acpr2.gradpz*acpr2.gradtestpz-acpr2.p_t*test(p2)*acpr2.ik^2)*acpr2.delta*pi*r/acpr2.rho_c$	4	Marco espacial	Dominios 1, 12–13
$2*acpr2.delta*acpr2.Q*test(p2)*pi*r$	4	Marco espacial	Dominios 1, 12–13
$2*acpr2.delta*(acpr2.q_totr*acpr2.gradtestpr+acpr2.q_totphi*acpr2.gradtestpphi+acpr2.q_totz*acpr2.gradtestpz)*pi*r/acpr2.rho_c$	4	Marco espacial	Dominios 1, 12–13

2.4.8 Presión acústica 3 - Hielo



Presión acústica 3 - Hielo

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrica	Dominio
Selección	Geometría geom2: Dimensión 2: Dominio 5

ECUACIONES

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

$$p_t = p_2 + p_b$$

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

$$c_c = c, \quad \rho_c = \rho$$

6.1.1.18 Modelo de presión acústica

SETTINGS

Description	Value
Modelo de fluido	Elástico lineal
Especificar	Densidad y velocidad del sonido
Velocidad del sonido	Del material
Densidad	Del material

6.1.1.19 Entrada del modelo

SETTINGS

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

UTILIZAR PRODUCTOS

COMSOL Multiphysics

PROPIEDADES DESDE EL MATERIAL

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

6.1.1.20 Variables

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.p_s	acpr2.p_t-acpr2.p_b	Pa	Campo de presión difractado	Dominio 5	
acpr2.Lp_s	$10 \cdot \log_{10}(0.5 \cdot \text{acpr2.p}_s \cdot \text{conj}(\text{acpr2.p}_s) / \text{acpr2.pref}_S \cdot \text{PL}^2)$	dB	Nivel de presión de sonido difractado	Dominio 5	
acpr2.p_b	0	Pa	Campo de presión en segundo plano	Dominio 5	Operación +
acpr2.rho	material.rho	kg/m ³	Densidad	Dominio 5	Meta
acpr2.c	material.c	m/s	Velocidad del sonido	Dominio 5	Meta
acpr2.q_totr	acpr2.qr	N/m ³	Fuente de dipolo total, componente r	Dominio 5	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.q_totphi	acpr2.qphi	N/m ³	Fuente de dipolo total, componente phi	Dominio 5	Operación +
acpr2.q_totz	acpr2.qz	N/m ³	Fuente de dipolo total, componente z	Dominio 5	Operación +
acpr2.nacc	0	m/s ²	Inward acceleration (source)	Contornos 7–9, 11, 28–30	Operación +
acpr2.Q	0	1/s ²	Total monopole domain source	Dominio 5	Operación +
acpr2.qr	0	N/m ³	Fuente de dipolo de dominio, componente r	Dominio 5	Operación +
acpr2.qphi	0	N/m ³	Fuente de dipolo de dominio, componente phi	Dominio 5	Operación +
acpr2.qz	0	N/m ³	Fuente de dipolo de dominio, componente z	Dominio 5	Operación +
acpr2.FAcoPerArear	acpr2.p_t*acpr2.nr*dvol_spatial*r/(dvol*R)	N/m ²	Carga acústica por unidad de área, componente r	Contornos 7–9, 11, 28–30	
acpr2.FAcoPerAreaphi	acpr2.p_t*acpr2.nphi*dvol_spatial*r/(dvol*R)	N/m ²	Carga acústica por unidad de área, componente phi	Contornos 7–9, 11, 28–30	
acpr2.FAcoPerAreaz	acpr2.p_t*acpr2.nz*dvol_spatial*r/(dvol*R)	N/m ²	Carga acústica por unidad de área, componente z	Contornos 7–9, 11, 28–30	
acpr2.p_t	p2+acpr2.p_b	Pa	Campo total de presión acústica	Dominio 5	
acpr2.c_c	acpr2.c	m/s	Velocidad del sonido compleja	Dominio 5	
acpr2.rho_c	acpr2.rho	kg/m ³	Densidad compleja	Dominio 5	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.Z	$acpr2.rho_c * acpr2.c_c$	Pa·s/m	Impedancia acústica característica	Dominio 5	
acpr2.k	$acpr2.iomega / (i * acpr2.c_c)$	rad/m	Número de onda	Dominio 5	
acpr2.ik	$acpr2.iomega / acpr2.c_c$	rad/m	Número de onda desfasado	Dominio 5	
acpr2.delta_diff	$2.0E-5 [m^2/s]$	m ² /s	Sound diffusivity	Dominio 5	
acpr2.K_eff	$acpr2.rho_c * acpr2.c_c^2$	Pa	Módulo de compresibilidad efectivo	Dominio 5	
acpr2.gradpr	$d(acpr2.p_t,r)$	N/m ³	Gradiente de la presión total, componente r	Dominio 5	Operación +
acpr2.gradpphi	$-i * acpr2.m * acpr2.p_t/r$	N/m ³	Gradiente de la presión total, componente phi	Dominio 5	Operación +
acpr2.gradpz	$d(acpr2.p_t,z)$	N/m ³	Gradiente de la presión total, componente z	Dominio 5	Operación +
acpr2.gradtestpr	$test(p2r)$	N/m ³	Variable de ayuda, componente r	Dominio 5	Operación +
acpr2.gradtestpphi	$i * acpr2.m * test(p2)/r$	N/m ³	Variable de ayuda, componente phi	Dominio 5	Operación +
acpr2.gradtestpz	$test(p2z)$	N/m ³	Variable de ayuda, componente z	Dominio 5	Operación +
acpr2.hessianpr	$d(d(acpr2.p_t,r),r)$	N/(m·m ³)	Hessiano de la presión total, componente rr	Dominio 5	Operación +
acpr2.hessianpphi	$-i * acpr2.m * d(acpr2.p_t,r)/r$	N/(m·m ³)	Hessiano de la presión total, componente phir	Dominio 5	Operación +
acpr2.hessianpz	$d(d(acpr2.p_t,z),r)$	N/(m·m ³)	Hessiano de la presión total, componente zr	Dominio 5	Operación +
acpr2.hessianprph	-	N/(m·m ³)	Hessiano de la	Dominio 5	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
i	$d(\text{acpr2.p_t,r}) \cdot i \cdot \text{acpr2.m/r}$		presión total, componente rphi		
acpr2.hessianpphi	$\text{acpr2.p_t} \cdot (i \cdot \text{acpr2.m})^2 / r^2$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente pphi	Dominio 5	Operación +
acpr2.hessianpzphi	$-d(\text{acpr2.p_t,z}) \cdot i \cdot \text{acpr2.m/r}$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente zphi	Dominio 5	Operación +
acpr2.hessianprz	$d(d(\text{acpr2.p_t,r},z))$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente rz	Dominio 5	Operación +
acpr2.hessianpphi z	$-i \cdot \text{acpr2.m} \cdot d(\text{acpr2.p_t,z}) / r$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente phiz	Dominio 5	Operación +
acpr2.hessianpzz	$d(d(\text{acpr2.p_t,z},z))$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente zz	Dominio 5	Operación +
acpr2.hessiantestprr	test(p2rr)	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente rr	Dominio 5	Operación +
acpr2.hessiantestp phir	$i \cdot \text{acpr2.m} \cdot \text{test}(p2r) / r$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente phir	Dominio 5	Operación +
acpr2.hessiantestp zr	test(p2zr)	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente zr	Dominio 5	Operación +
acpr2.hessiantestp rphi	test(p2r) $\cdot i \cdot \text{acpr2.m/r}$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente rphi	Dominio 5	Operación +
acpr2.hessiantestp phi phi	test(p2) $\cdot (i \cdot \text{acpr2.m})^2 / r^2$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente phi phi	Dominio 5	Operación +
acpr2.hessiantestp zphi	test(p2z) $\cdot i \cdot \text{acpr2.m/r}$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente zphi	Dominio 5	Operación +
acpr2.hessiantestp rz	test(p2rz)	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda,	Dominio 5	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			componente rz		
acpr2.hessiantestp phiz	$i \cdot \text{acpr2.m} \cdot \text{test}(p2z)/r$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente phiz	Dominio 5	Operación +
acpr2.hessiantestp zz	$\text{test}(p2zz)$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente zz	Dominio 5	Operación +
acpr2.keq_sq	$-\text{acpr2.ik}^2 - (\text{acpr2.m}/r)^2$	$1/m^2$	Número de onda al cuadrado para ecuaciones	Dominio 5	Operación +
acpr2.keq	$\text{sqrt}(\text{acpr2.keq_sq})$	rad/m	Número de onda para ecuaciones	Dominio 5	
acpr2.kip	$\text{sqrt}(\text{acpr2.keq_sq})$	rad/m	Número de onda en el plano	Dominio 5	
acpr2.absp	$\text{sqrt}(\text{realdot}(\text{acpr2.p_t}, \text{acpr2.p_t}))$	Pa	Presión absoluta	Dominio 5	
acpr2.ar	$-(\text{acpr2.gradpr} - \text{acpr2.q_totr})/\text{acpr2.rho_c}$	m/s^2	Aceleración local, componente r	Dominio 5	
acpr2.aphi	$-(\text{acpr2.gradpphi} - \text{acpr2.q_totphi})/\text{acpr2.rho_c}$	m/s^2	Aceleración local, componente phi	Dominio 5	
acpr2.az	$-(\text{acpr2.gradpz} - \text{acpr2.q_totz})/\text{acpr2.rho_c}$	m/s^2	Aceleración local, componente z	Dominio 5	
acpr2.a_inst	$\text{sqrt}(\text{real}(\text{acpr2.ar})^2 + \text{real}(\text{acpr2.aphi})^2 + \text{real}(\text{acpr2.az})^2)$	m/s^2	Aceleración local instantánea	Dominio 5	
acpr2.aipr	acpr2.ar	m/s^2	Aceleración en el plano, componente r	Dominio 5	
acpr2.aipphi	0	m/s^2	Aceleración en el plano, componente phi	Dominio 5	
acpr2.aipz	acpr2.az	m/s^2	Aceleración en el plano, componente z	Dominio 5	
acpr2.aopr	0	m/s^2	Aceleración fuera del plano,	Dominio 5	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			componente r		
acpr2.aopphi	acpr2.aphi	m/s ²	Aceleración fuera del plano, componente phi	Dominio 5	
acpr2.aopz	0	m/s ²	Aceleración fuera del plano, componente z	Dominio 5	
acpr2.a_rms	$\sqrt{0.5*(\text{realdot}(acpr2.ar,acpr2.ar)+\text{realdot}(acpr2.aphi,acpr2.aphi)+\text{realdot}(acpr2.az,acpr2.az))}$	m/s ²	Aceleración local, (RMS)	Dominio 5	
acpr2.vr	$-(acpr2.gradpr-acpr2.q_totr)/(acpr2.rho_c*acpr2.iomega)$	m/s	Velocidad local, componente r	Dominio 5	
acpr2.vphi	$-(acpr2.gradpphi-acpr2.q_totphi)/(acpr2.rho_c*acpr2.iomega)$	m/s	Velocidad local, componente phi	Dominio 5	
acpr2.vz	$-(acpr2.gradpz-acpr2.q_totz)/(acpr2.rho_c*acpr2.iomega)$	m/s	Velocidad local, componente z	Dominio 5	
acpr2.v_inst	$\sqrt{\text{real}(acpr2.vr)^2+\text{real}(acpr2.vphi)^2+\text{real}(acpr2.vz)^2}$	m/s	Velocidad local instantánea	Dominio 5	
acpr2.v_rms	$\sqrt{0.5*(\text{realdot}(acpr2.vr,acpr2.vr)+\text{realdot}(acpr2.vphi,acpr2.vphi)+\text{realdot}(acpr2.vz,acpr2.vz))}$	m/s	Velocidad local, componente (RMS)	Dominio 5	
acpr2.Ir	$0.5*\text{realdot}(acpr2.p_t,acpr2.vr)$	W/m ²	Intensidad, componente r	Dominio 5	
acpr2.Iphi	$0.5*\text{realdot}(acpr2.p_t,acpr2.vphi)$	W/m ²	Intensidad, componente phi	Dominio 5	
acpr2.Iz	$0.5*\text{realdot}(acpr2.p_t,acpr2.vz)$	W/m ²	Intensidad,	Dominio 5	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
	p_t,acpr2.vz)		componente z		
acpr2.I_mag	$\sqrt{\text{acpr2.Ir}^2 + \text{acpr2.Iphi}^2 + \text{acpr2.Iz}^2}$	W/m ²	Magnitud de intensidad	Dominio 5	
acpr2.Lp	$10 \cdot \log_{10}(0.5 \cdot \text{acpr2.p}_t \cdot \text{conj}(\text{acpr2.p}_t) / \text{acpr2.pref_SPL}^2)$	dB	Nivel de presión sonora	Dominio 5	
acpr2.vipr	acpr2.vr	m/s	Velocidad en el plano, componente r	Dominio 5	
acpr2.vipphi	0	m/s	Velocidad en el plano, componente phi	Dominio 5	
acpr2.vipz	acpr2.vz	m/s	Velocidad en el plano, componente z	Dominio 5	
acpr2.vopr	0	m/s	Velocidad fuera del plano, componente r	Dominio 5	
acpr2.vopphi	acpr2.vphi	m/s	Velocidad fuera del plano, componente phi	Dominio 5	
acpr2.vopz	0	m/s	Velocidad fuera del plano, componente z	Dominio 5	
acpr2.diss_visc	0	W/m ³	Densidad de disipación de potencia viscosa	Dominio 5	
acpr2.diss_therm	0	W/m ³	Densidad de disipación de potencia térmica	Dominio 5	
acpr2.diss_tot	acpr2.diss_visc+acpr2.diss_therm	W/m ³	Densidad de disipación de potencia termo-viscosa total	Dominio 5	
acpr2.Q_pw	$-2 \cdot \text{imag}(\text{acpr2.k}) \cdot \text{acpr2.I_mag}$	W/m ³	Densidad de disipación total de onda plana	Dominio 5	
acpr2.rho_eff_inv	1/acpr2.rho_c	m ³ /kg	Inverse of the	Dominio 5	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
rr			effective density		
acpr2.rho_eff_inv phir	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominio 5	
acpr2.rho_eff_inv zr	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominio 5	
acpr2.rho_eff_inv rphi	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominio 5	
acpr2.rho_eff_inv phiphi	1/acpr2.rho_c	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominio 5	
acpr2.rho_eff_inv zphi	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominio 5	
acpr2.rho_eff_inv rz	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominio 5	
acpr2.rho_eff_inv phiz	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominio 5	
acpr2.rho_eff_inv zz	1/acpr2.rho_c	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominio 5	
acpr2.rho_effrr	acpr2.rho_c	kg/m ³	Densidad efectiva, componente rr	Dominio 5	
acpr2.rho_effphir	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente phir	Dominio 5	
acpr2.rho_effzr	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente zr	Dominio 5	
acpr2.rho_effrphi	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente rphi	Dominio 5	
acpr2.rho_effphiphi	acpr2.rho_c	kg/m ³	Densidad efectiva, componente phiphi	Dominio 5	
acpr2.rho_effzphi	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente zphi	Dominio 5	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.rho_effrz	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente rz	Dominio 5	
acpr2.rho_effphiz	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente phiz	Dominio 5	
acpr2.rho_effzz	acpr2.rho_c	kg/m ³	Densidad efectiva, componente zz	Dominio 5	

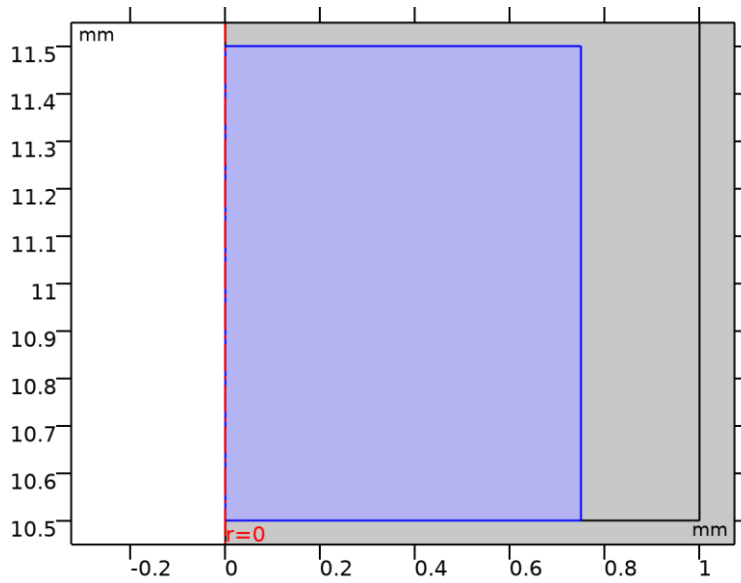
6.1.1.21 Funciones de forma

Nombre	Función de forma	Unidad	Descripción	Marco de forma	Selección
p2	Lagrange (Cuadrático)	Pa	Presión	Marco espacial	Dominio 5

6.1.1.22 Expresiones débiles

Expresión débil	Orden de integración	Marco de integración	Selección
2*(-acpr2.gradpr*acpr2.gradtestpr-acpr2.gradpphi*acpr2.gradtestpphi-acpr2.gradpz*acpr2.gradtestpz-acpr2.p_t*test(p2)*acpr2.ik^2)*acpr2.delta*pi*r/acpr2.rho_c	4	Marco espacial	Dominio 5
2*acpr2.delta*acpr2.Q*test(p2)*pi*r	4	Marco espacial	Dominio 5
2*acpr2.delta*(acpr2.q_totr*acpr2.gradtestpr+acpr2.q_totphi*acpr2.gradtestpphi+acpr2.q_totz*acpr2.gradtestpz)*pi*r/acpr2.rho_c	4	Marco espacial	Dominio 5

2.4.9 Presión acústica 4 - Aorta



Presión acústica 4 - Aorta

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrica	Dominio
Selección	Geometría geom2: Dimensión 2: Dominio 4

ECUACIONES

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

$$p_t = p_2 + p_b$$

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

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

6.1.1.23 Modelo de presión acústica

SETTINGS

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

6.1.1.24 Entrada del modelo

SETTINGS

Description	Value
Temperatura	Definido por el usuario
Temperatura	TempHielo
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

6.1.1.25 Variables

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.p_s	acpr2.p_t- acpr2.p_b	Pa	Campo de presión difractado	Dominio 4	
acpr2.Lp_s	$10 \cdot \log_{10}(0.5 \cdot \text{acpr2.p}_s \cdot \text{conj}(\text{acpr2.p}_s) / \text{acpr2.pref}_S \text{ PL}^2)$	dB	Nivel de presión de sonido difractado	Dominio 4	
acpr2.p_b	0	Pa	Campo de presión en segundo plano	Dominio 4	Operación +
acpr2.rho	material.rho	kg/m ³	Densidad	Dominio 4	Meta
acpr2.c	material.c	m/s	Velocidad del sonido	Dominio 4	Meta
acpr2.alpha1	Alpha_Aorta	Np/m	Coefficiente de atenuación	Dominio 4	
acpr2.q_totr	acpr2.qr	N/m ³	Fuente de dipolo total, componente r	Dominio 4	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.q_totphi	acpr2.qphi	N/m ³	Fuente de dipolo total, componente phi	Dominio 4	Operación +
acpr2.q_totz	acpr2.qz	N/m ³	Fuente de dipolo total, componente z	Dominio 4	Operación +
acpr2.nacc	0	m/s ²	Inward acceleration (source)	Contornos 5–6, 8, 28	Operación +
acpr2.Q	0	1/s ²	Total monopole domain source	Dominio 4	Operación +
acpr2.qr	0	N/m ³	Fuente de dipolo de dominio, componente r	Dominio 4	Operación +
acpr2.qphi	0	N/m ³	Fuente de dipolo de dominio, componente phi	Dominio 4	Operación +
acpr2.qz	0	N/m ³	Fuente de dipolo de dominio, componente z	Dominio 4	Operación +
acpr2.FAcoPerAr ear	$acpr2.p_t * acpr2.nr * dvol_spatial * r / (dvol * R)$	N/m ²	Carga acústica por unidad de área, componente r	Contornos 5–6, 8, 28	
acpr2.FAcoPerAr eaphi	$acpr2.p_t * acpr2.nphi * dvol_spatial * r / (dvol * R)$	N/m ²	Carga acústica por unidad de área, componente phi	Contornos 5–6, 8, 28	
acpr2.FAcoPerAr eaz	$acpr2.p_t * acpr2.nz * dvol_spatial * r / (dvol * R)$	N/m ²	Carga acústica por unidad de área, componente z	Contornos 5–6, 8, 28	
acpr2.p_t	$p2 + acpr2.p_b$	Pa	Campo total de presión acústica	Dominio 4	
acpr2.c_c	$acpr2.iomega / acpr2.ik$	m/s	Velocidad del sonido compleja	Dominio 4	
acpr2.rho_c	$acpr2.rho * (acpr2.c / acpr2.c_c)^2$	kg/m ³	Densidad compleja	Dominio 4	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.Z	$acpr2.rho_c * acpr2.c_c$	Pa·s/m	Impedancia acústica característica	Dominio 4	
acpr2.k	$acpr2.ik/i$	rad/m	Número de onda	Dominio 4	
acpr2.ik	$acpr2.iomega/acpr2.c+acpr2.alpha1$	rad/m	Número de onda desfasado	Dominio 4	
acpr2.delta_diff	$2.0E-5[m^2/s]$	m ² /s	Sound diffusivity	Dominio 4	
acpr2.K_eff	$acpr2.rho_c * acpr2.c_c^2$	Pa	Módulo de compresibilidad efectivo	Dominio 4	
acpr2.gradpr	$d(acpr2.p_t,r)$	N/m ³	Gradiente de la presión total, componente r	Dominio 4	Operación +
acpr2.gradpphi	$-i * acpr2.m * acpr2.p_t/r$	N/m ³	Gradiente de la presión total, componente phi	Dominio 4	Operación +
acpr2.gradpz	$d(acpr2.p_t,z)$	N/m ³	Gradiente de la presión total, componente z	Dominio 4	Operación +
acpr2.gradtestpr	$test(p2r)$	N/m ³	Variable de ayuda, componente r	Dominio 4	Operación +
acpr2.gradtestpphi	$i * acpr2.m * test(p2)/r$	N/m ³	Variable de ayuda, componente phi	Dominio 4	Operación +
acpr2.gradtestpz	$test(p2z)$	N/m ³	Variable de ayuda, componente z	Dominio 4	Operación +
acpr2.hessianpr	$d(d(acpr2.p_t,r),r)$	N/(m·m ³)	Hessiano de la presión total, componente rr	Dominio 4	Operación +
acpr2.hessianpphi	$-i * acpr2.m * d(acpr2.p_t,r)/r$	N/(m·m ³)	Hessiano de la presión total, componente phir	Dominio 4	Operación +
acpr2.hessianpz	$d(d(acpr2.p_t,z),r)$	N/(m·m ³)	Hessiano de la presión total, componente zr	Dominio 4	Operación +
acpr2.hessianprphi	$-d(acpr2.p_t,r) * i * a$	N/(m·m ³)	Hessiano de la presión total,	Dominio 4	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
	$cpr2.m/r$		componente rphi		
acpr2.hessianpphi	$acpr2.p_t*(i*acpr2.m)^2/r^2$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente phiphi	Dominio 4	Operación +
acpr2.hessianpzphi	$-d(acpr2.p_t,z)*i*acpr2.m/r$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente zphi	Dominio 4	Operación +
acpr2.hessianprz	$d(d(acpr2.p_t,r),z)$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente rz	Dominio 4	Operación +
acpr2.hessianpphiz	$-i*acpr2.m*d(acpr2.p_t,z)/r$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente phiz	Dominio 4	Operación +
acpr2.hessianpzz	$d(d(acpr2.p_t,z),z)$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente zz	Dominio 4	Operación +
acpr2.hessiantestprr	$test(p2rr)$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente rr	Dominio 4	Operación +
acpr2.hessiantestp phir	$i*acpr2.m*test(p2r)/r$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente phir	Dominio 4	Operación +
acpr2.hessiantestp zr	$test(p2zr)$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente zr	Dominio 4	Operación +
acpr2.hessiantestp rphi	$test(p2r)*i*acpr2.m/r$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente rphi	Dominio 4	Operación +
acpr2.hessiantestp phiphi	$test(p2)*(i*acpr2.m)^2/r^2$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente phiphi	Dominio 4	Operación +
acpr2.hessiantestp zphi	$test(p2z)*i*acpr2.m/r$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente zphi	Dominio 4	Operación +
acpr2.hessiantestp rz	$test(p2rz)$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente rz	Dominio 4	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.hessiantestp phiz	$i \cdot \text{acpr2.m} \cdot \text{test}(p2z)/r$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente phiz	Dominio 4	Operación +
acpr2.hessiantestp zz	$\text{test}(p2zz)$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente zz	Dominio 4	Operación +
acpr2.keq_sq	$-\text{acpr2.ik}^2 - (\text{acpr2.m}/r)^2$	$1/m^2$	Número de onda al cuadrado para ecuaciones	Dominio 4	Operación +
acpr2.keq	$\text{sqrt}(\text{acpr2.keq_sq})$	rad/m	Número de onda para ecuaciones	Dominio 4	
acpr2.kip	$\text{sqrt}(\text{acpr2.keq_sq})$	rad/m	Número de onda en el plano	Dominio 4	
acpr2.absp	$\text{sqrt}(\text{realdot}(\text{acpr2.p_t}, \text{acpr2.p_t}))$	Pa	Presión absoluta	Dominio 4	
acpr2.ar	$-(\text{acpr2.gradpr} - \text{acpr2.q_totr})/\text{acpr2.rho_c}$	m/s^2	Aceleración local, componente r	Dominio 4	
acpr2.aphi	$-(\text{acpr2.gradpphi} - \text{acpr2.q_totphi})/\text{acpr2.rho_c}$	m/s^2	Aceleración local, componente phi	Dominio 4	
acpr2.az	$-(\text{acpr2.gradpz} - \text{acpr2.q_totz})/\text{acpr2.rho_c}$	m/s^2	Aceleración local, componente z	Dominio 4	
acpr2.a_inst	$\text{sqrt}(\text{real}(\text{acpr2.ar})^2 + \text{real}(\text{acpr2.aphi})^2 + \text{real}(\text{acpr2.az})^2)$	m/s^2	Aceleración local instantánea	Dominio 4	
acpr2.aipr	acpr2.ar	m/s^2	Aceleración en el plano, componente r	Dominio 4	
acpr2.aipphi	0	m/s^2	Aceleración en el plano, componente phi	Dominio 4	
acpr2.aipz	acpr2.az	m/s^2	Aceleración en el plano, componente z	Dominio 4	
acpr2.aopr	0	m/s^2	Aceleración fuera del plano, componente r	Dominio 4	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.aopphi	acpr2.aphi	m/s ²	Aceleración fuera del plano, componente phi	Dominio 4	
acpr2.aopz	0	m/s ²	Aceleración fuera del plano, componente z	Dominio 4	
acpr2.a_rms	$\sqrt{0.5 * (\text{realdot}(\text{acpr2.ar}, \text{acpr2.ar}) + \text{realdot}(\text{acpr2.aphi}, \text{acpr2.aphi}) + \text{realdot}(\text{acpr2.az}, \text{acpr2.az}))}$	m/s ²	Aceleración local, (RMS)	Dominio 4	
acpr2.vr	$-(\text{acpr2.gradpr} - \text{acpr2.q_totr}) / (\text{acpr2.rho_c} * \text{acpr2.iomega})$	m/s	Velocidad local, componente r	Dominio 4	
acpr2.vphi	$-(\text{acpr2.gradpphi} - \text{acpr2.q_totphi}) / (\text{acpr2.rho_c} * \text{acpr2.iomega})$	m/s	Velocidad local, componente phi	Dominio 4	
acpr2.vz	$-(\text{acpr2.gradpz} - \text{acpr2.q_totz}) / (\text{acpr2.rho_c} * \text{acpr2.iomega})$	m/s	Velocidad local, componente z	Dominio 4	
acpr2.v_inst	$\sqrt{\text{real}(\text{acpr2.vr})^2 + \text{real}(\text{acpr2.vphi})^2 + \text{real}(\text{acpr2.vz})^2}$	m/s	Velocidad local instantánea	Dominio 4	
acpr2.v_rms	$\sqrt{0.5 * (\text{realdot}(\text{acpr2.vr}, \text{acpr2.vr}) + \text{realdot}(\text{acpr2.vphi}, \text{acpr2.vphi}) + \text{realdot}(\text{acpr2.vz}, \text{acpr2.vz}))}$	m/s	Velocidad local, componente (RMS)	Dominio 4	
acpr2.Ir	$0.5 * \text{realdot}(\text{acpr2.p_t}, \text{acpr2.vr})$	W/m ²	Intensidad, componente r	Dominio 4	
acpr2.Iphi	$0.5 * \text{realdot}(\text{acpr2.p_t}, \text{acpr2.vphi})$	W/m ²	Intensidad, componente phi	Dominio 4	
acpr2.Iz	$0.5 * \text{realdot}(\text{acpr2.p_t}, \text{acpr2.vz})$	W/m ²	Intensidad, componente z	Dominio 4	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.I_mag	$\sqrt{\text{acpr2.Ir}^2 + \text{acpr2.Iphi}^2 + \text{acpr2.Iz}^2}$	W/m ²	Magnitud de intensidad	Dominio 4	
acpr2.Lp	$10 * \log_{10}(0.5 * \text{acpr2.p}_t * \text{conj}(\text{acpr2.p}_t) / \text{acpr2.pref_SPL}^2)$	dB	Nivel de presión sonora	Dominio 4	
acpr2.vipr	acpr2.vr	m/s	Velocidad en el plano, componente r	Dominio 4	
acpr2.vipphi	0	m/s	Velocidad en el plano, componente phi	Dominio 4	
acpr2.vipz	acpr2.vz	m/s	Velocidad en el plano, componente z	Dominio 4	
acpr2.vopr	0	m/s	Velocidad fuera del plano, componente r	Dominio 4	
acpr2.vopphi	acpr2.vphi	m/s	Velocidad fuera del plano, componente phi	Dominio 4	
acpr2.vopz	0	m/s	Velocidad fuera del plano, componente z	Dominio 4	
acpr2.diss_visc	0	W/m ³	Densidad de disipación de potencia viscosa	Dominio 4	
acpr2.diss_therm	0	W/m ³	Densidad de disipación de potencia térmica	Dominio 4	
acpr2.diss_tot	acpr2.diss_visc + acpr2.diss_therm	W/m ³	Densidad de disipación de potencia termo-viscosa total	Dominio 4	
acpr2.Q_pw	$-2 * \text{imag}(\text{acpr2.k}) * \text{acpr2.I_mag}$	W/m ³	Densidad de disipación total de onda plana	Dominio 4	
acpr2.rho_eff_invrr	$1 / \text{acpr2.rho_c}$	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominio 4	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.rho_eff_inv phir	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominio 4	
acpr2.rho_eff_inv zr	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominio 4	
acpr2.rho_eff_inv rphi	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominio 4	
acpr2.rho_eff_inv phiphi	1/acpr2.rho_c	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominio 4	
acpr2.rho_eff_inv zphi	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominio 4	
acpr2.rho_eff_inv rz	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominio 4	
acpr2.rho_eff_inv phiz	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominio 4	
acpr2.rho_eff_inv zz	1/acpr2.rho_c	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominio 4	
acpr2.rho_effrr	acpr2.rho_c	kg/m ³	Densidad efectiva, componente rr	Dominio 4	
acpr2.rho_effphir	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente phir	Dominio 4	
acpr2.rho_effzr	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente zr	Dominio 4	
acpr2.rho_effrphi	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente rphi	Dominio 4	
acpr2.rho_effphiphi	acpr2.rho_c	kg/m ³	Densidad efectiva, componente phiphi	Dominio 4	
acpr2.rho_effzphi	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente zphi	Dominio 4	
acpr2.rho_effrz	0	kg/m ³	Densidad efectiva,	Dominio 4	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			componente rz		
acpr2.rho_effphiz	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente phiz	Dominio 4	
acpr2.rho_effzz	acpr2.rho_c	kg/m ³	Densidad efectiva, componente zz	Dominio 4	

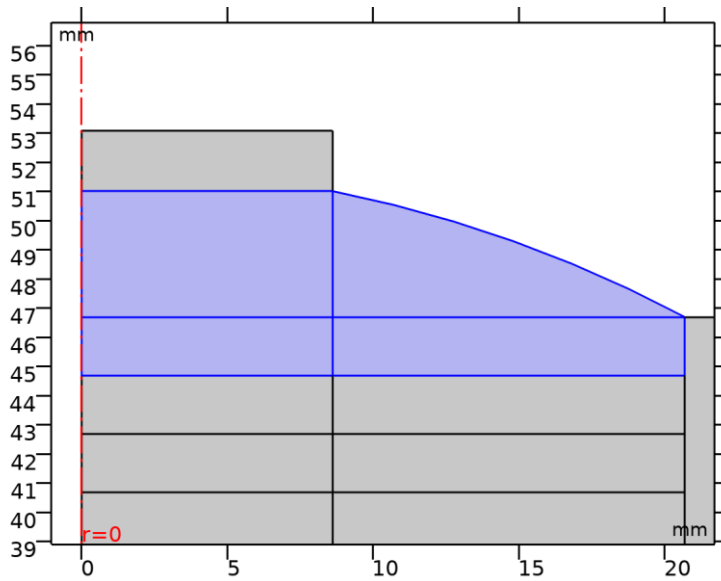
6.1.1.26 Funciones de forma

Nombre	Función de forma	Unidad	Descripción	Marco de forma	Selección
p2	Lagrange (Cuadrático)	Pa	Presión	Marco espacial	Dominio 4

6.1.1.27 Expresiones débiles

Expresión débil	Orden de integración	Marco de integración	Selección
$2*(-acpr2.gradpr*acpr2.gradtestpr-acpr2.gradpphi*acpr2.gradtestpphi-acpr2.gradpz*acpr2.gradtestpz-acpr2.p_t*test(p2)*acpr2.ik^2)*acpr2.delta*pi*r/acpr2.rho_c$	4	Marco espacial	Dominio 4
$2*acpr2.delta*acpr2.Q*test(p2)*pi*r$	4	Marco espacial	Dominio 4
$2*acpr2.delta*(acpr2.q_totr*acpr2.gradtestpr+acpr2.q_totphi*acpr2.gradtestpphi+acpr2.q_totz*acpr2.gradtestpz)*pi*r/acpr2.rho_c$	4	Marco espacial	Dominio 4

2.4.10 Presión acústica 5 - Zona Etilenglicol Muy Poco Viscoso



Presión acústica 5 - Zona Etilenglicol Muy Poco Viscoso

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrica	Dominio
Selección	Geometría geom2: Dimensión 2: Dominios 10–11, 19–20

ECUACIONES

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

$$p_t = p_2 + p_b$$

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

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

6.1.1.28 Modelo de presión acústica

SETTINGS

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

6.1.1.29 Entrada del modelo

SETTINGS

Description	Value
Temperatura	Definido por el usuario
Temperatura	TempEtilenglicolMuyPocoViscoso
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

6.1.1.30 Variables

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.p_s	acpr2.p_t- acpr2.p_b	Pa	Campo de presión difractado	Dominios 10–11, 19– 20	
acpr2.Lp_s	$10 \cdot \log_{10}(0.5 \cdot \text{acpr2.p}_s \cdot \text{conj}(\text{acpr2.p}_s) / \text{acpr2.pref}_S \cdot \text{PL}^2)$	dB	Nivel de presión de sonido difractado	Dominios 10–11, 19– 20	
acpr2.p_b	0	Pa	Campo de presión en segundo plano	Dominios 10–11, 19– 20	Operación +
acpr2.rho	material.rho	kg/m ³	Densidad	Dominios 10–11, 19– 20	Meta
acpr2.c	material.c	m/s	Velocidad del sonido	Dominios 10–11, 19– 20	Meta
acpr2.alpha1	Alpha_Etilenglico 1	Np/m	Coefficiente de atenuación	Dominios 10–11, 19– 20	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.q_totr	acpr2.qr	N/m ³	Fuente de dipolo total, componente r	Dominios 10–11, 19–20	Operación +
acpr2.q_totphi	acpr2.qphi	N/m ³	Fuente de dipolo total, componente phi	Dominios 10–11, 19–20	Operación +
acpr2.q_totz	acpr2.qz	N/m ³	Fuente de dipolo total, componente z	Dominios 10–11, 19–20	Operación +
acpr2.nacc	0	m/s ²	Inward acceleration (source)	Contornos 21–24, 26, 43–46, 53–54, 59–60	Operación +
acpr2.Q	0	1/s ²	Total monopole domain source	Dominios 10–11, 19–20	Operación +
acpr2.qr	0	N/m ³	Fuente de dipolo de dominio, componente r	Dominios 10–11, 19–20	Operación +
acpr2.qphi	0	N/m ³	Fuente de dipolo de dominio, componente phi	Dominios 10–11, 19–20	Operación +
acpr2.qz	0	N/m ³	Fuente de dipolo de dominio, componente z	Dominios 10–11, 19–20	Operación +
acpr2.FAcoPerArear	$acpr2.p_t * acpr2.nr * dvol_spatial * r / (dvol * R)$	N/m ²	Carga acústica por unidad de área, componente r	Contornos 21–24, 26, 43–46, 53–54, 59–60	
acpr2.FAcoPerAeaphi	$acpr2.p_t * acpr2.nphi * dvol_spatial * r / (dvol * R)$	N/m ²	Carga acústica por unidad de área, componente phi	Contornos 21–24, 26, 43–46, 53–54, 59–60	
acpr2.FAcoPerAeaz	$acpr2.p_t * acpr2.nz * dvol_spatial * r / (dvol * R)$	N/m ²	Carga acústica por unidad de área, componente z	Contornos 21–24, 26, 43–46, 53–54, 59–60	
acpr2.p_t	p2+acpr2.p_b	Pa	Campo total de presión acústica	Dominios 10–11, 19–20	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.c_c	$\text{acpr2.iomega}/\text{acpr2.ik}$	m/s	Velocidad del sonido compleja	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.rho_c	$\text{acpr2.rho}*(\text{acpr2.c}/\text{acpr2.c_c})^2$	kg/m ³	Densidad compleja	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.Z	$\text{acpr2.rho_c}*\text{acpr2.c_c}$	Pa·s/m	Impedancia acústica característica	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.k	$\text{acpr2.ik}/i$	rad/m	Número de onda	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.ik	$\text{acpr2.iomega}/\text{acpr2.c}+\text{acpr2.alpha1}$	rad/m	Número de onda desfasado	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.delta_diff	2.0E-5[m ² /s]	m ² /s	Sound diffusivity	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.K_eff	$\text{acpr2.rho_c}*\text{acpr2.c_c}^2$	Pa	Módulo de compresibilidad efectivo	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.gradpr	$d(\text{acpr2.p_t},r)$	N/m ³	Gradiente de la presión total, componente r	Dominios 10–11, 19–20	Operación +
acpr2.gradpphi	$-i*\text{acpr2.m}*\text{acpr2.p_t}/r$	N/m ³	Gradiente de la presión total, componente phi	Dominios 10–11, 19–20	Operación +
acpr2.gradpz	$d(\text{acpr2.p_t},z)$	N/m ³	Gradiente de la presión total, componente z	Dominios 10–11, 19–20	Operación +
acpr2.gradtestpr	test(p2r)	N/m ³	Variable de ayuda, componente r	Dominios 10–11, 19–20	Operación +
acpr2.gradtestpphi	$i*\text{acpr2.m}*\text{test}(p2)/r$	N/m ³	Variable de ayuda, componente phi	Dominios 10–11, 19–20	Operación +
acpr2.gradtestpz	test(p2z)	N/m ³	Variable de ayuda, componente z	Dominios 10–11, 19–20	Operación +
acpr2.hessianpr	$d(d(\text{acpr2.p_t},r),r)$	N/(m·m ³)	Hessiano de la	Dominios	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			presión total, componente rr	10–11, 19–20	
acpr2.hessianpphir	$-i \cdot \text{acpr2.m} \cdot d(\text{acpr2.p_t,r})/r$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente phir	Dominios 10–11, 19–20	Operación +
acpr2.hessianpzr	$d(d(\text{acpr2.p_t,z}),r)$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente zr	Dominios 10–11, 19–20	Operación +
acpr2.hessianprphi	$-d(\text{acpr2.p_t,r}) \cdot i \cdot \text{acpr2.m}/r$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente rphi	Dominios 10–11, 19–20	Operación +
acpr2.hessianpphiphi	$\text{acpr2.p_t} \cdot (i \cdot \text{acpr2.m})^2 / r^2$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente phiphi	Dominios 10–11, 19–20	Operación +
acpr2.hessianpzphi	$-d(\text{acpr2.p_t,z}) \cdot i \cdot \text{acpr2.m}/r$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente zphi	Dominios 10–11, 19–20	Operación +
acpr2.hessianprz	$d(d(\text{acpr2.p_t,r}),z)$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente rz	Dominios 10–11, 19–20	Operación +
acpr2.hessianpphiz	$-i \cdot \text{acpr2.m} \cdot d(\text{acpr2.p_t,z})/r$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente phiz	Dominios 10–11, 19–20	Operación +
acpr2.hessianpzz	$d(d(\text{acpr2.p_t,z}),z)$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente zz	Dominios 10–11, 19–20	Operación +
acpr2.hessiantestprr	test(p2rr)	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente rr	Dominios 10–11, 19–20	Operación +
acpr2.hessiantestp phir	$i \cdot \text{acpr2.m} \cdot \text{test}(p2r)/r$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente phir	Dominios 10–11, 19–20	Operación +
acpr2.hessiantestpzr	test(p2zr)	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente zr	Dominios 10–11, 19–20	Operación +
acpr2.hessiantestprphi	test(p2r) $\cdot i \cdot \text{acpr2.m}/r$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente rphi	Dominios 10–11, 19–20	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.hessiantestp phphi	$\text{test}(p2) \cdot (i \cdot \text{acpr2.m})^2 / r^2$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente phphi	Dominios 10–11, 19–20	Operación +
acpr2.hessiantestp zphi	$\text{test}(p2z) \cdot i \cdot \text{acpr2.m} / r$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente zphi	Dominios 10–11, 19–20	Operación +
acpr2.hessiantestp rz	$\text{test}(p2rz)$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente rz	Dominios 10–11, 19–20	Operación +
acpr2.hessiantestp phiz	$i \cdot \text{acpr2.m} \cdot \text{test}(p2z) / r$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente phiz	Dominios 10–11, 19–20	Operación +
acpr2.hessiantestp zz	$\text{test}(p2zz)$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente zz	Dominios 10–11, 19–20	Operación +
acpr2.keq_sq	$-\text{acpr2.ik}^2 - (\text{acpr2.m}/r)^2$	$1/m^2$	Número de onda al cuadrado para ecuaciones	Dominios 10–11, 19–20	Operación +
acpr2.keq	$\sqrt{\text{acpr2.keq_sq}}$	rad/m	Número de onda para ecuaciones	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.kip	$\sqrt{\text{acpr2.keq_sq}}$	rad/m	Número de onda en el plano	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.absp	$\sqrt{\text{realdot}(\text{acpr2.p_t}, \text{acpr2.p_t})}$	Pa	Presión absoluta	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.ar	$-(\text{acpr2.gradpr} - \text{acpr2.q_totr}) / \text{acpr2.rho_c}$	m/s^2	Aceleración local, componente r	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.aphi	$-(\text{acpr2.gradpphi} - \text{acpr2.q_totphi}) / \text{acpr2.rho_c}$	m/s^2	Aceleración local, componente phi	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.az	$-(\text{acpr2.gradpz} - \text{acpr2.q_totz}) / \text{acpr2.rho_c}$	m/s^2	Aceleración local, componente z	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.a_inst	$\sqrt{\text{real}(\text{acpr2.ar})^2 + \text{real}(\text{acpr2.aphi})^2 + \text{real}(\text{acpr2.az})^2}$	m/s^2	Aceleración local instantánea	Dominios 10–11, 19–20	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.aipr	acpr2.ar	m/s ²	Aceleración en el plano, componente r	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.aipphi	0	m/s ²	Aceleración en el plano, componente phi	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.aipz	acpr2.az	m/s ²	Aceleración en el plano, componente z	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.aopr	0	m/s ²	Aceleración fuera del plano, componente r	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.aopphi	acpr2.aphi	m/s ²	Aceleración fuera del plano, componente phi	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.aopz	0	m/s ²	Aceleración fuera del plano, componente z	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.a_rms	$\sqrt{0.5*(\text{realdot}(acpr2.ar,acpr2.ar)+\text{realdot}(acpr2.aphi,acpr2.aphi)+\text{realdot}(acpr2.az,acpr2.az))}$	m/s ²	Aceleración local, (RMS)	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.vr	$-(acpr2.gradpr-acpr2.q_totr)/(acpr2.rho_c*acpr2.iomega)$	m/s	Velocidad local, componente r	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.vphi	$-(acpr2.gradpphi-acpr2.q_totphi)/(acpr2.rho_c*acpr2.iomega)$	m/s	Velocidad local, componente phi	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.vz	$-(acpr2.gradpz-acpr2.q_totz)/(acpr2.rho_c*acpr2.iomega)$	m/s	Velocidad local, componente z	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.v_inst	$\sqrt{\text{real}(acpr2.vr)^2+\text{real}(acpr2.vphi)^2+\text{real}(acpr2.vz)^2}$	m/s	Velocidad local instantánea	Dominios 10–11, 19–20	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.v_rms	$\sqrt{0.5*(\text{realdot}(\text{acpr2.vr}, \text{acpr2.vr}) + \text{realdot}(\text{acpr2.vphi}, \text{acpr2.vphi}) + \text{realdot}(\text{acpr2.vz}, \text{acpr2.vz}))}$	m/s	Velocidad local, componente (RMS)	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.Ir	$0.5*\text{realdot}(\text{acpr2.p}_t, \text{acpr2.vr})$	W/m ²	Intensidad, componente r	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.Iphi	$0.5*\text{realdot}(\text{acpr2.p}_t, \text{acpr2.vphi})$	W/m ²	Intensidad, componente phi	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.Iz	$0.5*\text{realdot}(\text{acpr2.p}_t, \text{acpr2.vz})$	W/m ²	Intensidad, componente z	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.I_mag	$\sqrt{\text{acpr2.Ir}^2 + \text{acpr2.Iphi}^2 + \text{acpr2.Iz}^2}$	W/m ²	Magnitud de intensidad	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.Lp	$10*\log_{10}(0.5*\text{acpr2.p}_t*\text{conj}(\text{acpr2.p}_t)/\text{acpr2.pref_SPL}^2)$	dB	Nivel de presión sonora	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.vipr	acpr2.vr	m/s	Velocidad en el plano, componente r	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.vipphi	0	m/s	Velocidad en el plano, componente phi	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.vipz	acpr2.vz	m/s	Velocidad en el plano, componente z	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.vopr	0	m/s	Velocidad fuera del plano, componente r	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.vopphi	acpr2.vphi	m/s	Velocidad fuera del plano, componente phi	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.vopz	0	m/s	Velocidad fuera del plano, componente z	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.diss_visc	0	W/m ³	Densidad de	Dominios	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			disipación de potencia viscosa	10–11, 19–20	
acpr2.diss_therm	0	W/m ³	Densidad de disipación de potencia térmica	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.diss_tot	acpr2.diss_visc+acpr2.diss_therm	W/m ³	Densidad de disipación de potencia termo-viscosa total	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.Q_pw	-2*imag(acpr2.k)*acpr2.I_mag	W/m ³	Densidad de disipación total de onda plana	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.rho_eff_invrr	1/acpr2.rho_c	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.rho_eff_invphir	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.rho_eff_invzr	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.rho_eff_invrphi	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.rho_eff_invphiphi	1/acpr2.rho_c	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.rho_eff_invzphi	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.rho_eff_invrz	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.rho_eff_invphiz	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.rho_eff_invrz	1/acpr2.rho_c	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 10–11, 19–20	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.rho_effrr	acpr2.rho_c	kg/m ³	Densidad efectiva, componente rr	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.rho_effphir	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente phir	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.rho_effzr	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente zr	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.rho_effrphi	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente rphi	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.rho_effphiphi	acpr2.rho_c	kg/m ³	Densidad efectiva, componente phiphi	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.rho_effzphi	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente zphi	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.rho_effrz	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente rz	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.rho_effphiz	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente phiz	Dominios 10–11, 19–20	
acpr2.rho_effzz	acpr2.rho_c	kg/m ³	Densidad efectiva, componente zz	Dominios 10–11, 19–20	

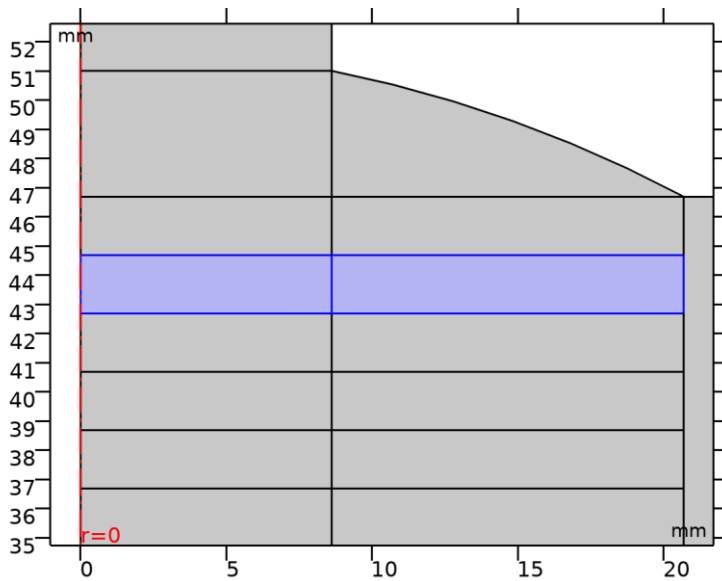
6.1.1.31 Funciones de forma

Nombre	Función de forma	Unidad	Descripción	Marco de forma	Selección
p2	Lagrange (Cuadrático)	Pa	Presión	Marco espacial	Dominios 10–11, 19–20

6.1.1.32 Expresiones débiles

Expresión débil	Orden de integración	Marco de integración	Selección
$2*(-acpr2.gradpr*acpr2.gradtestpr-acpr2.gradpphi*acpr2.gradtestpphi-acpr2.gradpz*acpr2.gradtestpz-acpr2.p_t*test(p2)*acpr2.ik^2)*acpr2.delta*pi*r/acpr2.rho_c$	4	Marco espacial	Dominios 10–11, 19–20
$2*acpr2.delta*acpr2.Q*test(p2)*pi*r$	4	Marco espacial	Dominios 10–11, 19–20
$2*acpr2.delta*(acpr2.q_totr*acpr2.gradtestpr+acpr2.q_totphi*acpr2.gradtestpphi+acpr2.q_totz*acpr2.gradtestpz)*pi*r/acpr2.rho_c$	4	Marco espacial	Dominios 10–11, 19–20

2.4.11 Presión acústica 6 - Zona Etilenglicol Poco Viscoso



Presión acústica 6 - Zona Etilenglicol Poco Viscoso

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrica	Dominio
Selección	Geometría geom2: Dimensión 2: Dominios 9, 18

ECUACIONES

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

.....

$$p_t = p_2 + p_b$$

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

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

6.1.1.33 Modelo de presión acústica

SETTINGS

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

6.1.1.34 Entrada del modelo

SETTINGS

Description	Value
Temperatura	Definido por el usuario
Temperatura	TempEtilenglicolPocoViscoso
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

6.1.1.35 Variables

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.p_s	acpr2.p_t acpr2.p_b	Pa	Campo de presión difractado	Dominios 9, 18	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.Lp_s	$10 \cdot \log_{10}(0.5 \cdot \text{acpr2.p_s} \cdot \text{conj}(\text{acpr2.p_s}) / \text{acpr2.pref_S} \cdot \text{PL}^2)$	dB	Nivel de presión de sonido difractado	Dominios 9, 18	
acpr2.p_b	0	Pa	Campo de presión en segundo plano	Dominios 9, 18	Operación +
acpr2.rho	material.rho	kg/m ³	Densidad	Dominios 9, 18	Meta
acpr2.c	material.c	m/s	Velocidad del sonido	Dominios 9, 18	Meta
acpr2.alpha1	Alpha_Etilenglico1	Np/m	Coefficiente de atenuación	Dominios 9, 18	
acpr2.q_totr	acpr2.qr	N/m ³	Fuente de dipolo total, componente r	Dominios 9, 18	Operación +
acpr2.q_totphi	acpr2.qphi	N/m ³	Fuente de dipolo total, componente phi	Dominios 9, 18	Operación +
acpr2.q_totz	acpr2.qz	N/m ³	Fuente de dipolo total, componente z	Dominios 9, 18	Operación +
acpr2.nacc	0	m/s ²	Inward acceleration (source)	Contornos 19–20, 22, 41–42, 44, 52	Operación +
acpr2.Q	0	1/s ²	Total monopole domain source	Dominios 9, 18	Operación +
acpr2.qr	0	N/m ³	Fuente de dipolo de dominio, componente r	Dominios 9, 18	Operación +
acpr2.qphi	0	N/m ³	Fuente de dipolo de dominio, componente phi	Dominios 9, 18	Operación +
acpr2.qz	0	N/m ³	Fuente de dipolo de dominio, componente z	Dominios 9, 18	Operación +
acpr2.FAcoPerArear	$\text{acpr2.p_t} \cdot \text{acpr2.nr} \cdot \text{dvol_spatial} \cdot r / (d$	N/m ²	Carga acústica por unidad de	Contornos 19–20, 22,	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
	$\text{vol} * R$)		área, componente r	41–42, 44, 52	
acpr2.FAcoPerAreaphi	$\text{acpr2.p}_t * \text{acpr2.n}_{\text{phi}} * \text{dvol}_{\text{spatial}} * r / (\text{dvol} * R)$	N/m ²	Carga acústica por unidad de área, componente phi	Contornos 19–20, 22, 41–42, 44, 52	
acpr2.FAcoPerAreaz	$\text{acpr2.p}_t * \text{acpr2.n}_z * \text{dvol}_{\text{spatial}} * r / (\text{dvol} * R)$	N/m ²	Carga acústica por unidad de área, componente z	Contornos 19–20, 22, 41–42, 44, 52	
acpr2.p_t	$p_2 + \text{acpr2.p}_b$	Pa	Campo total de presión acústica	Dominios 9, 18	
acpr2.c_c	$\text{acpr2.i}_{\text{omega}} / \text{acpr2.i}_k$	m/s	Velocidad del sonido compleja	Dominios 9, 18	
acpr2.rho_c	$\text{acpr2.rho} * (\text{acpr2.c} / \text{acpr2.c}_c)^2$	kg/m ³	Densidad compleja	Dominios 9, 18	
acpr2.Z	$\text{acpr2.rho}_c * \text{acpr2.c}_c$	Pa·s/m	Impedancia acústica característica	Dominios 9, 18	
acpr2.k	$\text{acpr2.i}_k / i$	rad/m	Número de onda	Dominios 9, 18	
acpr2.ik	$\text{acpr2.i}_{\text{omega}} / \text{acpr2.c} + \text{acpr2.alpha}_1$	rad/m	Número de onda desfasado	Dominios 9, 18	
acpr2.delta_diff	2.0E-5[m ² /s]	m ² /s	Sound diffusivity	Dominios 9, 18	
acpr2.K_eff	$\text{acpr2.rho}_c * \text{acpr2.c}_c^2$	Pa	Módulo de compresibilidad efectivo	Dominios 9, 18	
acpr2.gradpr	$d(\text{acpr2.p}_t, r)$	N/m ³	Gradiente de la presión total, componente r	Dominios 9, 18	Operación +
acpr2.gradpphi	$-i * \text{acpr2.m} * \text{acpr2.p}_t / r$	N/m ³	Gradiente de la presión total, componente phi	Dominios 9, 18	Operación +
acpr2.gradpz	$d(\text{acpr2.p}_t, z)$	N/m ³	Gradiente de la presión total, componente z	Dominios 9, 18	Operación +
acpr2.gradtestpr	test(p2r)	N/m ³	Variable de ayuda,	Dominios 9, 18	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			componente r		
acpr2.gradtestpphi	$i \cdot \text{acpr2.m} \cdot \text{test}(p2)/r$	N/m ³	Variable de ayuda, componente phi	Dominios 9, 18	Operación +
acpr2.gradtestpz	test(p2z)	N/m ³	Variable de ayuda, componente z	Dominios 9, 18	Operación +
acpr2.hessianpr	$d(d(\text{acpr2.p}_t, r), r)$	N/(m·m ³)	Hessiano de la presión total, componente rr	Dominios 9, 18	Operación +
acpr2.hessianpphi r	$-i \cdot \text{acpr2.m} \cdot d(\text{acpr2.p}_t, r)/r$	N/(m·m ³)	Hessiano de la presión total, componente phir	Dominios 9, 18	Operación +
acpr2.hessianpzr	$d(d(\text{acpr2.p}_t, z), r)$	N/(m·m ³)	Hessiano de la presión total, componente zr	Dominios 9, 18	Operación +
acpr2.hessianprphi	$-d(\text{acpr2.p}_t, r) \cdot i \cdot \text{acpr2.m}/r$	N/(m·m ³)	Hessiano de la presión total, componente rphi	Dominios 9, 18	Operación +
acpr2.hessianpphi phi	$\text{acpr2.p}_t \cdot (i \cdot \text{acpr2.m})^2 / r^2$	N/(m·m ³)	Hessiano de la presión total, componente phi phi	Dominios 9, 18	Operación +
acpr2.hessianpzphi	$-d(\text{acpr2.p}_t, z) \cdot i \cdot \text{acpr2.m}/r$	N/(m·m ³)	Hessiano de la presión total, componente zphi	Dominios 9, 18	Operación +
acpr2.hessianprz	$d(d(\text{acpr2.p}_t, r), z)$	N/(m·m ³)	Hessiano de la presión total, componente rz	Dominios 9, 18	Operación +
acpr2.hessianpphi z	$-i \cdot \text{acpr2.m} \cdot d(\text{acpr2.p}_t, z)/r$	N/(m·m ³)	Hessiano de la presión total, componente phiz	Dominios 9, 18	Operación +
acpr2.hessianpzz	$d(d(\text{acpr2.p}_t, z), z)$	N/(m·m ³)	Hessiano de la presión total, componente zz	Dominios 9, 18	Operación +
acpr2.hessianprr	test(p2rr)	N/(m·m ³)	Variable de ayuda, componente rr	Dominios 9, 18	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.hessiantestp phir	$i \cdot \text{acpr2.m} \cdot \text{test}(p2r)/r$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente phir	Dominios 9, 18	Operación +
acpr2.hessiantestp zr	$\text{test}(p2zr)$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente zr	Dominios 9, 18	Operación +
acpr2.hessiantestp rphi	$\text{test}(p2r) \cdot i \cdot \text{acpr2.m}/r$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente rphi	Dominios 9, 18	Operación +
acpr2.hessiantestp phiphi	$\text{test}(p2) \cdot (i \cdot \text{acpr2.m})^2 / r^2$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente phiphi	Dominios 9, 18	Operación +
acpr2.hessiantestp zphi	$\text{test}(p2z) \cdot i \cdot \text{acpr2.m}/r$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente zphi	Dominios 9, 18	Operación +
acpr2.hessiantestp rz	$\text{test}(p2rz)$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente rz	Dominios 9, 18	Operación +
acpr2.hessiantestp phiz	$i \cdot \text{acpr2.m} \cdot \text{test}(p2z)/r$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente phiz	Dominios 9, 18	Operación +
acpr2.hessiantestp zz	$\text{test}(p2zz)$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente zz	Dominios 9, 18	Operación +
acpr2.keq_sq	$-\text{acpr2.ik}^2 - (\text{acpr2.m}/r)^2$	$1/m^2$	Número de onda al cuadrado para ecuaciones	Dominios 9, 18	Operación +
acpr2.keq	$\text{sqrt}(\text{acpr2.keq_sq})$	rad/m	Número de onda para ecuaciones	Dominios 9, 18	
acpr2.kip	$\text{sqrt}(\text{acpr2.keq_sq})$	rad/m	Número de onda en el plano	Dominios 9, 18	
acpr2.absp	$\text{sqrt}(\text{realdot}(\text{acpr2.p_t}, \text{acpr2.p_t}))$	Pa	Presión absoluta	Dominios 9, 18	
acpr2.ar	$-(\text{acpr2.gradpr} - \text{acpr2.q_totr}) / \text{acpr2.rho_c}$	m/s^2	Aceleración local, componente r	Dominios 9, 18	
acpr2.aphi	$-(\text{acpr2.gradpphi} - \text{acpr2.q_totphi}) / \text{acpr2.rho_c}$	m/s^2	Aceleración local, componente phi	Dominios 9, 18	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.az	$-(acpr2.gradpz - acpr2.q_totz)/acpr2.rho_c$	m/s ²	Aceleración local, componente z	Dominios 9, 18	
acpr2.a_inst	$\sqrt{real(acpr2.ar)^2 + real(acpr2.aphi)^2 + real(acpr2.az)^2}$	m/s ²	Aceleración local instantánea	Dominios 9, 18	
acpr2.aipr	acpr2.ar	m/s ²	Aceleración en el plano, componente r	Dominios 9, 18	
acpr2.aipphi	0	m/s ²	Aceleración en el plano, componente phi	Dominios 9, 18	
acpr2.aipz	acpr2.az	m/s ²	Aceleración en el plano, componente z	Dominios 9, 18	
acpr2.aopr	0	m/s ²	Aceleración fuera del plano, componente r	Dominios 9, 18	
acpr2.aopphi	acpr2.aphi	m/s ²	Aceleración fuera del plano, componente phi	Dominios 9, 18	
acpr2.aopz	0	m/s ²	Aceleración fuera del plano, componente z	Dominios 9, 18	
acpr2.a_rms	$\sqrt{0.5 * (realdot(acpr2.ar, acpr2.ar) + realdot(acpr2.aphi, acpr2.aphi) + realdot(acpr2.az, acpr2.az))}$	m/s ²	Aceleración local, (RMS)	Dominios 9, 18	
acpr2.vr	$-(acpr2.gradpr - acpr2.q_totr)/(acpr2.rho_c * acpr2.iomega)$	m/s	Velocidad local, componente r	Dominios 9, 18	
acpr2.vphi	$-(acpr2.gradpphi - acpr2.q_totphi)/(acpr2.rho_c * acpr2.iomega)$	m/s	Velocidad local, componente phi	Dominios 9, 18	
acpr2.vz	$-(acpr2.gradpz -$	m/s	Velocidad local,	Dominios 9,	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
	$\text{acpr2.q_totz}/(\text{acpr2.rho_c}*\text{acpr2.io_mega})$		componente z	18	
acpr2.v_inst	$\sqrt{\text{real}(\text{acpr2.vr})^2 + \text{real}(\text{acpr2.vphi})^2 + \text{real}(\text{acpr2.vz})^2}$	m/s	Velocidad local instantánea	Dominios 9, 18	
acpr2.v_rms	$\sqrt{0.5 * (\text{realdot}(\text{acpr2.vr}, \text{acpr2.vr}) + \text{realdot}(\text{acpr2.vphi}, \text{acpr2.vphi}) + \text{realdot}(\text{acpr2.vz}, \text{acpr2.vz}))}$	m/s	Velocidad local, componente (RMS)	Dominios 9, 18	
acpr2.Ir	$0.5 * \text{realdot}(\text{acpr2.p_t}, \text{acpr2.vr})$	W/m ²	Intensidad, componente r	Dominios 9, 18	
acpr2.Iphi	$0.5 * \text{realdot}(\text{acpr2.p_t}, \text{acpr2.vphi})$	W/m ²	Intensidad, componente phi	Dominios 9, 18	
acpr2.Iz	$0.5 * \text{realdot}(\text{acpr2.p_t}, \text{acpr2.vz})$	W/m ²	Intensidad, componente z	Dominios 9, 18	
acpr2.I_mag	$\sqrt{\text{acpr2.Ir}^2 + \text{acpr2.Iphi}^2 + \text{acpr2.Iz}^2}$	W/m ²	Magnitud de intensidad	Dominios 9, 18	
acpr2.Lp	$10 * \log_{10}(0.5 * \text{acpr2.p_t} * \text{conj}(\text{acpr2.p_t}) / \text{acpr2.pref_SPL}^2)$	dB	Nivel de presión sonora	Dominios 9, 18	
acpr2.vipr	acpr2.vr	m/s	Velocidad en el plano, componente r	Dominios 9, 18	
acpr2.vipphi	0	m/s	Velocidad en el plano, componente phi	Dominios 9, 18	
acpr2.vipz	acpr2.vz	m/s	Velocidad en el plano, componente z	Dominios 9, 18	
acpr2.vopr	0	m/s	Velocidad fuera del plano, componente r	Dominios 9, 18	
acpr2.vopphi	acpr2.vphi	m/s	Velocidad fuera del plano, componente phi	Dominios 9, 18	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.vopz	0	m/s	Velocidad fuera del plano, componente z	Dominios 9, 18	
acpr2.diss_visc	0	W/m ³	Densidad de disipación de potencia viscosa	Dominios 9, 18	
acpr2.diss_therm	0	W/m ³	Densidad de disipación de potencia térmica	Dominios 9, 18	
acpr2.diss_tot	acpr2.diss_visc+acpr2.diss_therm	W/m ³	Densidad de disipación de potencia termoviscosa total	Dominios 9, 18	
acpr2.Q_pw	-2*imag(acpr2.k)*acpr2.I_mag	W/m ³	Densidad de disipación total de onda plana	Dominios 9, 18	
acpr2.rho_eff_invrr	1/acpr2.rho_c	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 9, 18	
acpr2.rho_eff_invphir	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 9, 18	
acpr2.rho_eff_invzr	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 9, 18	
acpr2.rho_eff_invrphi	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 9, 18	
acpr2.rho_eff_invphiphi	1/acpr2.rho_c	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 9, 18	
acpr2.rho_eff_invzphi	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 9, 18	
acpr2.rho_eff_invrz	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 9, 18	
acpr2.rho_eff_invphiz	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 9, 18	
acpr2.rho_eff_invzz	1/acpr2.rho_c	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 9, 18	
acpr2.rho_effir	acpr2.rho_c	kg/m ³	Densidad efectiva, componente rr	Dominios 9, 18	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.rho_effphir	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente phir	Dominios 9, 18	
acpr2.rho_effzr	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente zr	Dominios 9, 18	
acpr2.rho_effrphi	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente rphi	Dominios 9, 18	
acpr2.rho_effphiphi	acpr2.rho_c	kg/m ³	Densidad efectiva, componente phiphi	Dominios 9, 18	
acpr2.rho_effzphi	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente zphi	Dominios 9, 18	
acpr2.rho_effrz	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente rz	Dominios 9, 18	
acpr2.rho_effphiz	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente phiz	Dominios 9, 18	
acpr2.rho_effzz	acpr2.rho_c	kg/m ³	Densidad efectiva, componente zz	Dominios 9, 18	

6.1.1.36 Funciones de forma

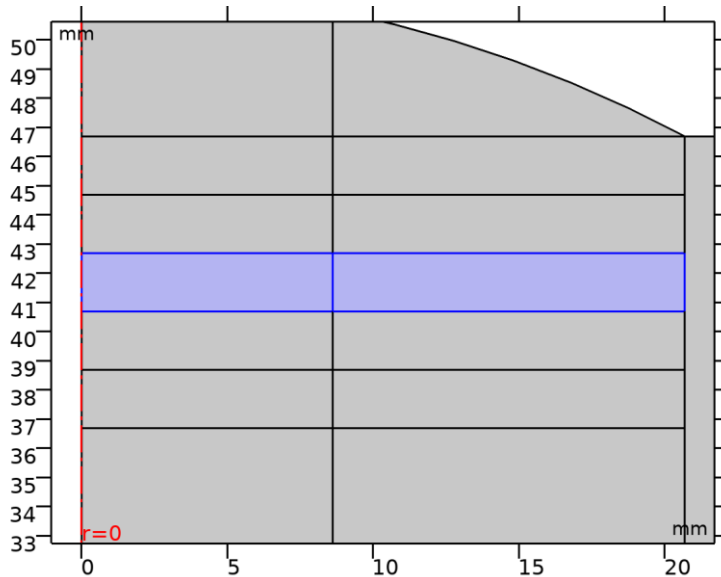
Nombre	Función de forma	Unidad	Descripción	Marco de forma	Selección
p2	Lagrange (Cuadrático)	Pa	Presión	Marco espacial	Dominios 9, 18

6.1.1.37 Expresiones débiles

Expresión débil	Orden de integración	Marco de integración	Selección
$2*(-acpr2.gradpr*acpr2.gradtestpr-acpr2.gradpphi*acpr2.gradtestpphi-acpr2.gradpz*acpr2.gradtestpz-acpr2.p_t*test(p2)*acpr2.ik^2)*acpr2.delta*pi*r/acpr2.rho_c$	4	Marco espacial	Dominios 9, 18

Expresión débil	Orden de integración	Marco de integración	Selección
$2*acpr2.delta*acpr2.Q*test(p2)*pi*r$	4	Marco espacial	Dominios 9, 18
$2*acpr2.delta*(acpr2.q_totr*acpr2.gradestpr+acpr2.q_totphi*acpr2.gradestpphi+acpr2.q_totz*acpr2.gradestpz)*pi*r/acpr2.rho_c$	4	Marco espacial	Dominios 9, 18

2.4.12 Presión acústica 7 - Zona Etilenglicol Medio Viscoso



Presión acústica 7 - Zona Etilenglicol Medio Viscoso

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrica	Dominio
Selección	Geometría geom2: Dimensión 2: Dominios 8, 17

ECUACIONES

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

$$p_t = p_2 + p_b$$

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

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

6.1.1.38 Modelo de presión acústica

SETTINGS

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

6.1.1.39 Entrada del modelo

SETTINGS

Description	Value
Temperatura	Definido por el usuario
Temperatura	TempEtilenglicolMedioViscoso
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

6.1.1.40 Variables

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.p_s	acpr2.p_t- acpr2.p_b	Pa	Campo de presión difractado	Dominios 8, 17	
acpr2.Lp_s	$10 \cdot \log_{10}(0.5 \cdot \text{acpr2.p}_s \cdot \text{conj}(\text{acpr2.p}_s) / \text{acpr2.pref_S PL}^2)$	dB	Nivel de presión de sonido difractado	Dominios 8, 17	
acpr2.p_b	0	Pa	Campo de presión en segundo plano	Dominios 8, 17	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.rho	material.rho	kg/m ³	Densidad	Dominios 8, 17	Meta
acpr2.c	material.c	m/s	Velocidad del sonido	Dominios 8, 17	Meta
acpr2.alpha1	Alpha_Etilenglico1	Np/m	Coefficiente de atenuación	Dominios 8, 17	
acpr2.q_totr	acpr2.qr	N/m ³	Fuente de dipolo total, componente r	Dominios 8, 17	Operación +
acpr2.q_totphi	acpr2.qphi	N/m ³	Fuente de dipolo total, componente phi	Dominios 8, 17	Operación +
acpr2.q_totz	acpr2.qz	N/m ³	Fuente de dipolo total, componente z	Dominios 8, 17	Operación +
acpr2.nacc	0	m/s ²	Inward acceleration (source)	Contornos 17–18, 20, 39–40, 42, 51	Operación +
acpr2.Q	0	1/s ²	Total monopole domain source	Dominios 8, 17	Operación +
acpr2.qr	0	N/m ³	Fuente de dipolo de dominio, componente r	Dominios 8, 17	Operación +
acpr2.qphi	0	N/m ³	Fuente de dipolo de dominio, componente phi	Dominios 8, 17	Operación +
acpr2.qz	0	N/m ³	Fuente de dipolo de dominio, componente z	Dominios 8, 17	Operación +
acpr2.FAcoPerAr ear	acpr2.p_t*acpr2.nr*dvol_spatial*r/(dvol*R)	N/m ²	Carga acústica por unidad de área, componente r	Contornos 17–18, 20, 39–40, 42, 51	
acpr2.FAcoPerAr eaphi	acpr2.p_t*acpr2.nphi*dvol_spatial*r/(dvol*R)	N/m ²	Carga acústica por unidad de área, componente phi	Contornos 17–18, 20, 39–40, 42, 51	
acpr2.FAcoPerAr	acpr2.p_t*acpr2.n	N/m ²	Carga acústica	Contornos	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
eaz	$z \cdot dvol_spatial \cdot r / (dvol \cdot R)$		por unidad de área, componente z	17–18, 20, 39–40, 42, 51	
acpr2.p_t	$p_2 + acpr2.p_b$	Pa	Campo total de presión acústica	Dominios 8, 17	
acpr2.c_c	$acpr2.iomega / acpr2.ik$	m/s	Velocidad del sonido compleja	Dominios 8, 17	
acpr2.rho_c	$acpr2.rho \cdot (acpr2.c / acpr2.c_c)^2$	kg/m ³	Densidad compleja	Dominios 8, 17	
acpr2.Z	$acpr2.rho_c \cdot acpr2.c_c$	Pa·s/m	Impedancia acústica característica	Dominios 8, 17	
acpr2.k	$acpr2.ik / i$	rad/m	Número de onda	Dominios 8, 17	
acpr2.ik	$acpr2.iomega / acpr2.c + acpr2.alpha_1$	rad/m	Número de onda desfasado	Dominios 8, 17	
acpr2.delta_diff	2.0E-5[m ² /s]	m ² /s	Sound diffusivity	Dominios 8, 17	
acpr2.K_eff	$acpr2.rho_c \cdot acpr2.c_c^2$	Pa	Módulo de compresibilidad efectivo	Dominios 8, 17	
acpr2.gradpr	$d(acpr2.p_t, r)$	N/m ³	Gradiente de la presión total, componente r	Dominios 8, 17	Operación +
acpr2.gradpphi	$-i \cdot acpr2.m \cdot acpr2.p_t / r$	N/m ³	Gradiente de la presión total, componente phi	Dominios 8, 17	Operación +
acpr2.gradpz	$d(acpr2.p_t, z)$	N/m ³	Gradiente de la presión total, componente z	Dominios 8, 17	Operación +
acpr2.gradtestpr	test(p2r)	N/m ³	Variable de ayuda, componente r	Dominios 8, 17	Operación +
acpr2.gradtestpphi	$i \cdot acpr2.m \cdot test(p_2) / r$	N/m ³	Variable de ayuda, componente phi	Dominios 8, 17	Operación +
acpr2.gradtestpz	test(p2z)	N/m ³	Variable de ayuda, componente z	Dominios 8, 17	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.hessianpr	$d(d(acpr2.p_t,r),r)$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente rr	Dominios 8, 17	Operación +
acpr2.hessianpphir	$-i \cdot acpr2.m \cdot d(acpr2.p_t,r)/r$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente phir	Dominios 8, 17	Operación +
acpr2.hessianpzr	$d(d(acpr2.p_t,z),r)$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente zr	Dominios 8, 17	Operación +
acpr2.hessianprphi	$-d(acpr2.p_t,r) \cdot i \cdot acpr2.m/r$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente rphi	Dominios 8, 17	Operación +
acpr2.hessianpphiphi	$acpr2.p_t \cdot (i \cdot acpr2.m)^2/r^2$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente phiphi	Dominios 8, 17	Operación +
acpr2.hessianpzphi	$-d(acpr2.p_t,z) \cdot i \cdot acpr2.m/r$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente zphi	Dominios 8, 17	Operación +
acpr2.hessianprz	$d(d(acpr2.p_t,r),z)$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente rz	Dominios 8, 17	Operación +
acpr2.hessianpphiz	$-i \cdot acpr2.m \cdot d(acpr2.p_t,z)/r$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente phiz	Dominios 8, 17	Operación +
acpr2.hessianpzz	$d(d(acpr2.p_t,z),z)$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente zz	Dominios 8, 17	Operación +
acpr2.hessiantestprr	test(p2rr)	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente rr	Dominios 8, 17	Operación +
acpr2.hessiantestp phir	$i \cdot acpr2.m \cdot test(p2r)/r$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente phir	Dominios 8, 17	Operación +
acpr2.hessiantestpzr	test(p2zr)	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente zr	Dominios 8, 17	Operación +
acpr2.hessiantestprphi	test(p2r) $\cdot i \cdot acpr2.m/r$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda,	Dominios 8, 17	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			componente rphi		
acpr2.hessiantestp phiphi	$\text{test}(p2) \cdot (i \cdot \text{acpr2.m})^2 / r^2$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente phiphi	Dominios 8, 17	Operación +
acpr2.hessiantestp zphi	$\text{test}(p2z) \cdot i \cdot \text{acpr2.m} / r$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente zphi	Dominios 8, 17	Operación +
acpr2.hessiantestp rz	$\text{test}(p2rz)$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente rz	Dominios 8, 17	Operación +
acpr2.hessiantestp phiz	$i \cdot \text{acpr2.m} \cdot \text{test}(p2z) / r$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente phiz	Dominios 8, 17	Operación +
acpr2.hessiantestp zz	$\text{test}(p2zz)$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente zz	Dominios 8, 17	Operación +
acpr2.keq_sq	$-\text{acpr2.ik}^2 - (\text{acpr2.m}/r)^2$	$1/m^2$	Número de onda al cuadrado para ecuaciones	Dominios 8, 17	Operación +
acpr2.keq	$\text{sqrt}(\text{acpr2.keq_sq})$	rad/m	Número de onda para ecuaciones	Dominios 8, 17	
acpr2.kip	$\text{sqrt}(\text{acpr2.keq_sq})$	rad/m	Número de onda en el plano	Dominios 8, 17	
acpr2.absp	$\text{sqrt}(\text{realdot}(\text{acpr2.p_t}, \text{acpr2.p_t}))$	Pa	Presión absoluta	Dominios 8, 17	
acpr2.ar	$-(\text{acpr2.gradpr} - \text{acpr2.q_totr}) / \text{acpr2.rho_c}$	m/s^2	Aceleración local, componente r	Dominios 8, 17	
acpr2.aphi	$-(\text{acpr2.gradpphi} - \text{acpr2.q_totphi}) / \text{acpr2.rho_c}$	m/s^2	Aceleración local, componente phi	Dominios 8, 17	
acpr2.az	$-(\text{acpr2.gradpz} - \text{acpr2.q_totz}) / \text{acpr2.rho_c}$	m/s^2	Aceleración local, componente z	Dominios 8, 17	
acpr2.a_inst	$\text{sqrt}(\text{real}(\text{acpr2.ar})^2 + \text{real}(\text{acpr2.aphi})^2 + \text{real}(\text{acpr2.az})^2)$	m/s^2	Aceleración local instantánea	Dominios 8, 17	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.aipr	acpr2.ar	m/s ²	Aceleración en el plano, componente r	Dominios 8, 17	
acpr2.aipphi	0	m/s ²	Aceleración en el plano, componente phi	Dominios 8, 17	
acpr2.aipz	acpr2.az	m/s ²	Aceleración en el plano, componente z	Dominios 8, 17	
acpr2.aopr	0	m/s ²	Aceleración fuera del plano, componente r	Dominios 8, 17	
acpr2.aopphi	acpr2.aphi	m/s ²	Aceleración fuera del plano, componente phi	Dominios 8, 17	
acpr2.aopz	0	m/s ²	Aceleración fuera del plano, componente z	Dominios 8, 17	
acpr2.a_rms	$\sqrt{0.5*(\text{realdot}(acpr2.ar,acpr2.ar)+\text{realdot}(acpr2.aphi,acpr2.aphi)+\text{realdot}(acpr2.az,acpr2.az))}$	m/s ²	Aceleración local, (RMS)	Dominios 8, 17	
acpr2.vr	$-(acpr2.gradpr-acpr2.q_totr)/(acpr2.rho_c*acpr2.iomega)$	m/s	Velocidad local, componente r	Dominios 8, 17	
acpr2.vphi	$-(acpr2.gradpphi-acpr2.q_totphi)/(acpr2.rho_c*acpr2.iomega)$	m/s	Velocidad local, componente phi	Dominios 8, 17	
acpr2.vz	$-(acpr2.gradpz-acpr2.q_totz)/(acpr2.rho_c*acpr2.iomega)$	m/s	Velocidad local, componente z	Dominios 8, 17	
acpr2.v_inst	$\sqrt{\text{real}(acpr2.vr)^2+\text{real}(acpr2.vphi)^2+\text{real}(acpr2.vz)^2}$	m/s	Velocidad local instantánea	Dominios 8, 17	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.v_rms	$\sqrt{0.5*(\text{realdot}(acpr2.v_r,acpr2.v_r)+\text{realdot}(acpr2.v_{\phi},acpr2.v_{\phi})+\text{realdot}(acpr2.v_z,acpr2.v_z))}$	m/s	Velocidad local, componente (RMS)	Dominios 8, 17	
acpr2.Ir	$0.5*\text{realdot}(acpr2.p_t,acpr2.v_r)$	W/m ²	Intensidad, componente r	Dominios 8, 17	
acpr2.Iphi	$0.5*\text{realdot}(acpr2.p_t,acpr2.v_{\phi})$	W/m ²	Intensidad, componente phi	Dominios 8, 17	
acpr2.Iz	$0.5*\text{realdot}(acpr2.p_t,acpr2.v_z)$	W/m ²	Intensidad, componente z	Dominios 8, 17	
acpr2.I_mag	$\sqrt{acpr2.I_r^2+acpr2.I_{\phi}^2+acpr2.I_z^2}$	W/m ²	Magnitud de intensidad	Dominios 8, 17	
acpr2.Lp	$10*\log_{10}(0.5*acpr2.p_t*\text{conj}(acpr2.p_t)/acpr2.pref_SPL^2)$	dB	Nivel de presión sonora	Dominios 8, 17	
acpr2.vipr	acpr2.vr	m/s	Velocidad en el plano, componente r	Dominios 8, 17	
acpr2.vipphi	0	m/s	Velocidad en el plano, componente phi	Dominios 8, 17	
acpr2.vipz	acpr2.vz	m/s	Velocidad en el plano, componente z	Dominios 8, 17	
acpr2.vopr	0	m/s	Velocidad fuera del plano, componente r	Dominios 8, 17	
acpr2.vopphi	acpr2.vphi	m/s	Velocidad fuera del plano, componente phi	Dominios 8, 17	
acpr2.vopz	0	m/s	Velocidad fuera del plano, componente z	Dominios 8, 17	
acpr2.diss_visc	0	W/m ³	Densidad de disipación de potencia viscosa	Dominios 8, 17	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.diss_therm	0	W/m ³	Densidad de disipación de potencia térmica	Dominios 8, 17	
acpr2.diss_tot	acpr2.diss_visc+acpr2.diss_therm	W/m ³	Densidad de disipación de potencia termo-viscosa total	Dominios 8, 17	
acpr2.Q_pw	-2*imag(acpr2.k)*acpr2.I_mag	W/m ³	Densidad de disipación total de onda plana	Dominios 8, 17	
acpr2.rho_eff_invrr	1/acpr2.rho_c	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 8, 17	
acpr2.rho_eff_invphir	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 8, 17	
acpr2.rho_eff_invzr	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 8, 17	
acpr2.rho_eff_invrphi	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 8, 17	
acpr2.rho_eff_invphiphi	1/acpr2.rho_c	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 8, 17	
acpr2.rho_eff_invzphi	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 8, 17	
acpr2.rho_eff_invrz	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 8, 17	
acpr2.rho_eff_invphiz	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 8, 17	
acpr2.rho_eff_invzz	1/acpr2.rho_c	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 8, 17	
acpr2.rho_effirr	acpr2.rho_c	kg/m ³	Densidad efectiva, componente rr	Dominios 8, 17	
acpr2.rho_effphir	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente phir	Dominios 8, 17	
acpr2.rho_effzr	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente zr	Dominios 8, 17	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.rho_effrphi	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente rphi	Dominios 8, 17	
acpr2.rho_effphihi	acpr2.rho_c	kg/m ³	Densidad efectiva, componente phihi	Dominios 8, 17	
acpr2.rho_effzphi	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente zphi	Dominios 8, 17	
acpr2.rho_effriz	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente riz	Dominios 8, 17	
acpr2.rho_effphiz	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente phiz	Dominios 8, 17	
acpr2.rho_effzz	acpr2.rho_c	kg/m ³	Densidad efectiva, componente zz	Dominios 8, 17	

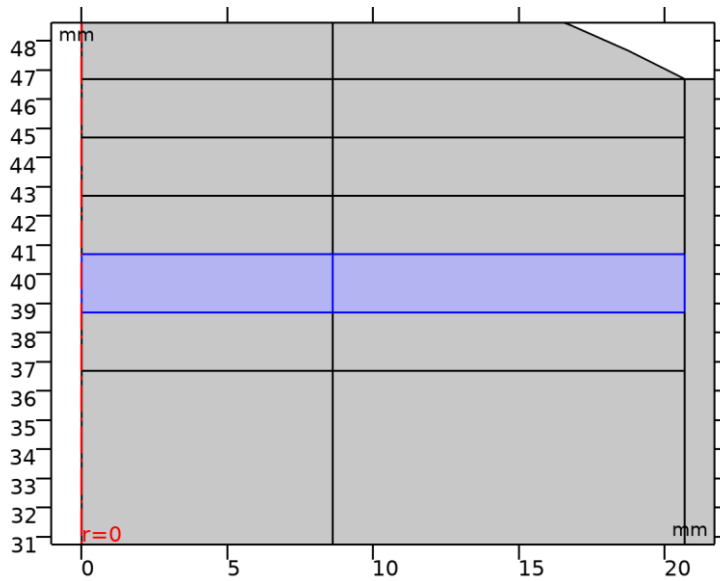
6.1.1.41 Funciones de forma

Nombre	Función de forma	Unidad	Descripción	Marco de forma	Selección
p2	Lagrange (Cuadrático)	Pa	Presión	Marco espacial	Dominios 8, 17

6.1.1.42 Expresiones débiles

Expresión débil	Orden de integración	Marco de integración	Selección
$2*(-acpr2.gradpr*acpr2.gradtestpr - acpr2.gradpphi*acpr2.gradtestpphi - acpr2.gradpz*acpr2.gradtestpz - acpr2.p_t*test(p2)*acpr2.ik^2)*acpr2.delta*pi*r/acpr2.rho_c$	4	Marco espacial	Dominios 8, 17
$2*acpr2.delta*acpr2.Q*test(p2)*pi*r$	4	Marco espacial	Dominios 8, 17
$2*acpr2.delta*(acpr2.q_totr*acpr2.gradtestpr + acpr2.q_totphi*acpr2.gradtestpphi + acpr2.q_totz*acpr2.gradtestpz)*pi*r/acpr2.rho_c$	4	Marco espacial	Dominios 8, 17

2.4.13 Presión acústica 8 - Zona Etilenglicol Viscoso



Presión acústica 8 - Zona Etilenglicol Viscoso

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrica	Dominio
Selección	Geometría geom2: Dimensión 2: Dominios 7, 16

ECUACIONES

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

$$p_t = p_2 + p_b$$

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

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

6.1.1.43 Modelo de presión acústica

SETTINGS

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

6.1.1.44 Entrada del modelo

SETTINGS

Description	Value
Temperatura	Definido por el usuario
Temperatura	TempEtilenglicolViscoso
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

6.1.1.45 Variables

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.p_s	acpr2.p_t- acpr2.p_b	Pa	Campo de presión difractado	Dominios 7, 16	
acpr2.Lp_s	$10 \cdot \log_{10}(0.5 \cdot \text{acpr2.p}_s \cdot \text{conj}(\text{acpr2.p}_s) / \text{acpr2.pref}_S \cdot \text{PL}^2)$	dB	Nivel de presión de sonido difractado	Dominios 7, 16	
acpr2.p_b	0	Pa	Campo de presión en segundo plano	Dominios 7, 16	Operación +
acpr2.rho	material.rho	kg/m ³	Densidad	Dominios 7, 16	Meta
acpr2.c	material.c	m/s	Velocidad del sonido	Dominios 7, 16	Meta
acpr2.alpha1	Alpha_Etilenglicol	Np/m	Coefficiente de atenuación	Dominios 7, 16	
acpr2.q_totr	acpr2.qr	N/m ³	Fuente de dipolo total, componente r	Dominios 7, 16	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.q_totphi	acpr2.qphi	N/m ³	Fuente de dipolo total, componente phi	Dominios 7, 16	Operación +
acpr2.q_totz	acpr2.qz	N/m ³	Fuente de dipolo total, componente z	Dominios 7, 16	Operación +
acpr2.nacc	0	m/s ²	Inward acceleration (source)	Contornos 15–16, 18, 37–38, 40, 50	Operación +
acpr2.Q	0	1/s ²	Total monopole domain source	Dominios 7, 16	Operación +
acpr2.qr	0	N/m ³	Fuente de dipolo de dominio, componente r	Dominios 7, 16	Operación +
acpr2.qphi	0	N/m ³	Fuente de dipolo de dominio, componente phi	Dominios 7, 16	Operación +
acpr2.qz	0	N/m ³	Fuente de dipolo de dominio, componente z	Dominios 7, 16	Operación +
acpr2.FAcoPerArear	$acpr2.p_t * acpr2.nr * dvol_spatial * r / (dvol * R)$	N/m ²	Carga acústica por unidad de área, componente r	Contornos 15–16, 18, 37–38, 40, 50	
acpr2.FAcoPerAreaphi	$acpr2.p_t * acpr2.nphi * dvol_spatial * r / (dvol * R)$	N/m ²	Carga acústica por unidad de área, componente phi	Contornos 15–16, 18, 37–38, 40, 50	
acpr2.FAcoPerArearz	$acpr2.p_t * acpr2.nz * dvol_spatial * r / (dvol * R)$	N/m ²	Carga acústica por unidad de área, componente z	Contornos 15–16, 18, 37–38, 40, 50	
acpr2.p_t	p2+acpr2.p_b	Pa	Campo total de presión acústica	Dominios 7, 16	
acpr2.c_c	acpr2.iomega/acpr2.ik	m/s	Velocidad del sonido compleja	Dominios 7, 16	
acpr2.rho_c	$acpr2.rho * (acpr2.c / acpr2.c_c)^2$	kg/m ³	Densidad compleja	Dominios 7, 16	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.Z	$acpr2.rho_c * acpr2.c_c$	Pa·s/m	Impedancia acústica característica	Dominios 7, 16	
acpr2.k	$acpr2.ik/i$	rad/m	Número de onda	Dominios 7, 16	
acpr2.ik	$acpr2.iomega/acpr2.c+acpr2.alpha1$	rad/m	Número de onda desfasado	Dominios 7, 16	
acpr2.delta_diff	$2.0E-5[m^2/s]$	m ² /s	Sound diffusivity	Dominios 7, 16	
acpr2.K_eff	$acpr2.rho_c * acpr2.c_c^2$	Pa	Módulo de compresibilidad efectivo	Dominios 7, 16	
acpr2.gradpr	$d(acpr2.p_t,r)$	N/m ³	Gradiente de la presión total, componente r	Dominios 7, 16	Operación +
acpr2.gradpphi	$-i * acpr2.m * acpr2.p_t/r$	N/m ³	Gradiente de la presión total, componente phi	Dominios 7, 16	Operación +
acpr2.gradpz	$d(acpr2.p_t,z)$	N/m ³	Gradiente de la presión total, componente z	Dominios 7, 16	Operación +
acpr2.gradtestpr	$test(p2r)$	N/m ³	Variable de ayuda, componente r	Dominios 7, 16	Operación +
acpr2.gradtestpphi	$i * acpr2.m * test(p2)/r$	N/m ³	Variable de ayuda, componente phi	Dominios 7, 16	Operación +
acpr2.gradtestpz	$test(p2z)$	N/m ³	Variable de ayuda, componente z	Dominios 7, 16	Operación +
acpr2.hessianpr	$d(d(acpr2.p_t,r),r)$	N/(m·m ³)	Hessiano de la presión total, componente rr	Dominios 7, 16	Operación +
acpr2.hessianpphi	$-i * acpr2.m * d(acpr2.p_t,r)/r$	N/(m·m ³)	Hessiano de la presión total, componente phir	Dominios 7, 16	Operación +
acpr2.hessianpz	$d(d(acpr2.p_t,z),r)$	N/(m·m ³)	Hessiano de la presión total, componente zr	Dominios 7, 16	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.hessianprphi	$-\frac{d(\text{acpr2.p}_{t,r})}{\text{acpr2.m/r}} \cdot i$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente rphi	Dominios 7, 16	Operación +
acpr2.hessianpphi	$\text{acpr2.p}_{t,r} \cdot (i \cdot \text{acpr2.m})^2 / r^2$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente phipi	Dominios 7, 16	Operación +
acpr2.hessianpzphi	$-\frac{d(\text{acpr2.p}_{t,z})}{\text{acpr2.m/r}} \cdot i$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente zphi	Dominios 7, 16	Operación +
acpr2.hessianprz	$d(d(\text{acpr2.p}_{t,r}, z))$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente rz	Dominios 7, 16	Operación +
acpr2.hessianpphi z	$-\frac{d(\text{acpr2.p}_{t,z})}{\text{acpr2.m/r}} \cdot i$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente phiz	Dominios 7, 16	Operación +
acpr2.hessianpzz	$d(d(\text{acpr2.p}_{t,z}, z))$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente zz	Dominios 7, 16	Operación +
acpr2.hessiantestprr	test(p2rr)	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente rr	Dominios 7, 16	Operación +
acpr2.hessiantestp phir	$i \cdot \text{acpr2.m} \cdot \text{test}(p2r) / r$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente phir	Dominios 7, 16	Operación +
acpr2.hessiantestp zr	test(p2zr)	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente zr	Dominios 7, 16	Operación +
acpr2.hessiantestp rphi	test(p2r) * i * acpr2.m / r	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente rphi	Dominios 7, 16	Operación +
acpr2.hessiantestp phipi	test(p2) * (i * acpr2.m)^2 / r^2	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente phipi	Dominios 7, 16	Operación +
acpr2.hessiantestp zphi	test(p2z) * i * acpr2.m / r	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente zphi	Dominios 7, 16	Operación +
acpr2.hessiantestp rz	test(p2rz)	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente rz	Dominios 7, 16	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
rz			ayuda, componente rz	16	
acpr2.hessiantestp phiz	$i*acpr2.m*test(p2z)/r$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente phiz	Dominios 7, 16	Operación +
acpr2.hessiantestp zz	$test(p2zz)$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente zz	Dominios 7, 16	Operación +
acpr2.keq_sq	$-acpr2.ik^2-(acpr2.m/r)^2$	$1/m^2$	Número de onda al cuadrado para ecuaciones	Dominios 7, 16	Operación +
acpr2.keq	$\sqrt{acpr2.keq_sq}$	rad/m	Número de onda para ecuaciones	Dominios 7, 16	
acpr2.kip	$\sqrt{acpr2.keq_sq}$	rad/m	Número de onda en el plano	Dominios 7, 16	
acpr2.absp	$\sqrt{realdot(acpr2.p_t,acpr2.p_t)}$	Pa	Presión absoluta	Dominios 7, 16	
acpr2.ar	$-(acpr2.gradpr-acpr2.q_totr)/acpr2.rho_c$	m/s^2	Aceleración local, componente r	Dominios 7, 16	
acpr2.aphi	$-(acpr2.gradpphi-acpr2.q_totphi)/acpr2.rho_c$	m/s^2	Aceleración local, componente phi	Dominios 7, 16	
acpr2.az	$-(acpr2.gradpz-acpr2.q_totz)/acpr2.rho_c$	m/s^2	Aceleración local, componente z	Dominios 7, 16	
acpr2.a_inst	$\sqrt{real(acpr2.ar)^2+real(acpr2.aphi)^2+real(acpr2.az)^2}$	m/s^2	Aceleración local instantánea	Dominios 7, 16	
acpr2.aipr	acpr2.ar	m/s^2	Aceleración en el plano, componente r	Dominios 7, 16	
acpr2.aipphi	0	m/s^2	Aceleración en el plano, componente phi	Dominios 7, 16	
acpr2.aipz	acpr2.az	m/s^2	Aceleración en el plano, componente z	Dominios 7, 16	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.aopr	0	m/s ²	Aceleración fuera del plano, componente r	Dominios 7, 16	
acpr2.aopphi	acpr2.aphi	m/s ²	Aceleración fuera del plano, componente phi	Dominios 7, 16	
acpr2.aopz	0	m/s ²	Aceleración fuera del plano, componente z	Dominios 7, 16	
acpr2.a_rms	$\sqrt{0.5*(\text{realdot}(\text{acpr2.ar}, \text{acpr2.ar}) + \text{realdot}(\text{acpr2.aphi}, \text{acpr2.aphi}) + \text{realdot}(\text{acpr2.az}, \text{acpr2.az}))}$	m/s ²	Aceleración local, (RMS)	Dominios 7, 16	
acpr2.vr	$-(\text{acpr2.gradpr} - \text{acpr2.q_totr}) / (\text{acpr2.rho}_c * \text{acpr2.iomega})$	m/s	Velocidad local, componente r	Dominios 7, 16	
acpr2.vphi	$-(\text{acpr2.gradpphi} - \text{acpr2.q_totphi}) / (\text{acpr2.rho}_c * \text{acpr2.iomega})$	m/s	Velocidad local, componente phi	Dominios 7, 16	
acpr2.vz	$-(\text{acpr2.gradpz} - \text{acpr2.q_totz}) / (\text{acpr2.rho}_c * \text{acpr2.iomega})$	m/s	Velocidad local, componente z	Dominios 7, 16	
acpr2.v_inst	$\sqrt{\text{real}(\text{acpr2.vr})^2 + \text{real}(\text{acpr2.vphi})^2 + \text{real}(\text{acpr2.vz})^2}$	m/s	Velocidad local instantánea	Dominios 7, 16	
acpr2.v_rms	$\sqrt{0.5*(\text{realdot}(\text{acpr2.vr}, \text{acpr2.vr}) + \text{realdot}(\text{acpr2.vphi}, \text{acpr2.vphi}) + \text{realdot}(\text{acpr2.vz}, \text{acpr2.vz}))}$	m/s	Velocidad local, componente (RMS)	Dominios 7, 16	
acpr2.Ir	$0.5 * \text{realdot}(\text{acpr2.p_t}, \text{acpr2.vr})$	W/m ²	Intensidad, componente r	Dominios 7, 16	
acpr2.Iphi	$0.5 * \text{realdot}(\text{acpr2.p_t}, \text{acpr2.vphi})$	W/m ²	Intensidad, componente phi	Dominios 7, 16	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.Iz	$0.5 \cdot \text{realdot}(\text{acpr2.p}_t, \text{acpr2.vz})$	W/m ²	Intensidad, componente z	Dominios 7, 16	
acpr2.I_mag	$\sqrt{\text{acpr2.Ir}^2 + \text{acpr2.Iphi}^2 + \text{acpr2.Iz}^2}$	W/m ²	Magnitud de intensidad	Dominios 7, 16	
acpr2.Lp	$10 \cdot \log_{10}(0.5 \cdot \text{acpr2.p}_t \cdot \text{conj}(\text{acpr2.p}_t) / \text{acpr2.pref_SPL}^2)$	dB	Nivel de presión sonora	Dominios 7, 16	
acpr2.vipr	acpr2.vr	m/s	Velocidad en el plano, componente r	Dominios 7, 16	
acpr2.vipphi	0	m/s	Velocidad en el plano, componente phi	Dominios 7, 16	
acpr2.vipz	acpr2.vz	m/s	Velocidad en el plano, componente z	Dominios 7, 16	
acpr2.vopr	0	m/s	Velocidad fuera del plano, componente r	Dominios 7, 16	
acpr2.vopphi	acpr2.vphi	m/s	Velocidad fuera del plano, componente phi	Dominios 7, 16	
acpr2.vopz	0	m/s	Velocidad fuera del plano, componente z	Dominios 7, 16	
acpr2.diss_visc	0	W/m ³	Densidad de disipación de potencia viscosa	Dominios 7, 16	
acpr2.diss_therm	0	W/m ³	Densidad de disipación de potencia térmica	Dominios 7, 16	
acpr2.diss_tot	acpr2.diss_visc + acpr2.diss_therm	W/m ³	Densidad de disipación de potencia termo-viscosa total	Dominios 7, 16	
acpr2.Q_pw	$-2 \cdot \text{imag}(\text{acpr2.k}) \cdot \text{acpr2.I_mag}$	W/m ³	Densidad de disipación total de onda plana	Dominios 7, 16	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.rho_eff_invrr	$1/acpr2.rho_c$	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 7, 16	
acpr2.rho_eff_invphir	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 7, 16	
acpr2.rho_eff_invzr	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 7, 16	
acpr2.rho_eff_invrphi	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 7, 16	
acpr2.rho_eff_invphiphi	$1/acpr2.rho_c$	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 7, 16	
acpr2.rho_eff_invzphi	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 7, 16	
acpr2.rho_eff_invrz	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 7, 16	
acpr2.rho_eff_invphiz	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 7, 16	
acpr2.rho_eff_invzz	$1/acpr2.rho_c$	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 7, 16	
acpr2.rho_effir	acpr2.rho_c	kg/m ³	Densidad efectiva, componente rr	Dominios 7, 16	
acpr2.rho_effphir	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente phir	Dominios 7, 16	
acpr2.rho_effzr	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente zr	Dominios 7, 16	
acpr2.rho_effrphi	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente rphi	Dominios 7, 16	
acpr2.rho_effphiphi	acpr2.rho_c	kg/m ³	Densidad efectiva, componente phiphi	Dominios 7, 16	
acpr2.rho_effzphi	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente zphi	Dominios 7, 16	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.rho_effrz	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente rz	Dominios 7, 16	
acpr2.rho_effphiz	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente phiz	Dominios 7, 16	
acpr2.rho_effzz	acpr2.rho_c	kg/m ³	Densidad efectiva, componente zz	Dominios 7, 16	

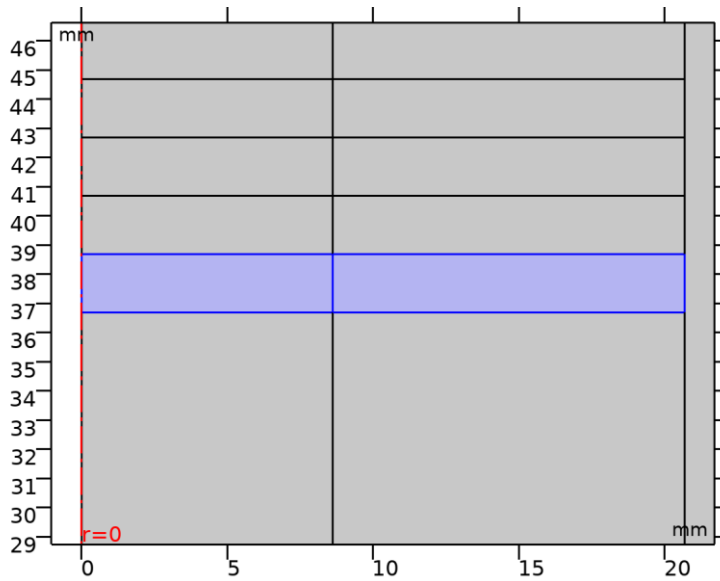
6.1.1.46 Funciones de forma

Nombre	Función de forma	Unidad	Descripción	Marco de forma	Selección
p2	Lagrange (Cuadrático)	Pa	Presión	Marco espacial	Dominios 7, 16

6.1.1.47 Expresiones débiles

Expresión débil	Orden de integración	Marco de integración	Selección
$2*(-acpr2.gradpr*acpr2.gradtestpr-acpr2.gradpphi*acpr2.gradtestpphi-acpr2.gradpz*acpr2.gradtestpz-acpr2.p_t*test(p2)*acpr2.ik^2)*acpr2.delta*pi*r/acpr2.rho_c$	4	Marco espacial	Dominios 7, 16
$2*acpr2.delta*acpr2.Q*test(p2)*pi*r$	4	Marco espacial	Dominios 7, 16
$2*acpr2.delta*(acpr2.q_totr*acpr2.gradtestpr+acpr2.q_totphi*acpr2.gradtestpphi+acpr2.q_totz*acpr2.gradtestpz)*pi*r/acpr2.rho_c$	4	Marco espacial	Dominios 7, 16

2.4.14 Presión acústica 9 - Zona Etilenglicol Muy Viscoso



Presión acústica 9 - Zona Etilenglicol Muy Viscoso

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrica	Dominio
Selección	Geometría geom2: Dimensión 2: Dominios 6, 15

ECUACIONES

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

$$p_t = p_2 + p_b$$

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

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

6.1.1.48 Modelo de presión acústica

SETTINGS

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

6.1.1.49 Entrada del modelo

SETTINGS

Description	Value
Temperatura	Definido por el usuario
Temperatura	TempEtilenglicolMuyViscoso
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

6.1.1.50 Variables

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.p_s	acpr2.p_t- acpr2.p_b	Pa	Campo de presión difractado	Dominios 6, 15	
acpr2.Lp_s	$10 \cdot \log_{10}(0.5 \cdot \text{acpr2.p}_s \cdot \text{conj}(\text{acpr2.p}_s) / \text{acpr2.pref}_S \cdot \text{PL}^2)$	dB	Nivel de presión de sonido difractado	Dominios 6, 15	
acpr2.p_b	0	Pa	Campo de presión en segundo plano	Dominios 6, 15	Operación +
acpr2.rho	material.rho	kg/m ³	Densidad	Dominios 6, 15	Meta
acpr2.c	material.c	m/s	Velocidad del sonido	Dominios 6, 15	Meta
acpr2.alpha1	Alpha_Etilenglico l	Np/m	Coefficiente de atenuación	Dominios 6, 15	
acpr2.q_totr	acpr2.qr	N/m ³	Fuente de dipolo total, componente r	Dominios 6, 15	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.q_totphi	acpr2.qphi	N/m ³	Fuente de dipolo total, componente phi	Dominios 6, 15	Operación +
acpr2.q_totz	acpr2.qz	N/m ³	Fuente de dipolo total, componente z	Dominios 6, 15	Operación +
acpr2.nacc	0	m/s ²	Inward acceleration (source)	Contornos 13–14, 16, 35–36, 38, 49	Operación +
acpr2.Q	0	1/s ²	Total monopole domain source	Dominios 6, 15	Operación +
acpr2.qr	0	N/m ³	Fuente de dipolo de dominio, componente r	Dominios 6, 15	Operación +
acpr2.qphi	0	N/m ³	Fuente de dipolo de dominio, componente phi	Dominios 6, 15	Operación +
acpr2.qz	0	N/m ³	Fuente de dipolo de dominio, componente z	Dominios 6, 15	Operación +
acpr2.FAcoPerAr ear	$acpr2.p_t * acpr2.nr * dvol_spatial * r / (dvol * R)$	N/m ²	Carga acústica por unidad de área, componente r	Contornos 13–14, 16, 35–36, 38, 49	
acpr2.FAcoPerAr eaphi	$acpr2.p_t * acpr2.nphi * dvol_spatial * r / (dvol * R)$	N/m ²	Carga acústica por unidad de área, componente phi	Contornos 13–14, 16, 35–36, 38, 49	
acpr2.FAcoPerAr eaz	$acpr2.p_t * acpr2.nz * dvol_spatial * r / (dvol * R)$	N/m ²	Carga acústica por unidad de área, componente z	Contornos 13–14, 16, 35–36, 38, 49	
acpr2.p_t	p2+acpr2.p_b	Pa	Campo total de presión acústica	Dominios 6, 15	
acpr2.c_c	acpr2.iomega/acpr2.ik	m/s	Velocidad del sonido compleja	Dominios 6, 15	
acpr2.rho_c	$acpr2.rho * (acpr2.c / acpr2.c_c)^2$	kg/m ³	Densidad compleja	Dominios 6, 15	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.Z	$acpr2.rho_c * acpr2.c_c$	Pa·s/m	Impedancia acústica característica	Dominios 6, 15	
acpr2.k	$acpr2.ik/i$	rad/m	Número de onda	Dominios 6, 15	
acpr2.ik	$acpr2.iomega/acpr2.c+acpr2.alpha1$	rad/m	Número de onda desfasado	Dominios 6, 15	
acpr2.delta_diff	$2.0E-5[m^2/s]$	m ² /s	Sound diffusivity	Dominios 6, 15	
acpr2.K_eff	$acpr2.rho_c * acpr2.c_c^2$	Pa	Módulo de compresibilidad efectivo	Dominios 6, 15	
acpr2.gradpr	$d(acpr2.p_t,r)$	N/m ³	Gradiente de la presión total, componente r	Dominios 6, 15	Operación +
acpr2.gradpphi	$-i * acpr2.m * acpr2.p_t/r$	N/m ³	Gradiente de la presión total, componente phi	Dominios 6, 15	Operación +
acpr2.gradpz	$d(acpr2.p_t,z)$	N/m ³	Gradiente de la presión total, componente z	Dominios 6, 15	Operación +
acpr2.gradtestpr	$test(p2r)$	N/m ³	Variable de ayuda, componente r	Dominios 6, 15	Operación +
acpr2.gradtestpphi	$i * acpr2.m * test(p2)/r$	N/m ³	Variable de ayuda, componente phi	Dominios 6, 15	Operación +
acpr2.gradtestpz	$test(p2z)$	N/m ³	Variable de ayuda, componente z	Dominios 6, 15	Operación +
acpr2.hessianpr	$d(d(acpr2.p_t,r),r)$	N/(m·m ³)	Hessiano de la presión total, componente rr	Dominios 6, 15	Operación +
acpr2.hessianpphi	$-i * acpr2.m * d(acpr2.p_t,r)/r$	N/(m·m ³)	Hessiano de la presión total, componente phir	Dominios 6, 15	Operación +
acpr2.hessianpz	$d(d(acpr2.p_t,z),r)$	N/(m·m ³)	Hessiano de la presión total, componente zr	Dominios 6, 15	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.hessianprphi	$-\frac{d(\text{acpr2.p}_{t,r})}{\text{acpr2.m/r}} \cdot i \cdot a$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente rphi	Dominios 6, 15	Operación +
acpr2.hessianpphi	$\text{acpr2.p}_{t,r} \cdot (i \cdot \text{acpr2.m})^2 / r^2$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente phipi	Dominios 6, 15	Operación +
acpr2.hessianpzphi	$-\frac{d(\text{acpr2.p}_{t,z})}{\text{acpr2.m/r}} \cdot i \cdot a$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente zphi	Dominios 6, 15	Operación +
acpr2.hessianprz	$d(d(\text{acpr2.p}_{t,r}, z))$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente rz	Dominios 6, 15	Operación +
acpr2.hessianpphi	$-\frac{d(\text{acpr2.p}_{t,z})}{\text{acpr2.m/r}} \cdot i \cdot \text{acpr2.m} \cdot d(\text{acpr2.p}_{t,z})$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente phiz	Dominios 6, 15	Operación +
acpr2.hessianpzz	$d(d(\text{acpr2.p}_{t,z}, z))$	$N/(m \cdot m^3)$	Hessiano de la presión total, componente zz	Dominios 6, 15	Operación +
acpr2.hessiantestprr	test(p2rr)	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente rr	Dominios 6, 15	Operación +
acpr2.hessiantestp	$i \cdot \text{acpr2.m} \cdot \text{test}(p2r) / r$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente phir	Dominios 6, 15	Operación +
acpr2.hessiantestp	test(p2zr)	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente zr	Dominios 6, 15	Operación +
acpr2.hessiantestp	$\text{test}(p2r) \cdot i \cdot \text{acpr2.m} / r$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente rphi	Dominios 6, 15	Operación +
acpr2.hessiantestp	$\text{test}(p2) \cdot (i \cdot \text{acpr2.m})^2 / r^2$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente phipi	Dominios 6, 15	Operación +
acpr2.hessiantestp	$\text{test}(p2z) \cdot i \cdot \text{acpr2.m} / r$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente zphi	Dominios 6, 15	Operación +
acpr2.hessiantestp	test(p2rz)	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de	Dominios 6,	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
rz			ayuda, componente rz	15	
acpr2.hessiantestp phiz	$i*acpr2.m*test(p2z)/r$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente phiz	Dominios 6, 15	Operación +
acpr2.hessiantestp zz	$test(p2zz)$	$N/(m \cdot m^3)$	Variable de ayuda, componente zz	Dominios 6, 15	Operación +
acpr2.keq_sq	$-acpr2.ik^2-(acpr2.m/r)^2$	$1/m^2$	Número de onda al cuadrado para ecuaciones	Dominios 6, 15	Operación +
acpr2.keq	$\sqrt{acpr2.keq_sq}$	rad/m	Número de onda para ecuaciones	Dominios 6, 15	
acpr2.kip	$\sqrt{acpr2.keq_sq}$	rad/m	Número de onda en el plano	Dominios 6, 15	
acpr2.absp	$\sqrt{realdot(acpr2.p_t,acpr2.p_t)}$	Pa	Presión absoluta	Dominios 6, 15	
acpr2.ar	$-(acpr2.gradpr-acpr2.q_totr)/acpr2.rho_c$	m/s^2	Aceleración local, componente r	Dominios 6, 15	
acpr2.aphi	$-(acpr2.gradpphi-acpr2.q_totphi)/acpr2.rho_c$	m/s^2	Aceleración local, componente phi	Dominios 6, 15	
acpr2.az	$-(acpr2.gradpz-acpr2.q_totz)/acpr2.rho_c$	m/s^2	Aceleración local, componente z	Dominios 6, 15	
acpr2.a_inst	$\sqrt{real(acpr2.ar)^2+real(acpr2.aphi)^2+real(acpr2.az)^2}$	m/s^2	Aceleración local instantánea	Dominios 6, 15	
acpr2.aipr	acpr2.ar	m/s^2	Aceleración en el plano, componente r	Dominios 6, 15	
acpr2.aipphi	0	m/s^2	Aceleración en el plano, componente phi	Dominios 6, 15	
acpr2.aipz	acpr2.az	m/s^2	Aceleración en el plano, componente z	Dominios 6, 15	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.aopr	0	m/s ²	Aceleración fuera del plano, componente r	Dominios 6, 15	
acpr2.aopphi	acpr2.aphi	m/s ²	Aceleración fuera del plano, componente phi	Dominios 6, 15	
acpr2.aopz	0	m/s ²	Aceleración fuera del plano, componente z	Dominios 6, 15	
acpr2.a_rms	$\sqrt{0.5*(\text{realdot}(acpr2.ar,acpr2.ar)+\text{realdot}(acpr2.aphi,acpr2.aphi)+\text{realdot}(acpr2.az,acpr2.az))}$	m/s ²	Aceleración local, (RMS)	Dominios 6, 15	
acpr2.vr	$-(acpr2.gradpr-acpr2.q_totr)/(acpr2.rho_c*acpr2.iomega)$	m/s	Velocidad local, componente r	Dominios 6, 15	
acpr2.vphi	$-(acpr2.gradpphi-acpr2.q_totphi)/(acpr2.rho_c*acpr2.iomega)$	m/s	Velocidad local, componente phi	Dominios 6, 15	
acpr2.vz	$-(acpr2.gradpz-acpr2.q_totz)/(acpr2.rho_c*acpr2.iomega)$	m/s	Velocidad local, componente z	Dominios 6, 15	
acpr2.v_inst	$\sqrt{\text{real}(acpr2.vr)^2+\text{real}(acpr2.vphi)^2+\text{real}(acpr2.vz)^2}$	m/s	Velocidad local instantánea	Dominios 6, 15	
acpr2.v_rms	$\sqrt{0.5*(\text{realdot}(acpr2.vr,acpr2.vr)+\text{realdot}(acpr2.vphi,acpr2.vphi)+\text{realdot}(acpr2.vz,acpr2.vz))}$	m/s	Velocidad local, componente (RMS)	Dominios 6, 15	
acpr2.Ir	$0.5*\text{realdot}(acpr2.p_t,acpr2.vr)$	W/m ²	Intensidad, componente r	Dominios 6, 15	
acpr2.Iphi	$0.5*\text{realdot}(acpr2.p_t,acpr2.vphi)$	W/m ²	Intensidad, componente phi	Dominios 6, 15	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.Iz	$0.5 \cdot \text{realdot}(\text{acpr2.p}_t, \text{acpr2.vz})$	W/m ²	Intensidad, componente z	Dominios 6, 15	
acpr2.I_mag	$\sqrt{\text{acpr2.Ir}^2 + \text{acpr2.Iphi}^2 + \text{acpr2.Iz}^2}$	W/m ²	Magnitud de intensidad	Dominios 6, 15	
acpr2.Lp	$10 \cdot \log_{10}(0.5 \cdot \text{acpr2.p}_t \cdot \text{conj}(\text{acpr2.p}_t) / \text{acpr2.pref_SPL}^2)$	dB	Nivel de presión sonora	Dominios 6, 15	
acpr2.vipr	acpr2.vr	m/s	Velocidad en el plano, componente r	Dominios 6, 15	
acpr2.vipphi	0	m/s	Velocidad en el plano, componente phi	Dominios 6, 15	
acpr2.vipz	acpr2.vz	m/s	Velocidad en el plano, componente z	Dominios 6, 15	
acpr2.vopr	0	m/s	Velocidad fuera del plano, componente r	Dominios 6, 15	
acpr2.vopphi	acpr2.vphi	m/s	Velocidad fuera del plano, componente phi	Dominios 6, 15	
acpr2.vopz	0	m/s	Velocidad fuera del plano, componente z	Dominios 6, 15	
acpr2.diss_visc	0	W/m ³	Densidad de disipación de potencia viscosa	Dominios 6, 15	
acpr2.diss_therm	0	W/m ³	Densidad de disipación de potencia térmica	Dominios 6, 15	
acpr2.diss_tot	acpr2.diss_visc + acpr2.diss_therm	W/m ³	Densidad de disipación de potencia termo-viscosa total	Dominios 6, 15	
acpr2.Q_pw	$-2 \cdot \text{imag}(\text{acpr2.k}) \cdot \text{acpr2.I_mag}$	W/m ³	Densidad de disipación total de onda plana	Dominios 6, 15	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.rho_eff_invrr	$1/\text{acpr2.rho_c}$	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 6, 15	
acpr2.rho_eff_invphir	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 6, 15	
acpr2.rho_eff_invzr	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 6, 15	
acpr2.rho_eff_invrphi	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 6, 15	
acpr2.rho_eff_invphiphi	$1/\text{acpr2.rho_c}$	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 6, 15	
acpr2.rho_eff_invzphi	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 6, 15	
acpr2.rho_eff_invrz	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 6, 15	
acpr2.rho_eff_invphiz	0	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 6, 15	
acpr2.rho_eff_invzz	$1/\text{acpr2.rho_c}$	m ³ /kg	Inverse of the effective density	Dominios 6, 15	
acpr2.rho_effirr	acpr2.rho_c	kg/m ³	Densidad efectiva, componente rr	Dominios 6, 15	
acpr2.rho_effphir	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente phir	Dominios 6, 15	
acpr2.rho_effzr	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente zr	Dominios 6, 15	
acpr2.rho_effrphi	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente rphi	Dominios 6, 15	
acpr2.rho_effphiphi	acpr2.rho_c	kg/m ³	Densidad efectiva, componente phiphi	Dominios 6, 15	
acpr2.rho_effzphi	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente zphi	Dominios 6, 15	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.rho_effrz	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente rz	Dominios 6, 15	
acpr2.rho_effphiz	0	kg/m ³	Densidad efectiva, componente phiz	Dominios 6, 15	
acpr2.rho_effzz	acpr2.rho_c	kg/m ³	Densidad efectiva, componente zz	Dominios 6, 15	

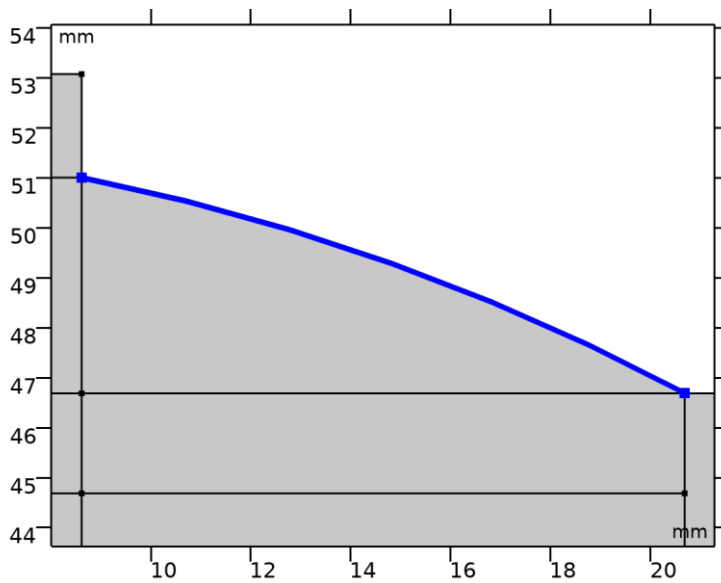
6.1.1.51 Funciones de forma

Nombre	Función de forma	Unidad	Descripción	Marco de forma	Selección
p2	Lagrange (Cuadrático)	Pa	Presión	Marco espacial	Dominios 6, 15

6.1.1.52 Expresiones débiles

Expresión débil	Orden de integración	Marco de integración	Selección
$2*(-acpr2.gradpr*acpr2.gradtestpr-acpr2.gradpphi*acpr2.gradtestpphi-acpr2.gradpz*acpr2.gradtestpz-acpr2.p_t*test(p2)*acpr2.ik^2)*acpr2.delta*pi*r/acpr2.rho_c$	4	Marco espacial	Dominios 6, 15
$2*acpr2.delta*acpr2.Q*test(p2)*pi*r$	4	Marco espacial	Dominios 6, 15
$2*acpr2.delta*(acpr2.q_totr*acpr2.gradtestpr+acpr2.q_totphi*acpr2.gradtestpphi+acpr2.q_totz*acpr2.gradtestpz)*pi*r/acpr2.rho_c$	4	Marco espacial	Dominios 6, 15

2.4.15 Desplazamiento normal 1



Desplazamiento normal 1

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrico	Contorno
Selección	Geometría geom2: Dimensión 1: Contorno 60

ECUACIONES

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

6.1.1.53 Desplazamiento normal

SETTINGS

Description	Value
Tipo	Desplazamiento hacia adentro
Desplazamiento hacia adentro	Amplitud

6.1.1.54 Variables

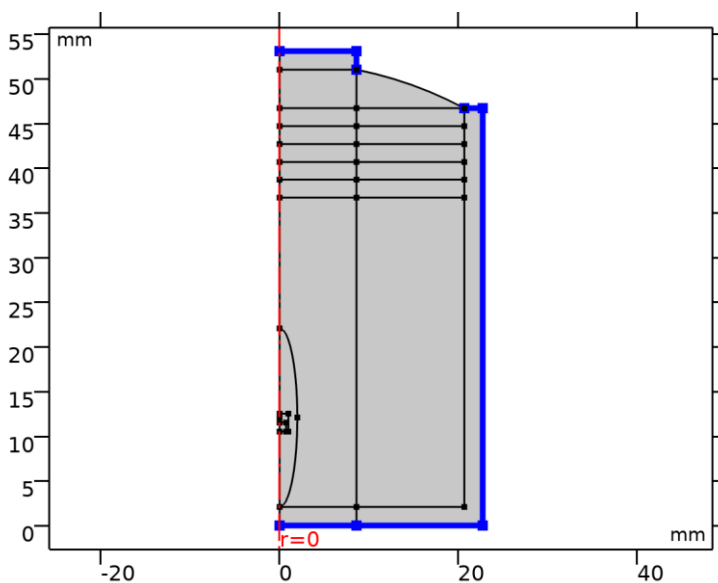
Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.nacc	acpr2.iomega^2*acpr2.ndisp1.ndisp	m/s ²	Inward acceleration (source)	Contorno 60	Operación +
acpr2.ndisp1.ndisp	Amplitud	m	Inward displacement	Contorno 60	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			(source)		
acpr2.ndisp1.area	$2 \cdot \pi \cdot \text{acpr2.ndisp1.int}(r)$	m ²	Área de superficie	Contorno 60	
acpr2.Zac	$\text{acpr2.iomega} \cdot \text{acpr2.ndisp1.int}(\text{acpr2.p}_t) / (\text{acpr2.ndisp1.int}(\text{acpr2.nacc}) \cdot \text{acpr2.ndisp1.area})$	kg/(m ⁴ ·s)	Impedancia acústica	Contorno 60	
acpr2.Zi	$\text{acpr2.iomega} \cdot \text{acpr2.p}_t / \text{acpr2.nacc}$	Pa·s/m	Impedancia específica	Contorno 60	

6.1.155 Expresiones débiles

Expresión débil	Orden de integración	Marco de integración	Selección
$2 \cdot \text{acpr2.iomega}^2 \cdot \text{acpr2.ndisp1.ndisp} \cdot \text{test}(p2) \cdot \text{acpr2.delta} \cdot \pi \cdot \text{treatasconst}(r)$	4	Marco espacial	Contorno 60

2.4.16 Radiación de onda cilíndrica 1



Radiación de onda cilíndrica 1

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrica	Contorno
Selección	Geometría geom2: Dimensión 1: Contornos 2, 27, 32, 47, 55–56

ECUACIONES

$$-\mathbf{n} \cdot \left(\frac{1}{\rho_c} (\nabla \rho_t - \mathbf{q}_d) \right) + \left(ik_{eq} + \frac{1}{2r} - \frac{1}{8r(1 + ik_{eq}r)} \right) \frac{\rho_2}{\rho_c} + \frac{r \Delta_{||} \rho_2}{2(1 + ik_{eq}r) \rho_c} = Q_i$$

UTILIZAR PRODUCTOS

COMSOL Multiphysics

6.1.1.56 Variables

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.ik	acpr2.iomega/acpr2.c _c	rad/m	Número de onda desfasado	Contornos 2, 27, 32, 47, 55–56	
acpr2.r0r	0	m	Ubicación de fuente de campo radiante, componente r	Contornos 2, 27, 32, 47, 55–56	
acpr2.r0phi	0	m	Ubicación de fuente de campo radiante, componente phi	Contornos 2, 27, 32, 47, 55–56	
acpr2.r0z	0	m	Ubicación de fuente de campo radiante, componente z	Contornos 2, 27, 32, 47, 55–56	
acpr2.srcaxisr	0		Eje fuente normalizado de campo radiante, componente r	Contornos 2, 27, 32, 47, 55–56	
acpr2.srcaxisphi	0		Eje fuente normalizado de campo radiante, componente phi	Contornos 2, 27, 32, 47, 55–56	
acpr2.srcaxisz	1		Eje fuente normalizado de campo radiante, componente z	Contornos 2, 27, 32, 47, 55–56	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
acpr2.p_i	0	Pa	Campo de presión incidente	Contornos 2, 27, 32, 47, 55-56	Operación +
acpr2.cwr1.keq_sq	$-acpr2.ik^2 - (acpr2.m/r)^2$	1/m ²	Número de onda al cuadrado para ecuaciones	Contornos 2, 27, 32, 47, 55-56	Operación +
acpr2.cwr1.keq	$if(real(acpr2.cwr1.keq_sq) < 0 \& \& abs(imag(acpr2.ik)) > abs(real(acpr2.ik)), -i * sqrt(-acpr2.cwr1.keq_sq), sqrt(acpr2.cwr1.keq_sq))$	rad/m	Número de onda para ecuaciones	Contornos 2, 27, 32, 47, 55-56	
acpr2.cwr1.r_rf	$sqrt((-acpr2.srcaxisz * acpr2.r0phi - acpr2.srcaxisphi * (z - acpr2.r0z))^2 + (-acpr2.srcaxisz * (r - acpr2.r0r) + acpr2.srcaxisr * (z - acpr2.r0z))^2 + (acpr2.srcaxisphi * (r - acpr2.r0r) + acpr2.srcaxisr * acpr2.r0phi)^2)$	m	Distancia de fuente de campo radiante	Contornos 2, 27, 32, 47, 55-56	

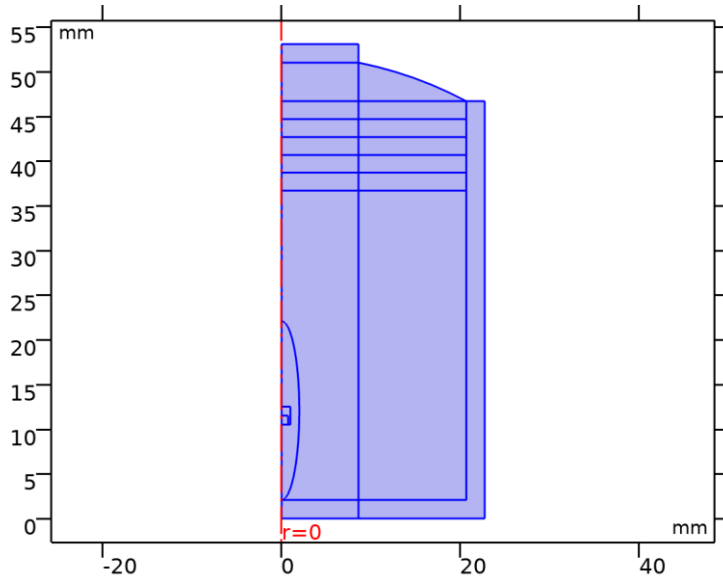
6.1.1.57 Expresiones débiles

Expresión débil	Orden de integración	Marco de integración	Selección
$2 * ((-acpr2.cwr1.keq * i - 0.5 / acpr2.cwr1.r_rf) * p^2 * test(p^2) + ((acpr2.cwr1.keq * i + 0.5 / acpr2.cwr1.r_rf) * acpr2.p_i + acpr2.nr * d(acpr2.p_i, r) + acpr2.nz * d(acpr2.p_i, z)) * test(p^2) + (acpr2.nr * mean(d(acpr2.p_b, r)) + acpr2.nphi * mean(0) + acpr2.nz * mean(d(acpr2.p_b, z))) * test(p^2) + 0.125 * p^2 * test(p^2) / ((1 + acpr2.cwr1.keq * acpr2.cwr1.r_rf * i) * acpr2.cwr1.r_rf) - 0.5 * (p^2 Tr * test(p^2 Tr) + p^2 Tz * test(p^2 Tz)) / (acpr2.cwr1.keq * i + 1 / acpr2.cwr1.r_rf) - 0.125 * acpr2.p_i * test(p^2) / ((1 + acpr2.cwr1.keq * acpr2.cwr1.r_rf * i) * acpr2.cwr1.r_rf) - 0.5 * ((acpr2.nr * d(acpr2.p_i, r) + acpr2.nz * d(acpr2.p_i, z)) * acpr2.nr - d(acpr2.p_i, r)) * test(p^2 Tr) + ((acpr2.nr * d(acpr2.p_i, r) + acpr2.nz * d(acpr2.p_i, z)) * acpr2.nz - d(acpr2.p_i, z)) * test(p^2 Tz)) / (acpr2.cwr1.keq * i + 1 / acpr2.cwr1.r_rf)) * acpr2.delta * pi * r / acpr2.rho_c$	4	Marco espacial	Contornos 2, 27, 32, 47, 55-56

2.5 TRANSFERENCIA DE BIOCALOR

UTILIZAR PRODUCTOS

COMSOL Multiphysics
Heat Transfer Module



Transferencia de biocalor

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrica	Dominio
Selección	Geometría geom2: Dimensión 2: Dominios 1–20

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

6.1.1.58 Discretización

SETTINGS

Description	Value
Temperatura	Lagrange cuadrático

6.1.1.59 Modelo físico

SETTINGS

Description	Value
Dominio isotérmico	Apagado
Transferencia de calor en medios porosos	Apagado
Temperatura de referencia	Definido por el usuario
Temperatura de referencia	TempAmbiente

2.5.2 Variables

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht.Tref	model.input.Tref	K	Temperatura de referencia	Global	Meta
ht.d	1	1	Grosor	Dominios 1–20	
ht.HRef	0	J/kg	Entalpía de referencia	Dominios 1–20	
ht.DeltaH	0	J/kg	Sensibilidad de entalpía	Dominios 1–20	Operación +
ht.H	0	J/kg	Entalpía	Dominios 1–20	Operación +
ht.H0	ht.H+ht.Ek	J/kg	Entalpía total	Dominios 1–20	
ht.Ei	0	J/kg	Energía interna	Dominios 1–20	Operación +
ht.Ei0	ht.Ei+ht.Ek	J/kg	Energía total interna	Dominios 1–20	
ht.Ek	0	J/kg	Energía cinética	Dominios 1–20	Operación +
ht.dfluxr	0	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente r	Dominios 1–20	Operación +
ht.dfluxphi	0	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente phi	Dominios 1–20	Operación +
ht.dfluxz	0	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente z	Dominios 1–20	Operación +
ht.dfluxr	mean(ht.dfluxr)	W/m ²	Flujo de calor conductivo,	Contornos 1–	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			componente r	60	
ht.dfluxphi	mean(ht.dfluxphi)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente phi	Contornos 1–60	Operación +
ht.dfluxz	mean(ht.dfluxz)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente z	Contornos 1–60	Operación +
ht.dfluxtestr	0	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente r	Dominios 1–20	Operación +
ht.dfluxtestphi	0	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente phi	Dominios 1–20	Operación +
ht.dfluxtestz	0	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente z	Dominios 1–20	Operación +
ht.dfluxtestr	mean(ht.dfluxtestr)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente r	Contornos 1–60	Operación +
ht.dfluxtestphi	mean(ht.dfluxtestphi)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente phi	Contornos 1–60	Operación +
ht.dfluxtestz	mean(ht.dfluxtestz)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente z	Contornos 1–60	Operación +
ht.dfluxMag	$\sqrt{ht.dfluxr^2+ht.dfluxphi^2+ht.dfluxz^2}$	W/m ²	Magnitud de flujo de calor conductivo	Dominios 1–20	
ht.cfluxr	0	W/m ²	Flujo de calor convectivo, componente r	Dominios 1–20	Operación +
ht.cfluxphi	0	W/m ²	Flujo de calor convectivo, componente phi	Dominios 1–20	Operación +
ht.cfluxz	0	W/m ²	Flujo de calor convectivo, componente z	Dominios 1–20	Operación +
ht.cfluxMag	$\sqrt{ht.cfluxr^2+ht.cfluxphi^2+ht.cfluxz^2}$	W/m ²	Magnitud de flujo de calor convectivo	Dominios 1–20	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
	uxz^2)		convectivo	20	
ht.tfluxr	ht.dfluxr+ht.cfluxr	W/m ²	Flujo de calor total, componente r	Dominios 1–20	
ht.tfluxphi	ht.dfluxphi+ht.cfluxphi	W/m ²	Flujo de calor total, componente phi	Dominios 1–20	
ht.tfluxz	ht.dfluxz+ht.cfluxz	W/m ²	Flujo de calor total, componente z	Dominios 1–20	
ht.tfluxMag	$\sqrt{ht.tfluxr^2+ht.tfluxphi^2+ht.tfluxz^2}$	W/m ²	Magnitud de flujo de calor total	Dominios 1–20	
ht.tefluxr	0	W/m ²	Flujo de energía total, componente r	Dominios 1–20	Operación +
ht.tefluxphi	0	W/m ²	Flujo de energía total, componente phi	Dominios 1–20	Operación +
ht.tefluxz	0	W/m ²	Flujo de energía total, componente z	Dominios 1–20	Operación +
ht.tefluxMag	$\sqrt{ht.tefluxr^2+ht.tefluxphi^2+ht.tefluxz^2}$	W/m ²	Magnitud de flujo de energía total	Dominios 1–20	
ht.dflux_ur	up(ht.dfluxr)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente r	Contornos 1–60	
ht.dflux_uphi	up(ht.dfluxphi)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente phi	Contornos 1–60	
ht.dflux_uz	up(ht.dfluxz)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente z	Contornos 1–60	
ht.dflux_dr	down(ht.dfluxr)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente r	Contornos 1–60	
ht.dflux_dphi	down(ht.dfluxphi)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente phi	Contornos 1–60	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht.dflux_dz	down(ht.dfluxz)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente z	Contornos 1-60	
ht.dfluxtest_ur	up(ht.dfluxtestr)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente r	Contornos 1-60	
ht.dfluxtest_uphi	up(ht.dfluxtestphi)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente phi	Contornos 1-60	
ht.dfluxtest_uz	up(ht.dfluxtestz)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente z	Contornos 1-60	
ht.dfluxtest_dr	down(ht.dfluxtestr)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente r	Contornos 1-60	
ht.dfluxtest_dphi	down(ht.dfluxtestphi)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente phi	Contornos 1-60	
ht.dfluxtest_dz	down(ht.dfluxtestz)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente z	Contornos 1-60	
ht.rflux	0	W/m ²	Flujo de calor radiativo	Contornos 1-60	Operación +
ht.ncflux	mean(ht.cfluxr)*ht.nr+mean(ht.cfluxphi)*ht.nphi+mean(ht.cfluxz)*ht.nz	W/m ²	Flujo de calor conductivo normal	Contornos 1-60	
ht.ncflux_u	up(ht.cfluxr)*ht.unr+up(ht.cfluxphi)*ht.unphi+up(ht.cfluxz)*ht.unz	W/m ²	Flujo de calor convectivo normal interno, lado superior	Contornos 1-60	
ht.ncflux_d	down(ht.cfluxr)*ht.dnr+down(ht.cfluxphi)*ht.dnphi+down(ht.cfluxz)*ht.dnz	W/m ²	Flujo de calor convectivo normal interno, lado inferior	Contornos 1-60	
ht.ndflux	0.5*(ht.ndflux_d-ht.ndflux_u)	W/m ²	Flujo de calor conductivo normal	Contornos 1-60	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht.ndflux_u	-ht.ndflux_d	W/m ²	Flujo de calor conductivo normal interno, lado superior	Contornos 1–3, 5, 7, 9–10, 12–13, 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27, 32, 47, 54–56, 60	Operación +
ht.ndflux_u	0	W/m ²	Flujo de calor conductivo normal interno, lado superior	Contornos 4, 6, 8, 11, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28–31, 33–46, 48–53, 57–59	Operación +
ht.ndflux_d	0	W/m ²	Flujo de calor conductivo normal interno, lado inferior	Contornos 1–60	Operación +
ht.ntflux	ht.ndflux+ht.ncflux	W/m ²	Flujo de calor normal total	Contornos 1–60	
ht.ntflux_u	ht.ndflux_u+ht.ncflux_u	W/m ²	Flujo total normal interno, lado superior	Contornos 1–60	
ht.ntflux_d	ht.ndflux_d+ht.ncflux_d	W/m ²	Flujo total normal interno, lado inferior	Contornos 1–60	
ht.nteflux	mean(ht.tefluxr)*ht.nr+mean(ht.tefluxphi)*ht.nphi+mean(ht.tefluxz)*ht.nz-mean(ht.dfluxr)*ht.nr-mean(ht.dfluxphi)*ht.nphi-mean(ht.dfluxz)*ht.nz+ht.ndflux	W/m ²	Flujo de energía normal total	Contornos 1–60	
ht.nteflux_u	up(ht.tefluxr)*ht.nr+up(ht.tefluxphi)*ht.unphi+up(ht.tefluxz)*ht.unz-up(ht.dfluxr)*ht.nr-up(ht.dfluxphi)*ht.unphi-up(ht.dfluxz)*ht.unz	W/m ²	Flujo de energía total normal interno, lado superior	Contornos 1–60	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
	$nz+ht.ndflux_u$				
ht.nteflux_d	$down(ht.tefluxr)*ht.dnr+down(ht.tefluxphi)*ht.dnphi+down(ht.tefluxz)*ht.dnz-down(ht.dfluxr)*ht.dnr-down(ht.dfluxphi)*ht.dnphi-down(ht.dfluxz)*ht.dnz+ht.ndflux_d$	W/m ²	Flujo de energía total normal interno, lado inferior	Contornos 1–60	
ht.Qm	0	kg/(m ³ ·s)	Fuente de masa	Dominios 1–20	
ht.Q	0	W/m ³	Fuente de calor	Dominios 1–20	Operación +
ht.Qoop	0	W/m ³	Fuente de calor fuera del plano	Dominios 1–20	Operación +
ht.Qtot	0	W/m ³	Fuente de calor total	Dominios 1–20	Operación +
ht.Qbtot	0	W/m ²	Fuente de calor total en contorno	Contornos 2, 4, 6, 8, 11, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26–60	Operación +
ht.qs	0	W/(m ³ ·K)	Coefficiente de producción/absorción	Dominios 1–20	Operación +
ht.qs_oop	0	W/(m ³ ·K)	Coefficiente de producción/absorción fuera del plano	Dominios 1–20	Operación +
ht.Tvar	T	K	Temperatura	Dominios 1–20	
ht.Tvar	T	K	Temperatura	Contornos 1–60	
ht.Tvar	T	K	Temperatura	Puntos 1–41	
ht.Tu	up(T)	K	Temperatura	Contornos 4, 6, 8, 11, 14, 16, 18, 20,	

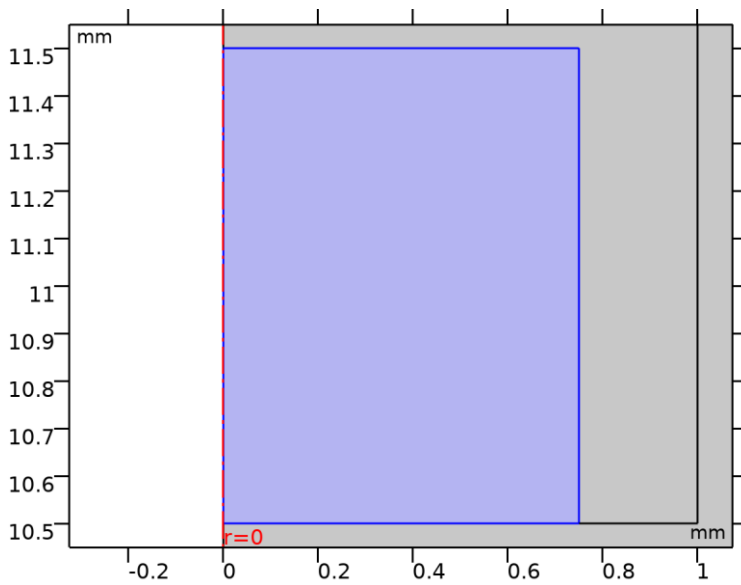
Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
				22, 24, 26, 28-31, 33-46, 48-53, 57-59	
ht.Tu	T	K	Temperatura	Contornos 2, 27, 32, 47, 54-56, 60	
ht.Td	down(T)	K	Temperatura	Contornos 4, 6, 8, 11, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28-31, 33-46, 48-53, 57-59	
ht.Td	T	K	Temperatura	Contornos 2, 27, 32, 47, 54-56, 60	
ht.q0	0	W/m ²	Flujo de calor entrante	Dominios 1-20	Operación +
ht.nr	nr	1	Vector normal, componente r	Contornos 4, 6, 8, 11, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28-31, 33-46, 48-53, 57-59	
ht.nphi	0	1	Vector normal, componente phi	Contornos 4, 6, 8, 11, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28-31, 33-46, 48-53, 57-59	
ht.nz	nz	1	Vector normal, componente z	Contornos 4, 6, 8, 11, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28-31, 33-46, 48-53, 57-59	
ht.nr	dnr	1	Vector normal, componente r	Contornos 1-3, 5, 7, 9-10, 12-13, 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27, 32, 47, 54-	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
				56, 60	
ht.nphi	0	1	Vector normal, componente phi	Contornos 1–3, 5, 7, 9–10, 12–13, 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27, 32, 47, 54–56, 60	
ht.nz	dnz	1	Vector normal, componente z	Contornos 1–3, 5, 7, 9–10, 12–13, 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27, 32, 47, 54–56, 60	
ht.nrmesh	nrmesh	1	Vector normal, (malla), componente r	Contornos 4, 6, 8, 11, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28–31, 33–46, 48–53, 57–59	
ht.nphimesh	0	1	Vector normal, (malla), componente phi	Contornos 4, 6, 8, 11, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28–31, 33–46, 48–53, 57–59	
ht.nzmesh	nzmesh	1	Vector normal, (malla), componente z	Contornos 4, 6, 8, 11, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28–31, 33–46, 48–53, 57–59	
ht.nrmesh	dnrmesh	1	Vector normal, (malla), componente r	Contornos 1–3, 5, 7, 9–10, 12–13, 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27, 32, 47, 54–56, 60	
ht.nphimesh	0	1	Vector normal, (malla),	Contornos 1–3, 5, 7, 9–10,	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			componente phi	12–13, 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27, 32, 47, 54–56, 60	
ht.nzmesh	dnzmesh	1	Vector normal, (malla), componente z	Contornos 1–3, 5, 7, 9–10, 12–13, 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27, 32, 47, 54–56, 60	
ht.dnr	dnr	1	Vector normal hacia abajo, componente r	Contornos 1–60	
ht.dnphi	0	1	Vector normal hacia abajo, componente phi	Contornos 1–60	
ht.dnz	dnz	1	Vector normal hacia abajo, componente z	Contornos 1–60	
ht.unr	unr	1	Vector normal hacia arriba, componente r	Contornos 1–60	
ht.unphi	0	1	Vector normal hacia arriba, componente phi	Contornos 1–60	
ht.unz	unz	1	Vector normal hacia arriba, componente z	Contornos 1–60	
ht.dEiInt	0	W	Tasa de calor acumulado total	Global	Operación +
ht.dEi0Int	0	W	Tasa de energía total acumulada	Global	Operación +
ht.ntfluxInt	$ht.intExtBnd(ht.ntflux*ht.varIntSpa)$	W	Tasa neta de calor total	Global	
ht.ntefluxInt	$ht.intExtBnd(ht.nteflux*ht.varIntSpa)$	W	Tasa neta de energía total	Global	
ht.QInt	$ht.intDom(ht.Qtot*ht.varIntSpa)-ht.intIntBnd(ht.ndf$	W	Fuente de calor total	Global	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
	$lux_u * up(ht.varInt Spa) + ht.ndflux_d * down(ht.varInt Spa))$				
ht.WnsInt	0	W	Fuente de trabajo total	Global	Operación +
ht.WInt	0	W	Fuente de trabajo total	Global	Operación +
ht.varIntSpa	$2 * ht.d * pi * r$	m	Variable intermedia	Dominios 1–20	Meta

2.5.3 Tejido biológico 1 - Aorta



Tejido biológico 1 - Aorta

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrico	Dominio
Selección	Geometría geom2: Dimensión 2: Todos los dominios

ECUACIONES

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

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

6.1.1.60 Conducción de calor, sólido

SETTINGS

Description	Value
Conductividad térmica	Del material

6.1.1.61 Termodinámica, sólido

SETTINGS

Description	Value
Densidad	Del material
Capacidad térmica con presión constante	Del material

6.1.1.62 Selección de sistema de coordenadas

SETTINGS

Description	Value
Sistema de Coordenadas	Sistema de coordenadas global

6.1.1.63 Entrada del modelo

SETTINGS

Description	Value
Volume reference temperature	Common model input

PROPIEDADES DESDE EL MATERIAL

Propiedad	Material	Grupo de propiedad
Conductividad térmica	Muscle	Basic
Densidad	Muscle	Basic
Capacidad térmica con presión constante	Muscle	Basic

6.1.1.64 Variables

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
domflux.Tr	$2*ht.dfluxr*ht.d*pi$ $*r$	W/m	Flujo del dominio, Componente r	Dominio 4	
domflux.Tz	$2*ht.dfluxz*ht.d*pi$ $*r$	W/m	Flujo del dominio, Componente z	Dominio 4	
ht.DeltaH	integrate(subst(ht.C p,ht.bt1.minput_pre	J/kg	Sensibilidad de entalpía	Dominio 4	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
	ssure,ht.pref),T,ht.DeltaH_Tlow,T)+integrate(ht.mujtT,ht.bt1.minput_pressure,ht.DeltaH_plow,ht.pA)				
ht.H	ht.HRef+ht.DeltaH	J/kg	Entalpía	Dominio 4	Operación +
ht.Ei	ht.H	J/kg	Energía interna	Dominio 4	Operación +
ht.Ek	0.5*(ht.ur^2+ht.upsi^2+ht.uz^2)	J/kg	Energía cinética	Dominio 4	Operación +
ht.dfluxr	-ht.k_effir*Tr-ht.k_effirz*Tz	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente r	Dominio 4	Operación +
ht.dfluxphi	-ht.k_effphir*Tr-ht.k_effphiz*Tz	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente phi	Dominio 4	Operación +
ht.dfluxz	-ht.k_effzr*Tr-ht.k_effzz*Tz	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente z	Dominio 4	Operación +
ht.dfluxtestr	-ht.k_effir*test(Tr)-ht.k_effirz*test(Tz)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente r	Dominio 4	Operación +
ht.dfluxtestphi	-ht.k_effphir*test(Tr)-ht.k_effphiz*test(Tz)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente phi	Dominio 4	Operación +
ht.dfluxtestz	-ht.k_effzr*test(Tr)-ht.k_effzz*test(Tz)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente z	Dominio 4	Operación +
ht.cfluxr	ht.rho*ht.ur*ht.Ei	W/m ²	Flujo de calor convectivo, componente r	Dominio 4	Operación +
ht.cfluxphi	ht.rho*ht.uphi*ht.Ei	W/m ²	Flujo de calor convectivo, componente phi	Dominio 4	Operación +
ht.cfluxz	ht.rho*ht.uz*ht.Ei	W/m ²	Flujo de calor convectivo, componente z	Dominio 4	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht.tefluxr	$ht.dfluxr+ht.rho*ht.ur*ht.H0$	W/m ²	Flujo de energía total, componente r	Dominio 4	Operación +
ht.tefluxphi	$ht.dfluxphi+ht.rho*ht.uphi*ht.H0$	W/m ²	Flujo de energía total, componente phi	Dominio 4	Operación +
ht.tefluxz	$ht.dfluxz+ht.rho*ht.uz*ht.H0$	W/m ²	Flujo de energía total, componente z	Dominio 4	Operación +
ht.ndflux_d	$if(r>0.001/sqrt(sqrt(mean(emetric2))),-0.5*dflux_spatial(T)/(pi*r),NaN)/down(ht.d)$	W/m ²	Flujo de calor conductivo normal interno, lado inferior	Contornos 5–6, 8, 28	Operación +
ht.dEiInt	ht.bt1.dEiInt	W	Tasa de calor acumulado total	Global	Operación +
ht.dEi0Int	ht.bt1.dEi0Int	W	Tasa de energía total acumulada	Global	Operación +
ht.WnsInt	ht.bt1.WnsInt	W	Fuente de trabajo total	Global	Operación +
ht.krr	material.k11	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente rr	Dominio 4	Meta
ht.kphir	material.k21	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente phir	Dominio 4	Meta
ht.kzr	material.k31	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente zr	Dominio 4	Meta
ht.krphi	material.k12	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente rphi	Dominio 4	Meta
ht.khiphi	material.k22	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente phiphi	Dominio 4	Meta
ht.kzphi	material.k32	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente zphi	Dominio 4	Meta
ht.krz	material.k13	W/(m·K)	Conductividad	Dominio 4	Meta

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			térmica, componente rz		
ht.kphiz	material.k23	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente phiz	Dominio 4	Meta
ht.kzz	material.k33	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente zz	Dominio 4	Meta
ht.k_iso	material.k_iso	W/(m·K)	Conductividad térmica, valor isotrópico	Dominio 4	Meta
ht.rho	material.rho	kg/m ³	Densidad	Dominio 4	Meta
ht.Cp	material.Cp	J/(kg·K)	Capacidad térmica con presión constante	Dominio 4	Meta
ht.res_T	-ht.k_effir*Trr- ht.k_effiz*Trz- ht.k_effiz*Trz- ht.k_effzr*Tzr- ht.k_effzz*Tzz- (ht.qs+ht.qs_oop)* T+ht.C_eff*(ht.ur* Tr+ht.uz*Tz)-ht.Q- ht.Qoop	W/m ³	Residuos de ecuación	Dominio 4	Operación +
ht.alphap	- d(ht.rho,T)/(ht.rho+ eps)	1/K	Coefficiente de compresibilidad isobárico	Dominio 4	
ht.pA	ht.pref	Pa	Presión absoluta	Dominio 4	
ht.gradTmag	sqrt(ht.gradTr^2+ht. .gradTphi^2+ht.gra dTz^2)	K/m	Magnitud de gradiente de la temperatura	Dominio 4	
ht.Qmet	0	W/m ³	Fuente de calor metabólica	Dominio 4	Operación +
ht.pref	ht.bt1.pref	Pa	Nivel de presión de referencia	Dominio 4	
ht.DeltaH_Tlow	ht.Tref	K	Límite inferior de temperatura para evaluación de entalpía	Dominio 4	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht.DeltaH_plow	ht.pref	Pa	Límite inferior de presión para evaluación de entalpía	Dominio 4	
ht.rhoInit	subst(ht.rho,T,ht.Tinit,minput.pA,ht.pref)	kg/m ³	Densidad inicial	Dominio 4	
ht.rho_eff	ht.rho	kg/m ³	Densidad efectiva	Dominio 4	
ht.C_eff	ht.rho*ht.Cp	J/(m ³ ·K)	Capacidad térmica volumétrica efectiva	Dominio 4	
ht.muJT	0	m ³ /kg	Coefficiente isotérmico de Joule-Thomson	Dominio 4	
ht.k_effrr	ht.krr	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente rr	Dominio 4	
ht.k_effphir	ht.kphir	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente phir	Dominio 4	
ht.k_effzr	ht.kzr	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente zr	Dominio 4	
ht.k_effrphi	ht.krphi	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente rphi	Dominio 4	
ht.k_effphiphi	ht.khiphi	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente phiphi	Dominio 4	
ht.k_effzphi	ht.kzphi	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente zphi	Dominio 4	
ht.k_effrz	ht.krz	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente rz	Dominio 4	
ht.k_effphiz	ht.kphiz	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente phiz	Dominio 4	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht.k_effzz	ht.kzz	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente zz	Dominio 4	
ht.kappaTrr	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente rr	Dominio 4	
ht.kappaTphir	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente phir	Dominio 4	
ht.kappaTzr	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente zr	Dominio 4	
ht.kappaTrphi	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente rphi	Dominio 4	
ht.kappaTphiphi	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente phiphi	Dominio 4	
ht.kappaTzphi	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente zphi	Dominio 4	
ht.kappaTrz	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente rz	Dominio 4	
ht.kappaTphiz	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente phiz	Dominio 4	
ht.kappaTzz	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente zz	Dominio 4	
ht.kmean	$0.5*(ht.k_effrr+ht.k$	W/(m·K)	Conductividad	Dominio 4	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
	C_{effzz})		térmica efectiva media		
ht.ur	0	m/s	Campo de velocidad, componente r	Dominio 4	Operación +
ht.uphi	0	m/s	Campo de velocidad, componente phi	Dominio 4	Operación +
ht.uz	0	m/s	Campo de velocidad, componente z	Dominio 4	Operación +
ht.gradTr	Tr	K/m	Gradiente de temperatura, componente r	Dominio 4	
ht.gradTphi	0	K/m	Gradiente de temperatura, componente phi	Dominio 4	
ht.gradTz	Tz	K/m	Gradiente de temperatura, componente z	Dominio 4	
ht.cellPe	$0.5 * ht.rho * ht.Cp * h * \sqrt{ht.ur^2 + ht.uphi^2 + ht.uz^2} / ht.k_{mean}$	1	Número Peclet de celda	Dominio 4	
ht.Qltot	0	W/m	Fuente de calor total de linea	Puntos 16–17	Operación +
ht.alphaTdr	$ht.k_{effr} / ht.C_{eff}$	m ² /s	Difusividad térmica, componente rr	Dominio 4	
ht.alphaTdphi	$ht.k_{effphi} / ht.C_{eff}$	m ² /s	Difusividad térmica, componente phi	Dominio 4	
ht.alphaTdz	$ht.k_{effz} / ht.C_{eff}$	m ² /s	Difusividad térmica, componente zr	Dominio 4	
ht.alphaTdrphi	$ht.k_{effrphi} / ht.C_{eff}$	m ² /s	Difusividad térmica, componente rphi	Dominio 4	
ht.alphaTdphiphi	$ht.k_{effphiphi} / ht.C_{eff}$	m ² /s	Difusividad térmica, componente	Dominio 4	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			phphi		
ht.alphaTdzphi	$ht.k_effzphi/ht.C_eff$	m ² /s	Difusividad térmica, componente zphi	Dominio 4	
ht.alphaTdrz	$ht.k_effrz/ht.C_eff$	m ² /s	Difusividad térmica, componente rz	Dominio 4	
ht.alphaTdphiz	$ht.k_effphiz/ht.C_eff$	m ² /s	Difusividad térmica, componente phiz	Dominio 4	
ht.alphaTdzz	$ht.k_effzz/ht.C_eff$	m ² /s	Difusividad térmica, componente zz	Dominio 4	
ht.alphaTdMean	$ht.kmean/ht.C_eff$	m ² /s	Difusividad térmica media	Dominio 4	
ht.Tradu	ht.Tu	K	Temperatura, lado superior	Dominio 4	
ht.Tradu	ht.Tu	K	Temperatura, lado superior	Contornos 5–6, 8, 28	
ht.Tradd	ht.Td	K	Temperatura en lado inferior	Dominio 4	
ht.Tradd	ht.Td	K	Temperatura en lado inferior	Contornos 5–6, 8, 28	
ht.dEi	0	W/m ³	Densidad de tasa de calor acumulada total	Dominio 4	
ht.dEi0	0	W/m ³	Densidad de tasa de energía total acumulada	Dominio 4	
ht.timeDerivative	0	K/s	Temperatura, primer derivada en el tiempo	Dominio 4	
ht.gamma	1	1	Coefficiente de dilatación adiabática	Dominio 4	
ht.Trho	ht.Tref	K	Temperature for density	Dominio 4	

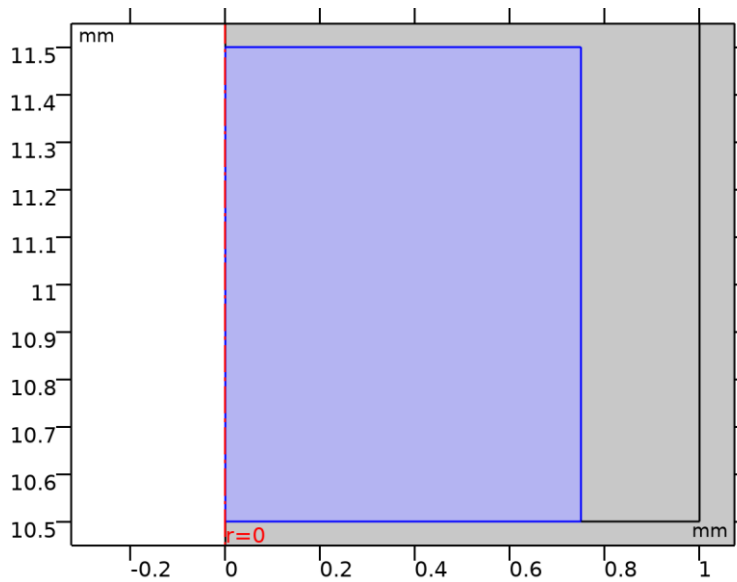
Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			evaluation		
ht.dfltopaque	1	1	Opacidad predeterminada	Dominio 4	
ht.helem	h_spatial	m	Tamaño de elemento	Dominio 4	
ht.bt1.pref	1[atm]	Pa	Nivel de presión de referencia	Dominio 4	
ht.bt1.dEiInt	$ht.bt1.intDom((ht.dEi - ht.Qm * ht.Ei) * ht.bt1.varIntSpa)$	W	Tasa de calor acumulado total	Global	
ht.bt1.dEi0Int	$ht.bt1.intDom((ht.dEi0 - ht.Qm * ht.H) * ht.bt1.varIntSpa)$	W	Tasa de energía total acumulada	Global	
ht.bt1.ntfluxInt	$ht.bt1.intExtBnd(ht.ntflux * ht.bt1.varIntSpa) + ht.bt1.intExtBndUp(ht.ntflux_u * ht.bt1.varIntSpa) + ht.bt1.intExtBndDown(ht.ntflux_d * ht.bt1.varIntSpa)$	W	Tasa neta de calor total	Global	
ht.bt1.ntefluxInt	$ht.bt1.intExtBnd(ht.nteflux * ht.bt1.varIntSpa) + ht.bt1.intExtBndUp(ht.nteflux_u * ht.bt1.varIntSpa) + ht.bt1.intExtBndDown(ht.nteflux_d * ht.bt1.varIntSpa)$	W	Tasa neta de energía total	Global	
ht.bt1.QInt	$ht.bt1.intDom(ht.Qtot * ht.bt1.varIntSpa) - ht.bt1.intIntBnd(ht.ndflux_u * up(ht.bt1.varIntSpa) + ht.ndflux_d * down(ht.bt1.varIntSpa))$	W	Fuente de calor total	Global	
ht.bt1.WnsInt	$ht.bt1.intDom(ht.pA * (d(ht.ur,r) + if(abs(r) < 0.001 * h_spatial, d(ht.ur,r), ht.ur/r) + d(ht.uz,z))) * ht.bt1.var$	W	Fuente de trabajo total	Global	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
	IntSpa)				
ht.bt1.WInt	0	W	Fuente de trabajo total	Global	
ht.bt1.varIntSpa	$2*ht.d*pi*r$	m	Variable intermedia	Dominio 4	Meta

6.1.1.65 Funciones de forma

Nombre	Función de forma	Unidad	Descripción	Marco de forma	Selección
T	Lagrange (Cuadrático)	K	Temperatura	Marco espacial	Dominio 4

6.1.1.66 Biocalor 1



Biocalor 1

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrica	Dominio
Selección	Geometría geom2: Dimensión 2: Todos los dominios

ECUACIONES

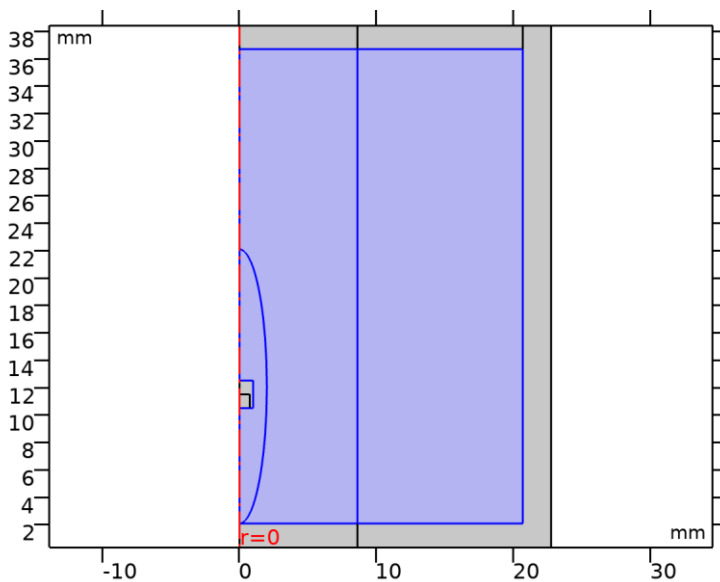
$$\rho C_p \mathbf{u} \cdot \nabla T + \nabla \cdot \mathbf{q} = Q + Q_{\text{bio}}$$

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

6.1.1.66.1 Variables

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht.Q	$ht.rhobl * ht.Cp_b * ht.omegab * (ht.Tb - T) + ht.Qmet$	W/m ³	Fuente de calor	Dominio 4	Operación +
ht.Qtot	$ht.rhobl * ht.Cp_b * ht.omegab * (ht.Tb - T) + ht.Qmet$	W/m ³	Fuente de calor total	Dominio 4	Operación +
ht.Qmet	0	W/m ³	Fuente de calor metabólica	Dominio 4	Operación +
ht.Tb	TempHielo	K	Temperatura de sangre arterial	Dominio 4	
ht.Cp_b	0	J/(kg·K)	Calor específico, sangre	Dominio 4	
ht.omegab	0	1/s	Tasa de perfusión de la sangre	Dominio 4	
ht.rhobl	0	kg/m ³	Densidad, sangre	Dominio 4	

2.5.4 Valores iniciales 1 - Etilenglicol



Valores iniciales 1 - Etilenglicol

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrica	Dominio
Selección	Geometría geom2: Dimensión 2: Todos los dominios

6.1.1.67 Valores iniciales

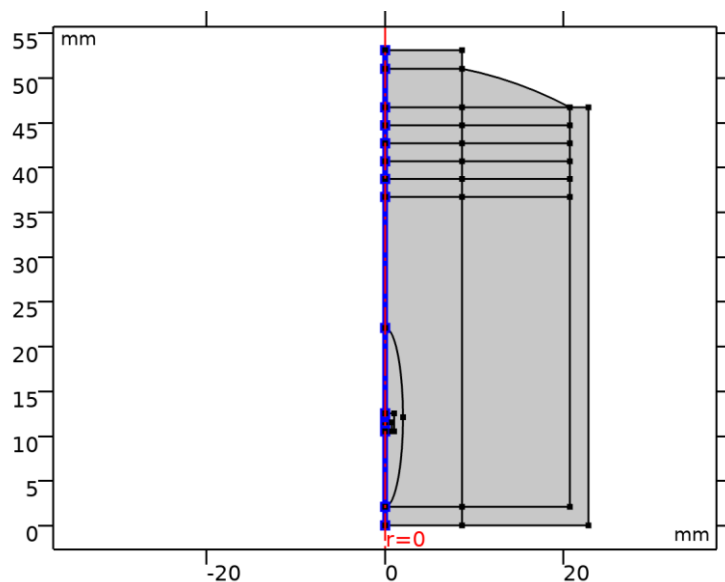
SETTINGS

Description	Value
Temperatura	Definido por el usuario
Temperatura	TempEtilenglicol

6.1.1.68 Variables

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección
ht.Tinit	TempEtilenglicol	K	Temperatura	Dominios 2-3, 14

2.5.5 Simetría axial 1

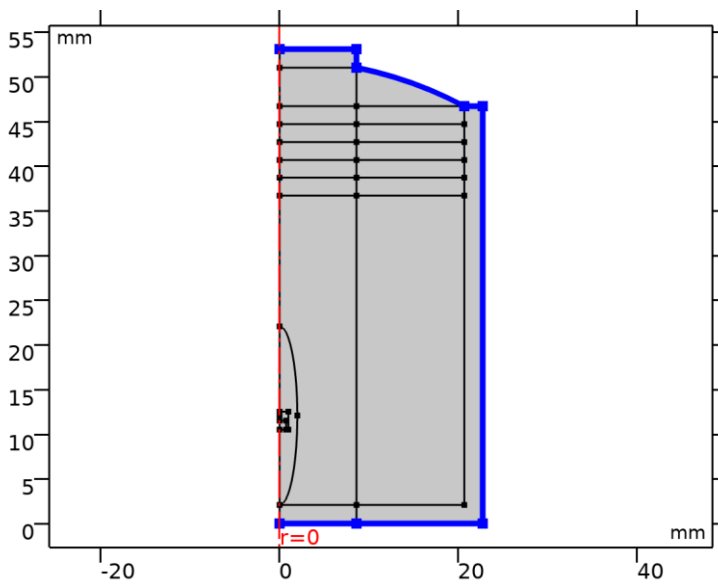


Simetría axial 1

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrico	Contorno
Selección	Geometría geom2: Dimensión 1: Todos los contornos

2.5.6 Aislamiento térmico 1



Aislamiento térmico 1

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrico	Contorno
Selección	Geometría geom2: Dimensión 1: Todos los contornos

ECUACIONES

$$-\mathbf{n} \cdot \mathbf{q} = 0.$$

6.1.1.69 Variables

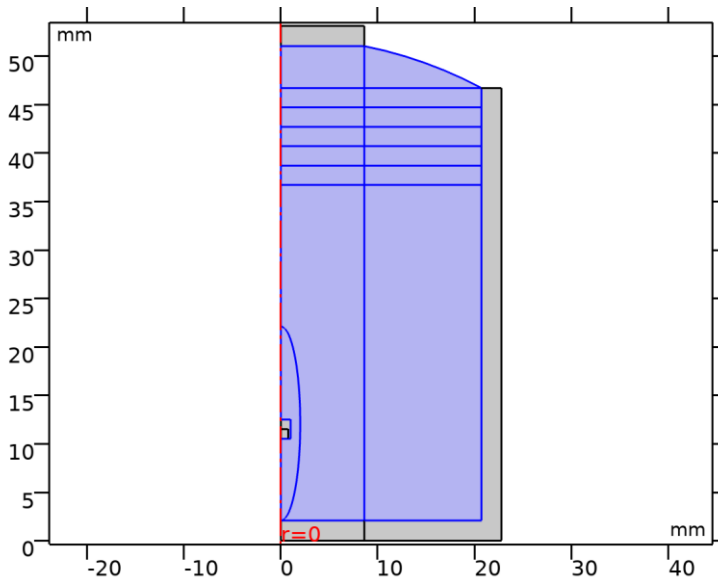
Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht.ins1.ntfluxInt	ht.ins1.intExtBnd(ht.ntflux*ht.ins1.varIntSpa)	W	Tasa neta de calor total	Global	
ht.ins1.ntefluxInt	ht.ins1.intExtBnd(ht.nteflux*ht.ins1.varIntSpa)	W	Tasa neta de energía total	Global	
ht.ins1.ntfluxInt_u	ht.ins1.intIntBnd(ht.ntflux_u*up(ht.ins1.varIntSpa))	W	Tasa neta de calor total, lado positiva	Global	
ht.ins1.ntefluxInt_u	ht.ins1.intIntBnd(ht.nteflux_u*up(ht.ins1.varIntSpa))	W	Tasa neta de energía total, lado positiva	Global	
ht.ins1.ntfluxInt_d	ht.ins1.intIntBnd(ht.ntflux_d*down(ht.ins1.varIntSpa))	W	Tasa neta de calor total, lado negativa	Global	
ht.ins1.ntefluxInt_d	ht.ins1.intIntBnd(ht.nteflux_d*down(ht.ins1.varIntSpa))	W	Tasa neta de energía total, lado negativa	Global	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
_d	ntSpa))		lado negativa		
ht.ins1.Tave	nojac(ht.ins1.intBnd(ht.ins1.varIntSpa*ht.rho*ht.Cp*T*max(abs(ht.ur*ht.nr+ht.uphi*ht.nphi+ht.uz*ht.nz),eps)))/nojac(ht.ins1.intBnd(ht.ins1.varIntSpa*ht.rho*ht.Cp*max(abs(ht.ur*ht.nr+ht.uphi*ht.nphi+ht.uz*ht.nz),eps)))	K	Temperatura promedio ponderada	Global	
ht.ins1.varIntSpa	$2*ht.d*pi*r$	m	Variable intermedia	Contornos 2, 27, 32, 47, 54-56, 60	Meta

6.1.1.70 Funciones de forma

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

2.5.7 Fluido 1 - Etilenglicol



Fluido 1 - Etilenglicol

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrico	Dominio
Selección	Geometría geom2: Dimensión 2: Dominios 2-3, 6-11, 14-20

ECUACIONES

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

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

6.1.1.71 Convección de calor

SETTINGS

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

6.1.1.72 Conducción de calor, fluido

SETTINGS

Description	Value
Conductividad térmica	Del material

6.1.1.73 Termodinámica, fluido

SETTINGS

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

6.1.1.74 Selección de sistema de coordenadas

SETTINGS

Description	Value
Sistema de Coordenadas	Sistema de coordenadas global

6.1.1.75 Entrada del modelo

SETTINGS

Description	Value
Presión absoluta	Common model input
Volume reference temperature	Common model input

PROPIEDADES DESDE EL MATERIAL

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

6.1.1.76 Variables

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
domflux.Tr	$2*ht.dfluxr*ht.d*pi$ $*r$	W/m	Flujo del dominio, Componente r	Dominios 2–3, 6–11, 14–20	
domflux.Tz	$2*ht.dfluxz*ht.d*pi$ $*r$	W/m	Flujo del dominio, Componente z	Dominios 2–3, 6–11, 14–20	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht.DeltaH	integrate(subst(ht.C p,ht.fluid1.minput_ pressure,ht.pref),T,h t.DeltaH_Tlow,T)+i ntegrate(ht.muJT,ht .fluid1.minput_pres sure,ht.DeltaH_plo w,ht.pA)	J/kg	Sensibilidad de entalpía	Dominios 2–3, 6–11, 14–20	Operación +
ht.H	ht.HRef+ht.DeltaH	J/kg	Entalpía	Dominios 2–3, 6–11, 14–20	Operación +
ht.Ei	ht.H-ht.pA/ht.rho	J/kg	Energía interna	Dominios 2–3, 6–11, 14–20	Operación +
ht.Ek	0.5*(ht.ur^2+ht.uph i^2+ht.uz^2)	J/kg	Energía cinética	Dominios 2–3, 6–11, 14–20	Operación +
ht.dfluxr	-ht.k_effir*Tr- ht.k_effirz*Tz	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente r	Dominios 2–3, 6–11, 14–20	Operación +
ht.dfluxphi	-ht.k_effphir*Tr- ht.k_effphiz*Tz	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente phi	Dominios 2–3, 6–11, 14–20	Operación +
ht.dfluxz	-ht.k_effzr*Tr- ht.k_effzz*Tz	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente z	Dominios 2–3, 6–11, 14–20	Operación +
ht.dfluxtestr	-ht.k_effir*test(Tr)- ht.k_effirz*test(Tz)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente r	Dominios 2–3, 6–11, 14–20	Operación +
ht.dfluxtestphi	- ht.k_effphir*test(Tr)- ht.k_effphiz*test(Tz)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente phi	Dominios 2–3, 6–11, 14–20	Operación +
ht.dfluxtestz	-ht.k_effzr*test(Tr)- ht.k_effzz*test(Tz)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente z	Dominios 2–3, 6–11, 14–20	Operación +
ht.cfluxr	ht.rho*ht.ur*ht.Ei	W/m ²	Flujo de calor convectivo, componente r	Dominios 2–3, 6–11, 14–20	Operación +
ht.cfluxphi	ht.rho*ht.uphi*ht.Ei	W/m ²	Flujo de calor convectivo,	Dominios 2–3, 6–11, 14–	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			componente phi	20	
ht.cfluxz	$ht.rho * ht.uz * ht.Ei$	W/m ²	Flujo de calor convectivo, componente z	Dominios 2–3, 6–11, 14–20	Operación +
ht.tefluxr	$ht.dfluxr + ht.rho * ht.ur * ht.H0$	W/m ²	Flujo de energía total, componente r	Dominios 2–3, 6–11, 14–20	Operación +
ht.tefluxphi	$ht.dfluxphi + ht.rho * ht.upsi * ht.H0$	W/m ²	Flujo de energía total, componente phi	Dominios 2–3, 6–11, 14–20	Operación +
ht.tefluxz	$ht.dfluxz + ht.rho * ht.uz * ht.H0$	W/m ²	Flujo de energía total, componente z	Dominios 2–3, 6–11, 14–20	Operación +
ht.ndflux_u	$if(r > 0.001 / \sqrt{\sqrt{\text{mean}(\text{emetric}2))}, -0.5 * \text{uflux_spatial}(T) / (\pi * r), \text{NaN}) / \text{up}(ht.d)$	W/m ²	Flujo de calor conductivo normal interno, lado superior	Contornos 14, 16, 18, 20, 22, 24, 33, 35–46, 57–58	Operación +
ht.ndflux_u	$if(r > 0.001 / \sqrt{\sqrt{\text{mean}(\text{emetric}2))}, -0.5 * \text{uflux_spatial}(T) / (\pi * r), \text{NaN}) / \text{up}(ht.d)$	W/m ²	Flujo de calor conductivo normal interno, lado superior	Contornos 6, 11, 29–30	Operación +
ht.ndflux_d	$if(r > 0.001 / \sqrt{\sqrt{\text{mean}(\text{emetric}2))}, -0.5 * \text{dflux_spatial}(T) / (\pi * r), \text{NaN}) / \text{down}(ht.d)$	W/m ²	Flujo de calor conductivo normal interno, lado inferior	Contornos 14, 16, 18, 20, 22, 24, 33, 35–46, 57–58	Operación +
ht.ndflux_d	$if(r > 0.001 / \sqrt{\sqrt{\text{mean}(\text{emetric}2))}, -0.5 * \text{dflux_spatial}(T) / (\pi * r), \text{NaN}) / \text{down}(ht.d)$	W/m ²	Flujo de calor conductivo normal interno, lado inferior	Contornos 3–4, 10, 12–13, 15, 17, 19, 21, 23, 26, 34, 48–54, 59–60	Operación +
ht.dEiInt	ht.fluid1.dEiInt	W	Tasa de calor acumulado total	Global	Operación +
ht.dEi0Int	ht.fluid1.dEi0Int	W	Tasa de energía total acumulada	Global	Operación +
ht.WnsInt	ht.fluid1.WnsInt	W	Fuente de trabajo total	Global	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht.krr	material.k11	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente rr	Dominios 2–3, 6–11, 14–20	Meta
ht.kphir	material.k21	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente phir	Dominios 2–3, 6–11, 14–20	Meta
ht.kzr	material.k31	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente zr	Dominios 2–3, 6–11, 14–20	Meta
ht.krphi	material.k12	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente rphi	Dominios 2–3, 6–11, 14–20	Meta
ht.kphiphi	material.k22	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente phiphi	Dominios 2–3, 6–11, 14–20	Meta
ht.kzphi	material.k32	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente zphi	Dominios 2–3, 6–11, 14–20	Meta
ht.krz	material.k13	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente rz	Dominios 2–3, 6–11, 14–20	Meta
ht.kphiz	material.k23	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente phiz	Dominios 2–3, 6–11, 14–20	Meta
ht.kzz	material.k33	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente zz	Dominios 2–3, 6–11, 14–20	Meta
ht.k_iso	material.k_iso	W/(m·K)	Conductividad térmica, valor isotrópico	Dominios 2–3, 6–11, 14–20	Meta
ht.rho	subst(material.rho,ht.fluid1.minput_pressure,ht.prho)	kg/m ³	Densidad	Dominios 2–3, 6–11, 14–20	Meta
ht.Cp	material.Cp	J/(kg·K)	Capacidad térmica con presión constante	Dominios 2–3, 6–11, 14–20	Meta
ht.res_T	-ht.k_effir*Trr-ht.k_effrz*Trz-ht.k_effzr*Tzr-	W/m ³	Residuos de ecuación	Dominios 2–3, 6–11, 14–20	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
	$ht.k_effzz \cdot Tzz - (ht.qs + ht.qs_oop) \cdot T + ht.C_eff \cdot (ht.ur \cdot Tr + ht.uz \cdot Tz) - ht.Q - ht.Qoop$				
ht.alphap	$-d(ht.rho, T) / \max(ht.rho, eps)$	1/K	Coefficiente de compresibilidad isobárico	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	
ht.pA	ht.fluid1.minput_pressure	Pa	Presión absoluta	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	
ht.gradTmag	$\sqrt{ht.gradTr^2 + ht.gradTphi^2 + ht.gradTz^2}$	K/m	Magnitud de gradiente de la temperatura	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	
ht.Qmet	0	W/m ³	Fuente de calor metabólica	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	Operación +
ht.pref	ht.fluid1.pref	Pa	Nivel de presión de referencia	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	
ht.DeltaH_Tlow	ht.Tref	K	Límite inferior de temperatura para evaluación de entalpía	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	
ht.DeltaH_plow	ht.pref	Pa	Límite inferior de presión para evaluación de entalpía	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	
ht.rhoInit	subst(ht.rho, T, ht.Tinit, minput.pA, ht.pref)	kg/m ³	Densidad inicial	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	
ht.rho_eff	ht.rho	kg/m ³	Densidad efectiva	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	
ht.C_eff	ht.rho * ht.Cp	J/(m ³ ·K)	Capacidad térmica volumétrica efectiva	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	
ht.muJT	0	m ³ /kg	Coefficiente isotérmico de	Dominios 2-3, 6-11, 14-	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			Joule-Thomson	20	
ht.k_effrr	ht.krr	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente rr	Dominios 2–3, 6–11, 14–20	
ht.k_effphir	ht.kphir	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente phir	Dominios 2–3, 6–11, 14–20	
ht.k_effzr	ht.kzr	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente zr	Dominios 2–3, 6–11, 14–20	
ht.k_effrphi	ht.krphi	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente rphi	Dominios 2–3, 6–11, 14–20	
ht.k_effphiphi	ht.khiphi	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente phiphi	Dominios 2–3, 6–11, 14–20	
ht.k_effzphi	ht.kzphi	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente zphi	Dominios 2–3, 6–11, 14–20	
ht.k_effrz	ht.krz	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente rz	Dominios 2–3, 6–11, 14–20	
ht.k_effphiz	ht.kphiz	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente phiz	Dominios 2–3, 6–11, 14–20	
ht.k_effzz	ht.kzz	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente zz	Dominios 2–3, 6–11, 14–20	
ht.kappaTrr	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente rr	Dominios 2–3, 6–11, 14–20	
ht.kappaTphir	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente phir	Dominios 2–3, 6–11, 14–20	
ht.kappaTzr	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente zr	Dominios 2–3, 6–11, 14–20	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht.kappaTrphi	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente rphi	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	
ht.kappaTphphi	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente phphi	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	
ht.kappaTzphi	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente zphi	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	
ht.kappaTrz	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente rz	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	
ht.kappaTphiz	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente phiz	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	
ht.kappaTzz	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente zz	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	
ht.kmean	$0.5*(ht.k_effr+ht.k_effz)$	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva media	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	
ht.ur	ht.u_inputr	m/s	Campo de velocidad, componente r	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	Operación +
ht.uphi	ht.u_inputphi	m/s	Campo de velocidad, componente phi	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	Operación +
ht.uz	ht.u_inputz	m/s	Campo de velocidad, componente z	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	Operación +
ht.gradTr	Tr	K/m	Gradiente de temperatura, componente r	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht.gradTphi	0	K/m	Gradiente de temperatura, componente phi	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	
ht.gradTz	Tz	K/m	Gradiente de temperatura, componente z	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	
ht.cellPe	$0.5 * ht.rho * ht.Cp * h * \sqrt{(ht.ur^2 + ht.uphi^2 + ht.uz^2)} / ht.k_{mean}$	1	Número Peclet de celda	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	
ht.Qltot	0	W/m	Fuente de calor total de línea	Puntos 16, 18-21, 23-30, 32-39	Operación +
ht.alphaTdr	$ht.k_{effr} / ht.C_{eff}$	m ² /s	Difusividad térmica, componente rr	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	
ht.alphaTdphir	$ht.k_{effphir} / ht.C_{eff}$	m ² /s	Difusividad térmica, componente phir	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	
ht.alphaTdzz	$ht.k_{effzz} / ht.C_{eff}$	m ² /s	Difusividad térmica, componente zz	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	
ht.alphaTdrphi	$ht.k_{effrphi} / ht.C_{eff}$	m ² /s	Difusividad térmica, componente rphi	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	
ht.alphaTdphiphi	$ht.k_{effphiphi} / ht.C_{eff}$	m ² /s	Difusividad térmica, componente phiphi	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	
ht.alphaTdzphi	$ht.k_{effzphi} / ht.C_{eff}$	m ² /s	Difusividad térmica, componente zphi	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	
ht.alphaTdrz	$ht.k_{effrz} / ht.C_{eff}$	m ² /s	Difusividad térmica, componente rz	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	
ht.alphaTdphiz	$ht.k_{effphiz} / ht.C_{eff}$	m ² /s	Difusividad térmica, componente phiz	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	
ht.alphaTdzz	$ht.k_{effzz} / ht.C_{eff}$	m ² /s	Difusividad térmica, componente zz	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht.alphaTdMean	ht.kmean/ht.C_eff	m ² /s	Difusividad térmica media	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	
ht.Tradu	ht.Tu	K	Temperatura, lado superior	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	
ht.Tradu	ht.Tu	K	Temperatura, lado superior	Contornos 3-4, 6, 10-24, 26, 29-30, 33-46, 48-54, 57-60	
ht.Tradd	ht.Td	K	Temperatura en lado inferior	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	
ht.Tradd	ht.Td	K	Temperatura en lado inferior	Contornos 3-4, 6, 10-24, 26, 29-30, 33-46, 48-54, 57-60	
ht.dEi	0	W/m ³	Densidad de tasa de calor acumulada total	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	
ht.dEi0	0	W/m ³	Densidad de tasa de energía total acumulada	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	
ht.timeDerivative	0	K/s	Temperatura, primer derivada en el tiempo	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	
ht.gamma	material.gamma	1	Coefficiente de dilatación adiabática	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	Meta
ht.Trho	ht.fluid1.minput_temperature	K	Temperature for density evaluation	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	
ht.dfltopaque	-1	1	Opacidad predeterminada	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	
ht.helem	h_spatial	m	Tamaño de elemento	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht.fluid1.pref	model.input.pref	Pa	Nivel de presión de referencia	Dominios 2–3, 6–11, 14–20	Meta
ht.fluid1.dEiInt	ht.fluid1.intDom((ht.dEi-ht.Qm*ht.Ei)*ht.fluid1.varIntSpa)	W	Tasa de calor acumulado total	Global	
ht.fluid1.dEi0Int	ht.fluid1.intDom((ht.dEi0-ht.Qm*ht.H)*ht.fluid1.varIntSpa)	W	Tasa de energía total acumulada	Global	
ht.fluid1.ntfluxInt	ht.fluid1.intExtBnd(ht.ntflux*ht.fluid1.varIntSpa)+ht.fluid1.intExtBndUp(ht.ntflux_u*ht.fluid1.varIntSpa)+ht.fluid1.intExtBndDown(ht.ntflux_d*ht.fluid1.varIntSpa)	W	Tasa neta de calor total	Global	
ht.fluid1.ntefluxInt	ht.fluid1.intExtBnd(ht.nteflux*ht.fluid1.varIntSpa)+ht.fluid1.intExtBndUp(ht.nteflux_u*ht.fluid1.varIntSpa)+ht.fluid1.intExtBndDown(ht.nteflux_d*ht.fluid1.varIntSpa)	W	Tasa neta de energía total	Global	
ht.fluid1.QInt	ht.fluid1.intDom(ht.Qtot*ht.fluid1.varIntSpa)-ht.fluid1.intIntBnd(ht.ndflux_u*up(ht.fluid1.varIntSpa)+ht.ndflux_d*down(ht.fluid1.varIntSpa))	W	Fuente de calor total	Global	
ht.fluid1.WnsInt	ht.fluid1.intDom(ht.pA*(d(ht.ur,r)+if(abs(r)<0.001*h_spatial,d(ht.ur,r),ht.ur/r)+d(ht.uz,z))*ht.fluid1.varIntSpa)	W	Fuente de trabajo total	Global	
ht.fluid1.WInt	0	W	Fuente de trabajo total	Global	

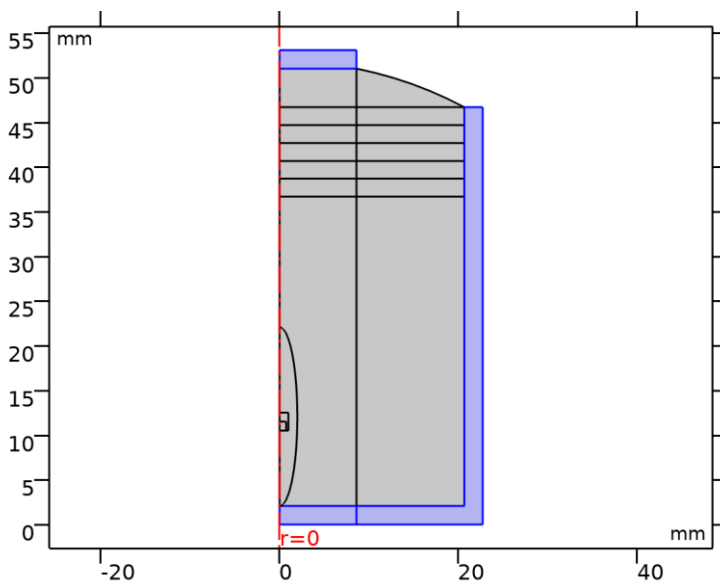
Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht.fluid1.varIntSpa	$2 \cdot ht.d \cdot \pi \cdot r$	m	Variable intermedia	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	Meta
ht.T	ht.fluid1.minput_temperature	K	Temperatura	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	
ht.prho	ht.fluid1.minput_pressure	Pa	Presión para la evaluación de la densidad.	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	
ht.rhoref	subst(material.rho, ht.fluid1.minput_pressure, ht.pref, ht.fluid1.minput_temperature, ht.Tref)	kg/m ³	Densidad referencial	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	Meta
ht.Cpmat	material.Cp	J/(kg·K)	Capacidad térmica con presión constante	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	Meta
ht.kmatrr	material.k11	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente rr	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	Meta
ht.kmatphir	material.k21	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente phir	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	Meta
ht.kmatzr	material.k31	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente zr	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	Meta
ht.kmatrphi	material.k12	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente rphi	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	Meta
ht.kmatphiphi	material.k22	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente phiphi	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	Meta
ht.kmatzphi	material.k32	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente zphi	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	Meta
ht.kmatrz	material.k13	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente rz	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	Meta

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht.kmatphiz	material.k23	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente phiz	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	Meta
ht.kmatzz	material.k33	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente zz	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	Meta
ht.c_s	$\sqrt{\text{ht.gamma}/\max(\text{d}(\text{ht.rho}, \text{ht.fluid1.mininput_pressure}), \text{eps}))}$	m/s	Velocidad del sonido	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	
ht.Ma	$\sqrt{(\text{model.input.u1}^2 + \text{model.input.u2}^2 + \text{model.input.u3}^2) / \text{ht.c_s}}$	1	Número de Mach	Dominios 2-3, 6-11, 14-20	Meta

6.1.1.77 Funciones de forma

Nombre	Función de forma	Unidad	Descripción	Marco de forma	Selección
T	Lagrange (Cuadrático)	K	Temperatura	Marco espacial	Dominios 2-3, 6-11, 14-20

2.5.8 Sólido 1 - Recipiente



Sólido 1 - Recipiente

SELECCIÓN

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

Selección	Geometría geom2: Dimensión 2: Dominios 1, 12–13
-----------	---

ECUACIONES

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

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

6.1.1.78 Conducción de calor, sólido

SETTINGS

Description	Value
Conductividad térmica	Del material

6.1.1.79 Termodinámica, sólido

SETTINGS

Description	Value
Densidad	Del material
Capacidad térmica con presión constante	Del material

6.1.1.80 Selección de sistema de coordenadas

SETTINGS

Description	Value
Sistema de Coordenadas	Sistema de coordenadas global

6.1.1.81 Entrada del modelo

SETTINGS

Description	Value
Volume reference temperature	Definido por el usuario
Volume reference temperature	293.15[K]

PROPIEDADES DESDE EL MATERIAL

Propiedad	Material	Grupo de propiedad
Conductividad térmica	Acrylic plastic	Basic
Densidad	Acrylic plastic	Basic
Capacidad térmica con presión constante	Acrylic plastic	Basic

Propiedad	Material	Grupo de propiedad
Conductividad térmica	92.22% SiO ₂ - 7.78% B ₂ O ₃ [solid]	Básico
Densidad	92.22% SiO ₂ - 7.78% B ₂ O ₃ [solid]	Básico
Capacidad térmica con presión constante	92.22% SiO ₂ - 7.78% B ₂ O ₃ [solid]	Básico

6.1.1.82 Variables

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
domflux.Tr	$2*ht.dfluxr*ht.d*pi*r$	W/m	Flujo del dominio, Componente r	Dominios 1, 12-13	
domflux.Tz	$2*ht.dfluxz*ht.d*pi*r$	W/m	Flujo del dominio, Componente z	Dominios 1, 12-13	
ht.DeltaH	integrate(subst(ht.Cp,ht.solid1.mininput_pressure,ht.pref),T,ht.DeltaH_Tlow,T)+integrate(ht.muJT,ht.solid1.mininput_pressure,ht.DeltaH_plow,ht.pA)	J/kg	Sensibilidad de entalpía	Dominios 1, 12-13	Operación +
ht.H	ht.HRef+ht.DeltaH	J/kg	Entalpía	Dominios 1, 12-13	Operación +
ht.Ei	ht.H	J/kg	Energía interna	Dominios 1, 12-13	Operación +
ht.Ek	$0.5*(ht.ur^2+ht.uphi^2+ht.uz^2)$	J/kg	Energía cinética	Dominios 1, 12-13	Operación +
ht.dfluxr	$-ht.k_effr*Tr-ht.k_effrz*Tz$	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente r	Dominios 1, 12-13	Operación +
ht.dfluxphi	$-ht.k_effphir*Tr-ht.k_effphiz*Tz$	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente phi	Dominios 1, 12-13	Operación +
ht.dfluxz	$-ht.k_effzr*Tr-ht.k_effzz*Tz$	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente z	Dominios 1, 12-13	Operación +
ht.dfluxtestr	$-ht.k_effr*test(Tr)-ht.k_effrz*test(Tz)$	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente r	Dominios 1, 12-13	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht.dfluxtestphi	- ht.k_effphir*test(Tr))- ht.k_effphiz*test(Tz)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente phi	Dominios 1, 12-13	Operación +
ht.dfluxtestz	-ht.k_effzr*test(Tr)- ht.k_effzz*test(Tz)	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente z	Dominios 1, 12-13	Operación +
ht.cfluxr	ht.rho*ht.ur*ht.Ei	W/m ²	Flujo de calor convectivo, componente r	Dominios 1, 12-13	Operación +
ht.cfluxphi	ht.rho*ht.uphi*ht.Ei	W/m ²	Flujo de calor convectivo, componente phi	Dominios 1, 12-13	Operación +
ht.cfluxz	ht.rho*ht.uz*ht.Ei	W/m ²	Flujo de calor convectivo, componente z	Dominios 1, 12-13	Operación +
ht.tefluxr	ht.dfluxr+ht.rho*ht. ur*ht.H0	W/m ²	Flujo de energía total, componente r	Dominios 1, 12-13	Operación +
ht.tefluxphi	ht.dfluxphi+ht.rho* ht.uphi*ht.H0	W/m ²	Flujo de energía total, componente phi	Dominios 1, 12-13	Operación +
ht.tefluxz	ht.dfluxz+ht.rho*ht. uz*ht.H0	W/m ²	Flujo de energía total, componente z	Dominios 1, 12-13	Operación +
ht.ndflux_u	if(r>0.001/sqrt(sqrt(mean(emetric2))),- 0.5*uflux_spatial(T)/(pi*r),NaN)/up(ht. d)	W/m ²	Flujo de calor conductivo normal interno, lado superior	Contorno 31	Operación +
ht.ndflux_u	if(r>0.001/sqrt(sqrt(mean(emetric2))),- 0.5*uflux_spatial(T)/(pi*r),NaN)/up(ht. d)	W/m ²	Flujo de calor conductivo normal interno, lado superior	Contornos 4, 26, 34, 48- 53, 59	Operación +
ht.ndflux_d	if(r>0.001/sqrt(sqrt(mean(emetric2))),- 0.5*dflux_spatial(T)/(pi*r),NaN)/down (ht.d)	W/m ²	Flujo de calor conductivo normal interno, lado inferior	Contorno 31	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht.ndflux_d	$\text{if}(r > 0.001 / \sqrt{\sqrt{\text{mean}(\text{emetric}2)}}, -0.5 * \text{dflux_spatial}(T) / (\pi * r), \text{NaN}) / \text{down}(\text{ht.d})$	W/m ²	Flujo de calor conductivo normal interno, lado inferior	Contornos 1–2, 25, 27, 32, 47, 55–56	Operación +
ht.dEiInt	ht.solid1.dEiInt	W	Tasa de calor acumulado total	Global	Operación +
ht.dEi0Int	ht.solid1.dEi0Int	W	Tasa de energía total acumulada	Global	Operación +
ht.WnsInt	ht.solid1.WnsInt	W	Fuente de trabajo total	Global	Operación +
ht.krr	material.k11	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente rr	Dominios 1, 12–13	Meta
ht.kphir	material.k21	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente phir	Dominios 1, 12–13	Meta
ht.kzr	material.k31	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente zr	Dominios 1, 12–13	Meta
ht.krphi	material.k12	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente rphi	Dominios 1, 12–13	Meta
ht.kphiphi	material.k22	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente phiphi	Dominios 1, 12–13	Meta
ht.kzphi	material.k32	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente zphi	Dominios 1, 12–13	Meta
ht.krz	material.k13	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente rz	Dominios 1, 12–13	Meta
ht.kphiz	material.k23	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente phiz	Dominios 1, 12–13	Meta
ht.kzz	material.k33	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente zz	Dominios 1, 12–13	Meta
ht.k_iso	material.k_iso	W/(m·K)	Conductividad	Dominios 1,	Meta

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			térmica, valor isotrópico	12-13	
ht.rho	material.rho	kg/m ³	Densidad	Dominios 1, 12-13	Meta
ht.Cp	material.Cp	J/(kg·K)	Capacidad térmica con presión constante	Dominios 1, 12-13	Meta
ht.res_T	-ht.k_effir*Trr- ht.k_effiz*Trz- ht.k_effzr*Tzr- ht.k_effzz*Tzz- (ht.qs+ht.qs_ooop)* T+ht.C_eff*(ht.ur* Tr+ht.uz*Tz)-ht.Q- ht.Qoop	W/m ³	Residuos de ecuación	Dominios 1, 12-13	Operación +
ht.alphap	- d(ht.rho,T)/(ht.rho+ eps)	1/K	Coefficiente de compresibilidad isobárico	Dominios 1, 12-13	
ht.pA	ht.pref	Pa	Presión absoluta	Dominios 1, 12-13	
ht.gradTmag	sqrt(ht.gradTr^2+ht. gradTphi^2+ht.grad Tz^2)	K/m	Magnitud de gradiente de la temperatura	Dominios 1, 12-13	
ht.Qmet	0	W/m ³	Fuente de calor metabólica	Dominios 1, 12-13	Operación +
ht.pref	ht.solid1.pref	Pa	Nivel de presión de referencia	Dominios 1, 12-13	
ht.DeltaH_Tlow	ht.Tref	K	Límite inferior de temperatura para evaluación de entalpía	Dominios 1, 12-13	
ht.DeltaH_plow	ht.pref	Pa	Límite inferior de presión para evaluación de entalpía	Dominios 1, 12-13	
ht.rhoInit	subst(ht.rho,T,ht.Ti nit,minput.pA,ht.pre f)	kg/m ³	Densidad inicial	Dominios 1, 12-13	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht.rho_eff	ht.rho	kg/m ³	Densidad efectiva	Dominios 1, 12–13	
ht.C_eff	ht.rho*ht.Cp	J/(m ³ ·K)	Capacidad térmica volumétrica efectiva	Dominios 1, 12–13	
ht.muJT	0	m ³ /kg	Coefficiente isotérmico de Joule-Thomson	Dominios 1, 12–13	
ht.k_effrr	ht.krr	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente rr	Dominios 1, 12–13	
ht.k_effphir	ht.kphir	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente phir	Dominios 1, 12–13	
ht.k_effzr	ht.kzr	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente zr	Dominios 1, 12–13	
ht.k_effrphi	ht.krphi	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente rphi	Dominios 1, 12–13	
ht.k_effphiphi	ht.khiphi	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente phiphi	Dominios 1, 12–13	
ht.k_effzphi	ht.kzphi	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente zphi	Dominios 1, 12–13	
ht.k_effrz	ht.krz	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente rz	Dominios 1, 12–13	
ht.k_effphiz	ht.kphiz	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente phiz	Dominios 1, 12–13	
ht.k_effzz	ht.kzz	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente zz	Dominios 1, 12–13	
ht.kappaTrr	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente rr	Dominios 1, 12–13	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht.kappaTphir	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente phir	Dominios 1, 12–13	
ht.kappaTzr	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente zr	Dominios 1, 12–13	
ht.kappaTrphi	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente rphi	Dominios 1, 12–13	
ht.kappaTphiphi	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente phiphi	Dominios 1, 12–13	
ht.kappaTzphi	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente zphi	Dominios 1, 12–13	
ht.kappaTrz	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente rz	Dominios 1, 12–13	
ht.kappaTphiz	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente phiz	Dominios 1, 12–13	
ht.kappaTzz	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente zz	Dominios 1, 12–13	
ht.kmean	$0.5*(ht.k_effr+ht.k_effz)$	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva media	Dominios 1, 12–13	
ht.ur	0	m/s	Campo de velocidad, componente r	Dominios 1, 12–13	Operación +
ht.uphi	0	m/s	Campo de velocidad,	Dominios 1, 12–13	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			componente phi		
ht.uz	0	m/s	Campo de velocidad, componente z	Dominios 1, 12–13	Operación +
ht.gradTr	Tr	K/m	Gradiente de temperatura, componente r	Dominios 1, 12–13	
ht.gradTphi	0	K/m	Gradiente de temperatura, componente phi	Dominios 1, 12–13	
ht.gradTz	Tz	K/m	Gradiente de temperatura, componente z	Dominios 1, 12–13	
ht.cellPe	$0.5 * ht.rho * ht.Cp * h * \sqrt{(ht.ur^2 + ht.uphi^2 + ht.uz^2)} / ht.k_{mean}$	1	Número Peclet de celda	Dominios 1, 12–13	
ht.Qltot	0	W/m	Fuente de calor total de linea	Puntos 21–23, 30–38, 40–41	Operación +
ht.alphaTdr	$ht.k_{effr} / ht.C_{eff}$	m ² /s	Difusividad térmica, componente rr	Dominios 1, 12–13	
ht.alphaTdphir	$ht.k_{effphir} / ht.C_{eff}$	m ² /s	Difusividad térmica, componente phir	Dominios 1, 12–13	
ht.alphaTdzz	$ht.k_{effzz} / ht.C_{eff}$	m ² /s	Difusividad térmica, componente zz	Dominios 1, 12–13	
ht.alphaTdrphi	$ht.k_{effrphi} / ht.C_{eff}$	m ² /s	Difusividad térmica, componente rphi	Dominios 1, 12–13	
ht.alphaTdphiphi	$ht.k_{effphiphi} / ht.C_{eff}$	m ² /s	Difusividad térmica, componente phiphi	Dominios 1, 12–13	
ht.alphaTdzzphi	$ht.k_{effzzphi} / ht.C_{eff}$	m ² /s	Difusividad térmica, componente zzphi	Dominios 1, 12–13	
ht.alphaTdrz	$ht.k_{effrz} / ht.C_{eff}$	m ² /s	Difusividad térmica,	Dominios 1,	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			componente rz	12–13	
ht.alphaTdphiz	$ht.k_effphiz/ht.C_eff$	m ² /s	Difusividad térmica, componente phiz	Dominios 1, 12–13	
ht.alphaTdzz	$ht.k_effzz/ht.C_eff$	m ² /s	Difusividad térmica, componente zz	Dominios 1, 12–13	
ht.alphaTdMean	$ht.kmean/ht.C_eff$	m ² /s	Difusividad térmica media	Dominios 1, 12–13	
ht.Tradu	ht.Tu	K	Temperatura, lado superior	Dominios 1, 12–13	
ht.Tradu	ht.Tu	K	Temperatura, lado superior	Contornos 1–2, 4, 25–27, 31–32, 34, 47–53, 55–56, 59	
ht.Tradd	ht.Td	K	Temperatura en lado inferior	Dominios 1, 12–13	
ht.Tradd	ht.Td	K	Temperatura en lado inferior	Contornos 1–2, 4, 25–27, 31–32, 34, 47–53, 55–56, 59	
ht.dEi	0	W/m ³	Densidad de tasa de calor acumulada total	Dominios 1, 12–13	
ht.dEi0	0	W/m ³	Densidad de tasa de energía total acumulada	Dominios 1, 12–13	
ht.timeDerivative	0	K/s	Temperatura, primer derivada en el tiempo	Dominios 1, 12–13	
ht.gamma	1	1	Coefficiente de dilatación adiabática	Dominios 1, 12–13	
ht.Trho	ht.Tref	K	Temperature for density evaluation	Dominios 1, 12–13	

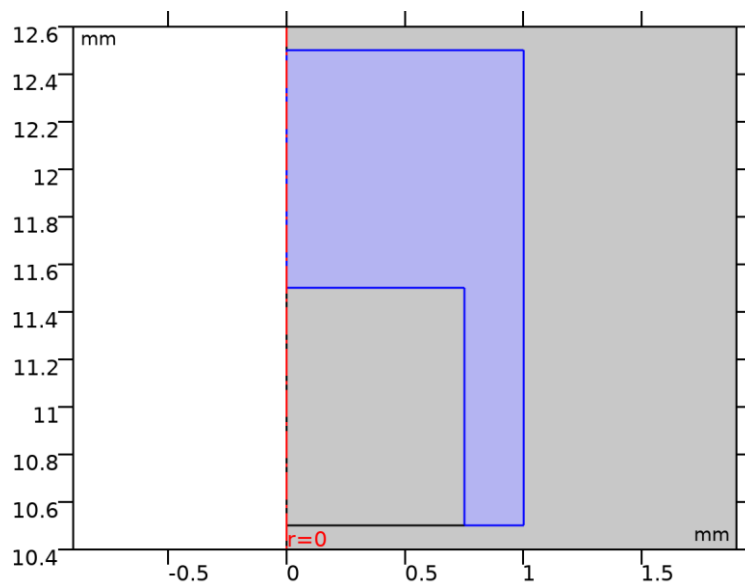
Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht.dfltopaque	1	1	Opacidad predeterminada	Dominios 1, 12–13	
ht.helem	h_spatial	m	Tamaño de elemento	Dominios 1, 12–13	
ht.solid1.pref	1[atm]	Pa	Nivel de presión de referencia	Dominios 1, 12–13	
ht.solid1.dEiInt	$ht.solid1.intDom((ht.dEi - ht.Qm * ht.Ei) * ht.solid1.varIntSpa)$	W	Tasa de calor acumulado total	Global	
ht.solid1.dEi0Int	$ht.solid1.intDom((ht.dEi0 - ht.Qm * ht.H) * ht.solid1.varIntSpa)$	W	Tasa de energía total acumulada	Global	
ht.solid1.ntfluxInt	$ht.solid1.intExtBnd(ht.ntflux * ht.solid1.varIntSpa) + ht.solid1.intExtBndUp(ht.ntflux_u * ht.solid1.varIntSpa) + ht.solid1.intExtBndDown(ht.ntflux_d * ht.solid1.varIntSpa)$	W	Tasa neta de calor total	Global	
ht.solid1.ntefluxInt	$ht.solid1.intExtBnd(ht.nteflux * ht.solid1.varIntSpa) + ht.solid1.intExtBndUp(ht.nteflux_u * ht.solid1.varIntSpa) + ht.solid1.intExtBndDown(ht.nteflux_d * ht.solid1.varIntSpa)$	W	Tasa neta de energía total	Global	
ht.solid1.QInt	$ht.solid1.intDom(ht.Qtot * ht.solid1.varIntSpa) - ht.solid1.intIntBnd(ht.ndflux_u * up(ht.solid1.varIntSpa) + ht.ndflux_d * down(ht.solid1.varIntSpa))$	W	Fuente de calor total	Global	
ht.solid1.WnsInt	$ht.solid1.intDom(ht.pA * (d(ht.ur,r) + if(abs(r) < 0.001 * h_spatial, d(ht.ur,r), ht.ur/r) + d(ht.uz,z))) * ht.solid1$	W	Fuente de trabajo total	Global	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
	.varIntSpa)				
ht.solid1.WInt	0	W	Fuente de trabajo total	Global	
ht.solid1.varIntSpa	2*ht.d*pi*r	m	Variable intermedia	Dominios 1, 12-13	Meta

6.1.1.83 Funciones de forma

Nombre	Función de forma	Unidad	Descripción	Marco de forma	Selección
T	Lagrange (Cuadrático)	K	Temperatura	Marco espacial	Dominios 1, 12-13

2.5.9 Sólido 2 - Hielo



Sólido 2 - Hielo

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrica	Dominio
Selección	Geometría geom2: Dimensión 2: Dominio 5

ECUACIONES

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

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

6.1.1.84 Conducción de calor, sólido

SETTINGS

Description	Value
Conductividad térmica	Del material

6.1.1.85 Termodinámica, sólido

SETTINGS

Description	Value
Densidad	Del material
Capacidad térmica con presión constante	Del material

6.1.1.86 Selección de sistema de coordenadas

SETTINGS

Description	Value
Sistema de Coordenadas	Sistema de coordenadas global

6.1.1.87 Entrada del modelo

SETTINGS

Description	Value
Volume reference temperature	Common model input

PROPIEDADES DESDE EL MATERIAL

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

6.1.1.88 Variables

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
domflux.Tr	$2 \cdot ht \cdot dfluxr \cdot ht \cdot d \cdot \pi \cdot r$	W/m	Flujo del dominio, Componente r	Dominio 5	
domflux.Tz	$2 \cdot ht \cdot dfluxz \cdot ht \cdot d \cdot \pi \cdot r$	W/m	Flujo del dominio, Componente z	Dominio 5	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht.DeltaH	$\text{integrate}(\text{subst}(\text{ht.Cp}, \text{ht.solid2.minput_pressure}, \text{ht.pref}), T, \text{ht.DeltaH_Tlow}, T) + \text{integrate}(\text{ht.mu}jT, \text{ht.solid2.minput_pressure}, \text{ht.DeltaH_pflow}, \text{ht.pA})$	J/kg	Sensibilidad de entalpía	Dominio 5	Operación +
ht.H	$\text{ht.HRef} + \text{ht.DeltaH}$	J/kg	Entalpía	Dominio 5	Operación +
ht.Ei	ht.H	J/kg	Energía interna	Dominio 5	Operación +
ht.Ek	$0.5 * (\text{ht.ur}^2 + \text{ht.uphi}^2 + \text{ht.uz}^2)$	J/kg	Energía cinética	Dominio 5	Operación +
ht.dfluxr	$-\text{ht.k_effr} * \text{Tr} - \text{ht.k_effrz} * \text{Tz}$	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente r	Dominio 5	Operación +
ht.dfluxphi	$-\text{ht.k_effphir} * \text{Tr} - \text{ht.k_effphiz} * \text{Tz}$	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente phi	Dominio 5	Operación +
ht.dfluxz	$-\text{ht.k_effzr} * \text{Tr} - \text{ht.k_effzz} * \text{Tz}$	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente z	Dominio 5	Operación +
ht.dfluxtestr	$-\text{ht.k_effir} * \text{test}(\text{Tr}) - \text{ht.k_effirz} * \text{test}(\text{Tz})$	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente r	Dominio 5	Operación +
ht.dfluxtestphi	$-\text{ht.k_effphir} * \text{test}(\text{Tr}) - \text{ht.k_effphiz} * \text{test}(\text{Tz})$	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente phi	Dominio 5	Operación +
ht.dfluxtestz	$-\text{ht.k_effzr} * \text{test}(\text{Tr}) - \text{ht.k_effzz} * \text{test}(\text{Tz})$	W/m ²	Flujo de calor conductivo, componente z	Dominio 5	Operación +
ht.cfluxr	$\text{ht.rho} * \text{ht.ur} * \text{ht.Ei}$	W/m ²	Flujo de calor convectivo, componente r	Dominio 5	Operación +
ht.cfluxphi	$\text{ht.rho} * \text{ht.uphi} * \text{ht.Ei}$	W/m ²	Flujo de calor convectivo, componente phi	Dominio 5	Operación +
ht.cfluxz	$\text{ht.rho} * \text{ht.uz} * \text{ht.Ei}$	W/m ²	Flujo de calor	Dominio 5	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			convectivo, componente z		
ht.tefluxr	$ht.dfluxr+ht.rho*ht.ur*ht.H0$	W/m ²	Flujo de energía total, componente r	Dominio 5	Operación +
ht.tefluxphi	$ht.dfluxphi+ht.rho*ht.uphi*ht.H0$	W/m ²	Flujo de energía total, componente phi	Dominio 5	Operación +
ht.tefluxz	$ht.dfluxz+ht.rho*ht.uz*ht.H0$	W/m ²	Flujo de energía total, componente z	Dominio 5	Operación +
ht.ndflux_u	$if(r>0.001/sqrt(sqrt(mean(emetric2))),-0.5*uflux_spatial(T)/(pi*r),NaN)/up(ht.d)$	W/m ²	Flujo de calor conductivo normal interno, lado superior	Contornos 8, 28	Operación +
ht.ndflux_d	$if(r>0.001/sqrt(sqrt(mean(emetric2))),-0.5*dflux_spatial(T)/(pi*r),NaN)/down(ht.d)$	W/m ²	Flujo de calor conductivo normal interno, lado inferior	Contornos 7, 9, 11, 29–30	Operación +
ht.dEiInt	ht.solid2.dEiInt	W	Tasa de calor acumulado total	Global	Operación +
ht.dEi0Int	ht.solid2.dEi0Int	W	Tasa de energía total acumulada	Global	Operación +
ht.WnsInt	ht.solid2.WnsInt	W	Fuente de trabajo total	Global	Operación +
ht.krr	material.k11	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente rr	Dominio 5	Meta
ht.kphir	material.k21	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente phir	Dominio 5	Meta
ht.kzr	material.k31	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente zr	Dominio 5	Meta
ht.krphi	material.k12	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente rphi	Dominio 5	Meta
ht.khiphi	material.k22	W/(m·K)	Conductividad térmica,	Dominio 5	Meta

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			componente phiphi		
ht.kzphi	material.k32	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente zphi	Dominio 5	Meta
ht.krz	material.k13	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente rz	Dominio 5	Meta
ht.kphiz	material.k23	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente phiz	Dominio 5	Meta
ht.kzz	material.k33	W/(m·K)	Conductividad térmica, componente zz	Dominio 5	Meta
ht.k_iso	material.k_iso	W/(m·K)	Conductividad térmica, valor isotrópico	Dominio 5	Meta
ht.rho	material.rho	kg/m ³	Densidad	Dominio 5	Meta
ht.Cp	material.Cp	J/(kg·K)	Capacidad térmica con presión constante	Dominio 5	Meta
ht.res_T	-ht.k_effir*Trr- ht.k_effirz*Trz- ht.k_effzr*Tzr- ht.k_effzz*Tzz- (ht.qs+ht.qs_oop)* T+ht.C_eff*(ht.ur* Tr+ht.uz*Tz)-ht.Q- ht.Qoop	W/m ³	Residuos de ecuación	Dominio 5	Operación +
ht.alphap	- d(ht.rho,T)/(ht.rho+ eps)	1/K	Coefficiente de compresibilidad isobárico	Dominio 5	
ht.pA	ht.pref	Pa	Presión absoluta	Dominio 5	
ht.gradTmag	sqrt(ht.gradTr^2+ht. gradTphi^2+ht.grad Tz^2)	K/m	Magnitud de gradiente de la temperatura	Dominio 5	
ht.Qmet	0	W/m ³	Fuente de calor metabólica	Dominio 5	Operación +

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht.pref	ht.solid2.pref	Pa	Nivel de presión de referencia	Dominio 5	
ht.DeltaH_Tlow	ht.Tref	K	Límite inferior de temperatura para evaluación de entalpía	Dominio 5	
ht.DeltaH_plow	ht.pref	Pa	Límite inferior de presión para evaluación de entalpía	Dominio 5	
ht.rhoInit	subst(ht.rho,T,ht.Tinit,minput.pA,ht.pref)	kg/m ³	Densidad inicial	Dominio 5	
ht.rho_eff	ht.rho	kg/m ³	Densidad efectiva	Dominio 5	
ht.C_eff	ht.rho*ht.Cp	J/(m ³ ·K)	Capacidad térmica volumétrica efectiva	Dominio 5	
ht.muJT	0	m ³ /kg	Coefficiente isotérmico de Joule-Thomson	Dominio 5	
ht.k_effrr	ht.krr	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente rr	Dominio 5	
ht.k_effphir	ht.kphir	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente phir	Dominio 5	
ht.k_effzr	ht.kzr	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente zr	Dominio 5	
ht.k_effrphi	ht.krphi	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente rphi	Dominio 5	
ht.k_effphiphi	ht.kphiphi	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente phiphi	Dominio 5	
ht.k_effzphi	ht.kzphi	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente zphi	Dominio 5	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht.k_effrz	ht.krz	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente rz	Dominio 5	
ht.k_effphiz	ht.kphiz	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente phiz	Dominio 5	
ht.k_effzz	ht.kzz	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva, componente zz	Dominio 5	
ht.kappaTrr	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente rr	Dominio 5	
ht.kappaTphir	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente phir	Dominio 5	
ht.kappaTzr	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente zr	Dominio 5	
ht.kappaTrphi	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente rphi	Dominio 5	
ht.kappaTphiphi	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente phiphi	Dominio 5	
ht.kappaTzphi	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente zphi	Dominio 5	
ht.kappaTrz	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente rz	Dominio 5	
ht.kappaTphiz	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta,	Dominio 5	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			componente phiz		
ht.kappaTzz	0	W/(m·K)	Conductividad térmica turbulenta, componente zz	Dominio 5	
ht.kmean	$0.5*(ht.k_effir+ht.k_effzz)$	W/(m·K)	Conductividad térmica efectiva media	Dominio 5	
ht.ur	0	m/s	Campo de velocidad, componente r	Dominio 5	Operación +
ht.uphi	0	m/s	Campo de velocidad, componente phi	Dominio 5	Operación +
ht.uz	0	m/s	Campo de velocidad, componente z	Dominio 5	Operación +
ht.gradTr	Tr	K/m	Gradiente de temperatura, componente r	Dominio 5	
ht.gradTphi	0	K/m	Gradiente de temperatura, componente phi	Dominio 5	
ht.gradTz	Tz	K/m	Gradiente de temperatura, componente z	Dominio 5	
ht.cellPe	$0.5*ht.rho*ht.Cp*h*\sqrt{(ht.ur^2+ht.uphi^2+ht.uz^2)}/ht.kmean$	1	Número Peclet de celda	Dominio 5	
ht.Qltot	0	W/m	Fuente de calor total de linea	Puntos 16–19	Operación +
ht.alphaTdr	$ht.k_effir/ht.C_eff$	m ² /s	Difusividad térmica, componente rr	Dominio 5	
ht.alphaTdphir	$ht.k_effphir/ht.C_eff$	m ² /s	Difusividad térmica, componente phir	Dominio 5	
ht.alphaTdzz	$ht.k_effzz/ht.C_eff$	m ² /s	Difusividad térmica,	Dominio 5	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			componente zr		
ht.alphaTdrphi	$ht.k_effrphi/ht.C_eff$	m ² /s	Difusividad térmica, componente rphi	Dominio 5	
ht.alphaTdphiphi	$ht.k_effphiphi/ht.C_eff$	m ² /s	Difusividad térmica, componente phiphi	Dominio 5	
ht.alphaTdzphi	$ht.k_effzphi/ht.C_eff$	m ² /s	Difusividad térmica, componente zphi	Dominio 5	
ht.alphaTdrz	$ht.k_effrz/ht.C_eff$	m ² /s	Difusividad térmica, componente rz	Dominio 5	
ht.alphaTdphiz	$ht.k_effphiz/ht.C_eff$	m ² /s	Difusividad térmica, componente phiz	Dominio 5	
ht.alphaTdzz	$ht.k_effzz/ht.C_eff$	m ² /s	Difusividad térmica, componente zz	Dominio 5	
ht.alphaTdMean	$ht.kmean/ht.C_eff$	m ² /s	Difusividad térmica media	Dominio 5	
ht.Tradu	ht.Tu	K	Temperatura, lado superior	Dominio 5	
ht.Tradu	ht.Tu	K	Temperatura, lado superior	Contornos 7–9, 11, 28–30	
ht.Tradd	ht.Td	K	Temperatura en lado inferior	Dominio 5	
ht.Tradd	ht.Td	K	Temperatura en lado inferior	Contornos 7–9, 11, 28–30	
ht.dEi	0	W/m ³	Densidad de tasa de calor acumulada total	Dominio 5	
ht.dEi0	0	W/m ³	Densidad de tasa de energía total acumulada	Dominio 5	
ht.timeDerivative	0	K/s	Temperatura, primer derivada	Dominio 5	

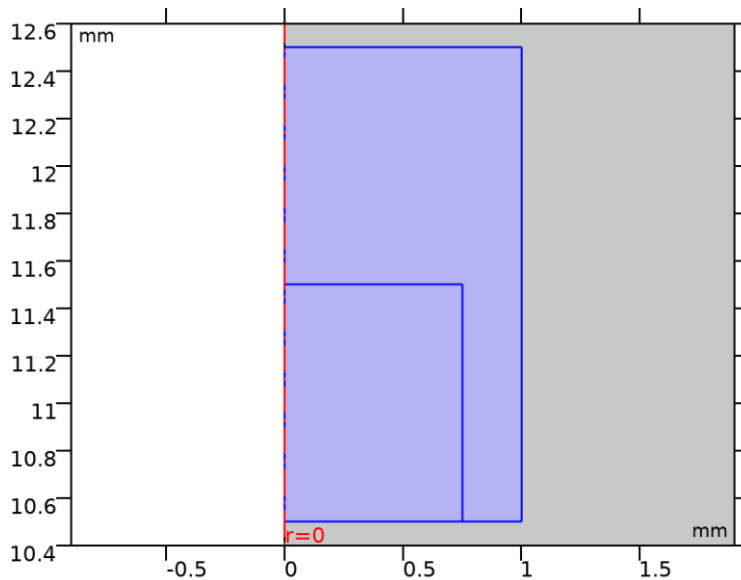
Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
			en el tiempo		
ht.gamma	1	1	Coefficiente de dilatación adiabática	Dominio 5	
ht.Trho	ht.Tref	K	Temperature for density evaluation	Dominio 5	
ht.dfltopaque	1	1	Opacidad predeterminada	Dominio 5	
ht.helem	h_spatial	m	Tamaño de elemento	Dominio 5	
ht.solid2.pref	1[atm]	Pa	Nivel de presión de referencia	Dominio 5	
ht.solid2.dEiInt	ht.solid2.intDom((ht.dEi-ht.Qm*ht.Ei)*ht.solid2.varIntSpa)	W	Tasa de calor acumulado total	Global	
ht.solid2.dEi0Int	ht.solid2.intDom((ht.dEi0-ht.Qm*ht.H)*ht.solid2.varIntSpa)	W	Tasa de energía total acumulada	Global	
ht.solid2.ntfluxInt	ht.solid2.intExtBnd(ht.ntflux*ht.solid2.varIntSpa)+ht.solid2.intExtBndUp(ht.ntflux_u*ht.solid2.varIntSpa)+ht.solid2.intExtBndDown(ht.ntflux_d*ht.solid2.varIntSpa)	W	Tasa neta de calor total	Global	
ht.solid2.ntfluxInt	ht.solid2.intExtBnd(ht.ntflux*ht.solid2.varIntSpa)+ht.solid2.intExtBndUp(ht.ntflux_u*ht.solid2.varIntSpa)+ht.solid2.intExtBndDown(ht.ntflux_d*ht.solid2.varIntSpa)	W	Tasa neta de energía total	Global	
ht.solid2.QInt	ht.solid2.intDom(ht.Qtot*ht.solid2.varIntSpa)-ht.solid2.intIntBnd(ht.ndflux_u*up(ht.s	W	Fuente de calor total	Global	

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
	$\text{olid2.varIntSpa} + \text{ht.ndflux_d} * \text{down}(\text{ht.solid2.varIntSpa})$				
ht.solid2.WnsInt	$\text{ht.solid2.intDom}(\text{ht.pA} * (\text{d}(\text{ht.ur}, \text{r}) + \text{if}(\text{abs}(\text{r}) < 0.001 * \text{h_spatial}, \text{d}(\text{ht.ur}, \text{r}), \text{ht.ur}/\text{r}) + \text{d}(\text{ht.uz}, \text{z})) * \text{ht.solid2.varIntSpa})$	W	Fuente de trabajo total	Global	
ht.solid2.WInt	0	W	Fuente de trabajo total	Global	
ht.solid2.varIntSpa	$2 * \text{ht.d} * \pi * \text{r}$	m	Variable intermedia	Dominio 5	Meta

6.1.1.89 Funciones de forma

Nombre	Función de forma	Unidad	Descripción	Marco de forma	Selección
T	Lagrange (Cuadrático)	K	Temperatura	Marco espacial	Dominio 5

2.5.10 Valores iniciales 2 - Hielo y Aorta



Valores iniciales 2 - Hielo y Aorta

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrico	Dominio
Selección	Geometría geom2: Dimensión 2: Dominios 4-5

6.1.1.90 Valores iniciales

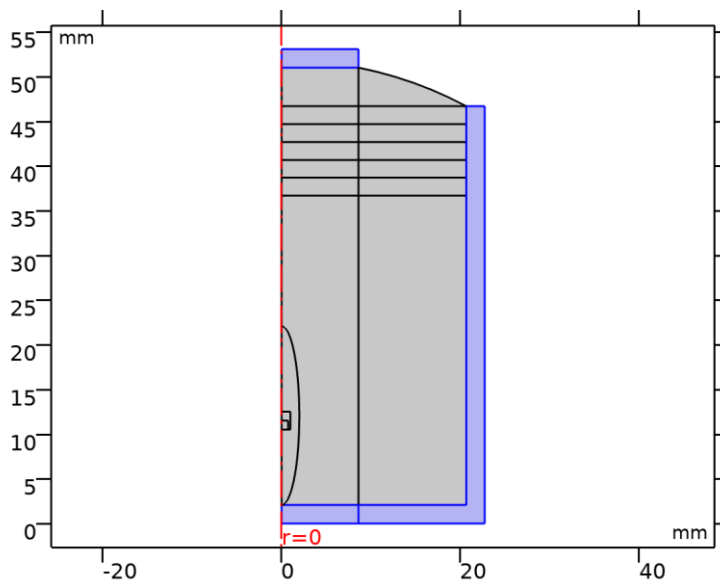
SETTINGS

Description	Value
Temperatura	Definido por el usuario
Temperatura	TempHielo

6.1.1.91 Variables

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección
ht.Tinit	TempHielo	K	Temperatura	Dominios 4-5

2.5.11 Valores iniciales 3 - Recipiente



Valores iniciales 3 - Recipiente

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrica	Dominio
Selección	Geometría geom2: Dimensión 2: Dominios 1, 12-13

6.1.1.92 Valores iniciales

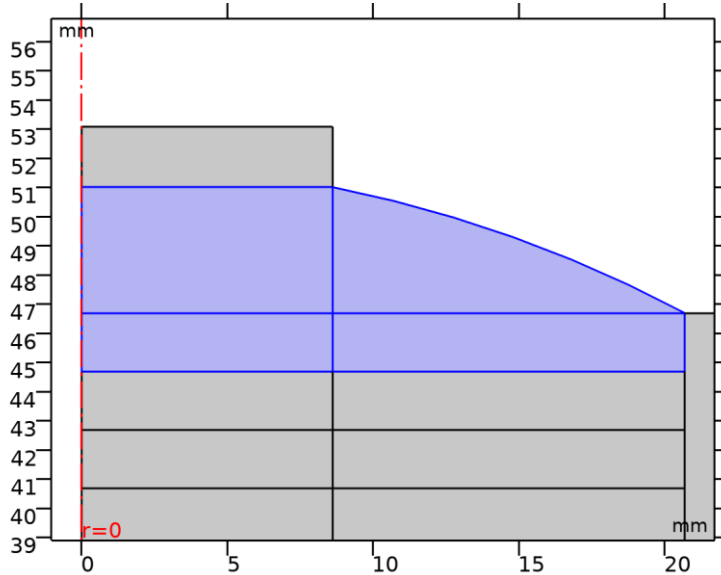
SETTINGS

Description	Value
Temperatura	Definido por el usuario
Temperatura	TempAmbiente

6.1.1.93 Variables

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección
ht.Tinit	TempAmbiente	K	Temperatura	Dominios 1, 12–13

2.5.12 Valores iniciales 4 - Zona Etilenglicol Muy Poco Viscoso



Valores iniciales 4 - Zona Etilenglicol Muy Poco Viscoso

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrico	Dominio
Selección	Geometría geom2: Dimensión 2: Dominios 10–11, 19–20

6.1.1.94 Valores iniciales

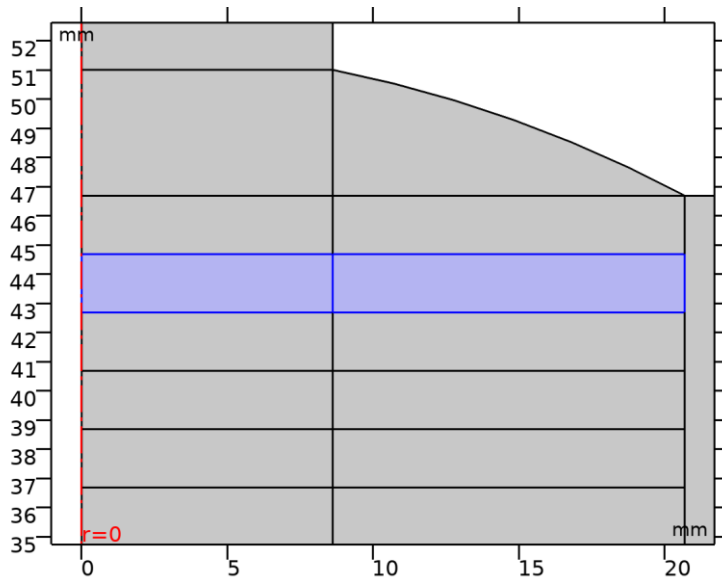
SETTINGS

Description	Value
Temperatura	Definido por el usuario
Temperatura	TempEtilenglicolMuyPocoViscoso

6.1.1.95 Variables

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección
ht.Tinit	TempEtilenglicolMuyPocoViscoso	K	Temperatura	Dominios 10–11, 19–20

2.5.13 Valores iniciales 5 - Zona Etilenglicol Poco Viscoso



Valores iniciales 5 - Zona Etilenglicol Poco Viscoso

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrico	Dominio
Selección	Geometría geom2: Dimensión 2: Dominios 9, 18

6.1.1.96 Valores iniciales

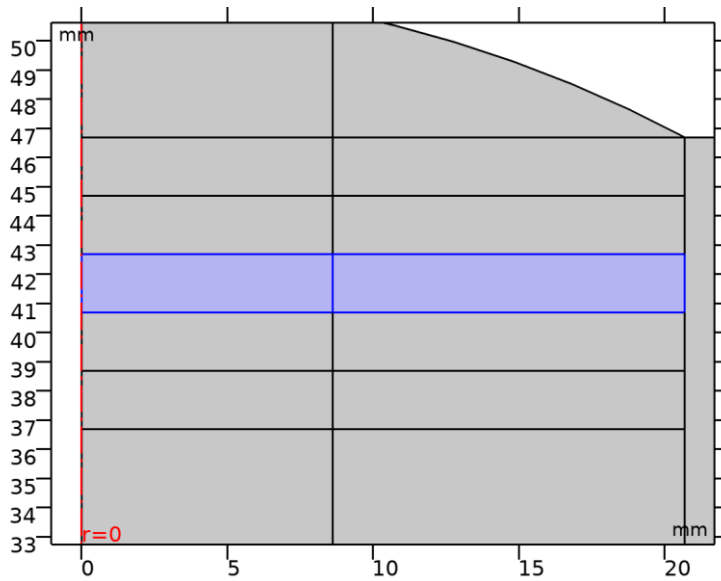
SETTINGS

Description	Value
Temperatura	Definido por el usuario
Temperatura	TempEtilenglicolPocoViscoso

6.1.1.97 Variables

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección
ht.Tinit	TempEtilenglicolPocoViscoso	K	Temperatura	Dominios 9, 18

2.5.14 Valores iniciales 6 - Zona Etilenglicol Medio Viscoso



Valores iniciales 6 - Zona Etilenglicol Medio Viscoso

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrica	Dominio
Selección	Geometría geom2: Dimensión 2: Dominios 8, 17

6.1.1.98 Valores iniciales

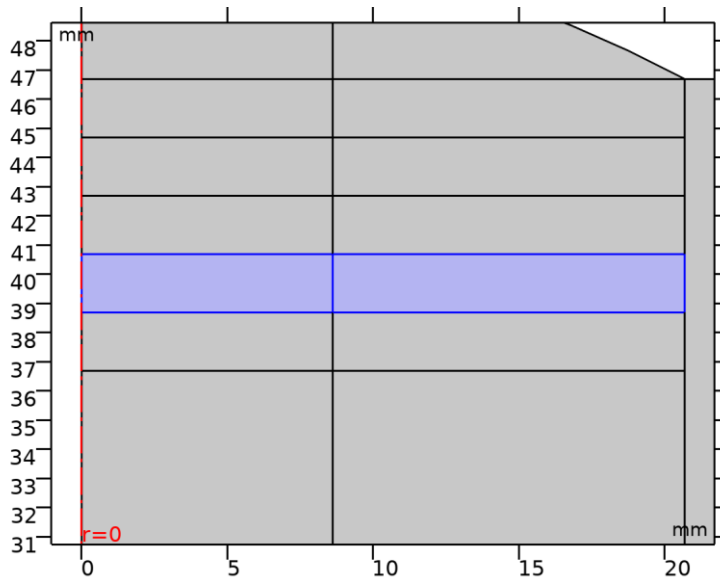
SETTINGS

Description	Value
Temperatura	Definido por el usuario
Temperatura	TempEtilenglicolMedioViscoso

6.1.1.99 Variables

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección
ht.Tinit	TempEtilenglicolMedioViscoso	K	Temperatura	Dominios 8, 17

2.5.15 Valores iniciales 7 - Zona Etilenglicol Viscoso



Valores iniciales 7 - Zona Etilenglicol Viscoso

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrico	Dominio
Selección	Geometría geom2: Dimensión 2: Dominios 7, 16

6.1.1.100 Valores iniciales

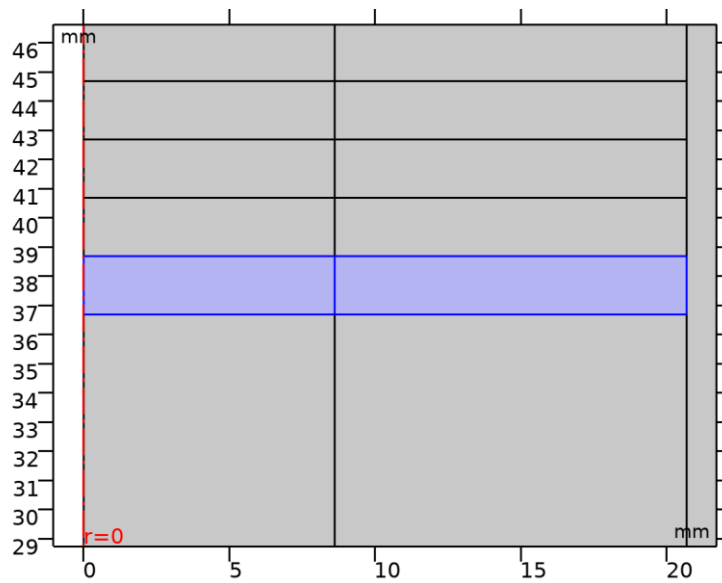
SETTINGS

Description	Value
Temperatura	Definido por el usuario
Temperatura	TempEtilenglicolViscoso

6.1.1.101 Variables

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección
ht.Tinit	TempEtilenglicolViscoso	K	Temperatura	Dominios 7, 16

2.5.16 Valores iniciales 8 - Zona Etilenglicol Muy Viscoso



Valores iniciales 8 - Zona Etilenglicol Muy Viscoso

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrico	Dominio
Selección	Geometría geom2: Dimensión 2: Dominios 6, 15

6.1.1.102 Valores iniciales

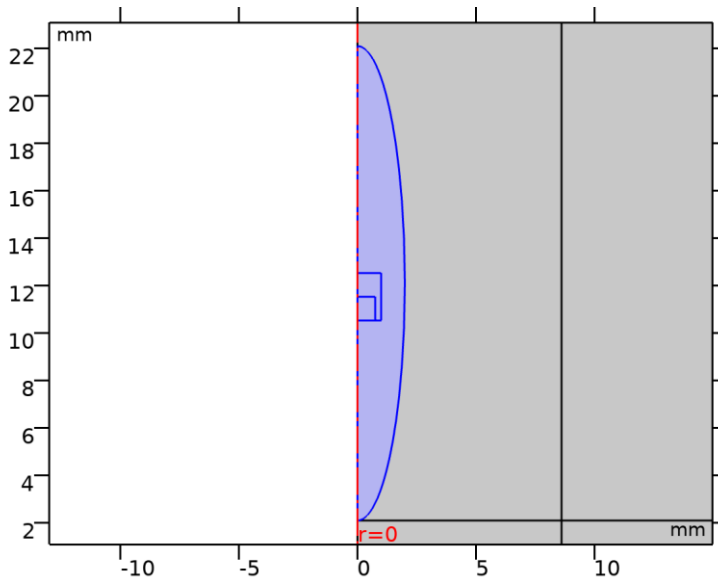
SETTINGS

Description	Value
Temperatura	Definido por el usuario
Temperatura	TempEtilenglicolViscoso

6.1.1.103 Variables

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección
ht.Tinit	TempEtilenglicolViscoso	K	Temperatura	Dominios 6, 15

2.5.17 Fuente de calor 1 - Conversión Sonido/Calor



Fuente de calor 1 - Conversión Sonido/Calor

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrico	Dominio
Selección	Geometría geom2: Dimensión 2: Dominios 2, 4-5

ECUACIONES

$$Q = Q_0$$

6.1.1.104 Fuente de calor

SETTINGS

Description	Value
Fuente de calor	Origen general
Fuente de calor	Definido por el usuario
Fuente de calor	acpr2.Q_pw*(sen1(t[1/s]) + 2*rm1(t[1/s]) - 2*rect1(t[1/s]))

6.1.1.105 Variables

Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
ht.Q	ht.hs1.Q*spatial.detInvF	W/m ³	Fuente de calor	Dominios 2, 4-5	Operación +
ht.Qtot	ht.hs1.Q*spatial.detInvF	W/m ³	Fuente de calor total	Dominios 2, 4-5	Operación +
ht.hs1.Q0	acpr2.Q_pw*(sen1(t[1/s])+2	W/m ³	Fuente de calor	Dominios 2,	

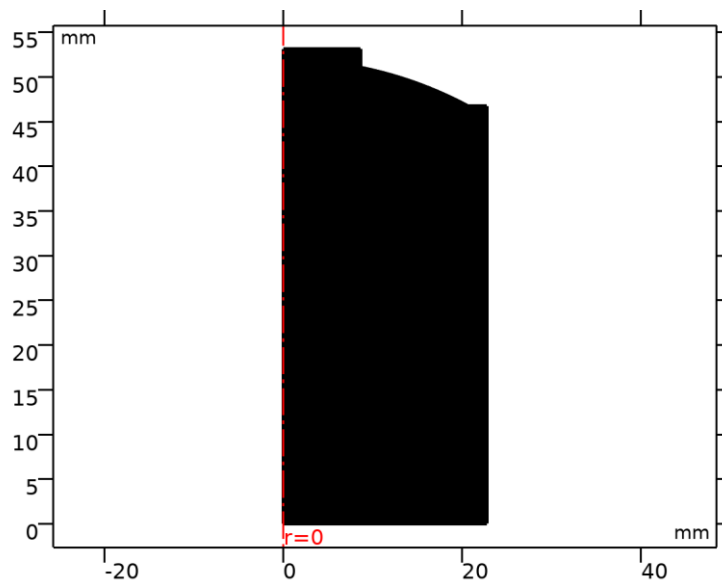
Nombre	Expresión	Unidad	Descripción	Selección	Detalles
	$*rm1(t[1/s])-2*rect1(t[1/s])$			4-5	
ht.hs1.Q	ht.hs1.Q0	W/m ³	Fuente de calor	Dominios 2, 4-5	

2.6 MALLAS

2.6.1 Malla 1 - Sonido

ESTADÍSTICAS DE MALLA

Descripción	Valor
Calidad mínima de elemento	0.01778
Calidad media de elemento	0.963
Triángulo	117971
Cuadrático	5694
Elemento de arista	3118
Elemento de vértice	41



Malla 1 - Sonido

6.1.1.106 Tamaño (size)

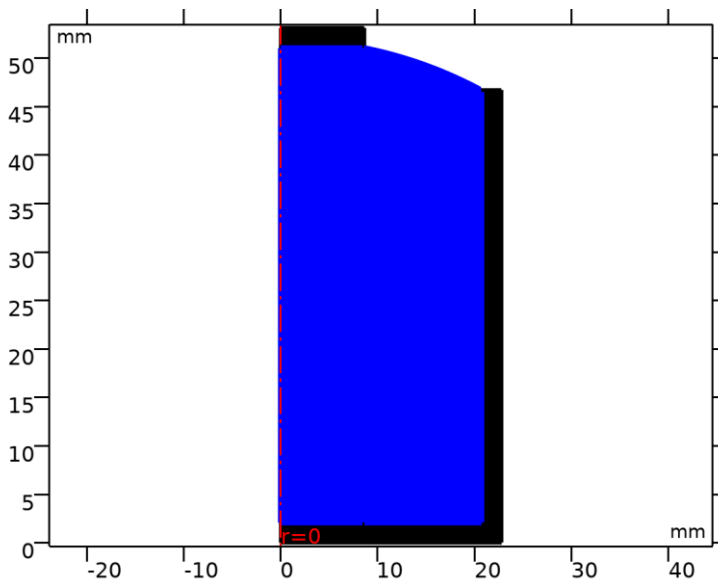
AJUSTES

Descripción	Valor
Tamaño máximo de elemento	1483[m/s]/Frecuencia/5
Tamaño mínimo de elemento	0.0343
Factor de curvatura	0.3
Tasa de crecimiento máxima de elemento	1.3
Tamaño predefinido	Fina
Tamaño de elemento definido por el usuario	Definido por el usuario

6.1.1.107 Triangular libre 1 (ftri1)

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrica	Dominio
Selección	Geometría geom2: Dimensión 2: Dominios 2–11, 14–20

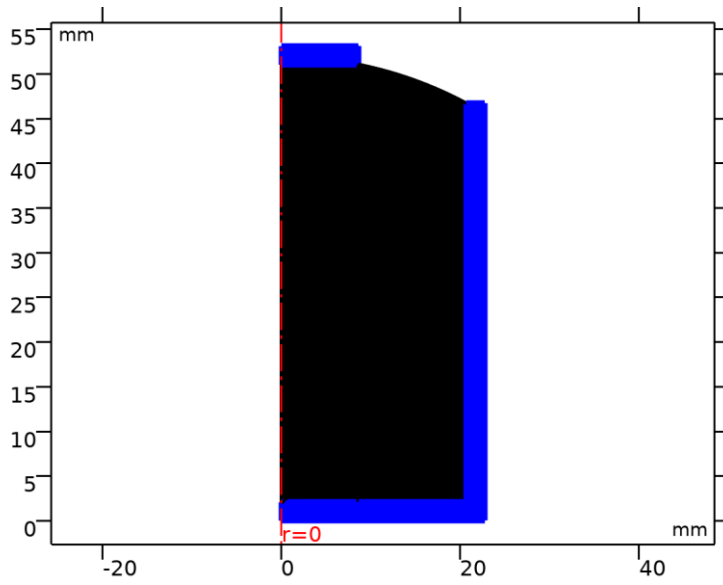


Triangular libre 1

6.1.1.108 Mapeado 1 (map1)

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrica	Dominio
Selección	Geometría geom2: Dimensión 2: Dominios 1, 12–13

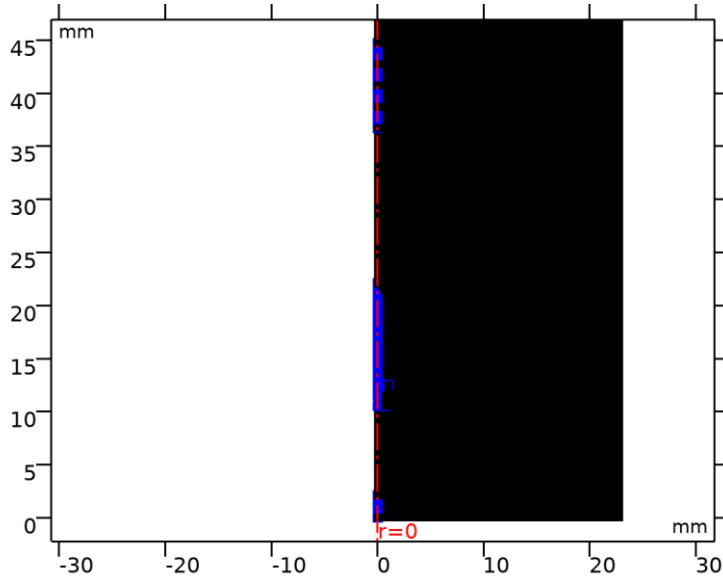


Mapeado 1

6.1.1.108.1 Distribución 1 (dis1)

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrico	Contorno
Selección	Geometría geom2: Dimensión 1: Contornos 1, 6-11, 13, 15, 17, 19



Distribución 1

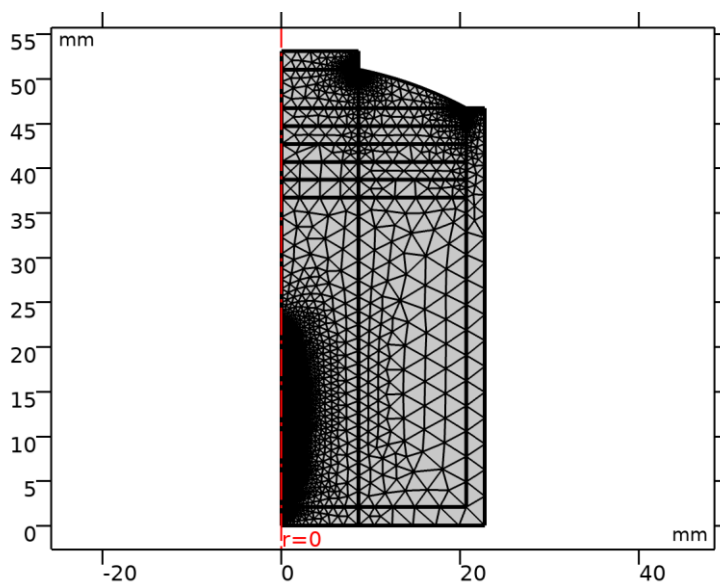
AJUSTES

Descripción	Valor
Número de elementos	10

2.6.2 Malla 2 - Calor

ESTADÍSTICAS DE MALLA

Descripción	Valor
Calidad mínima de elemento	0.06768
Calidad media de elemento	0.9705
Triángulo	23010
Elemento de arista	1176
Elemento de vértice	41



Malla 2 - Calor

6.1.1.109 Tamaño (size)

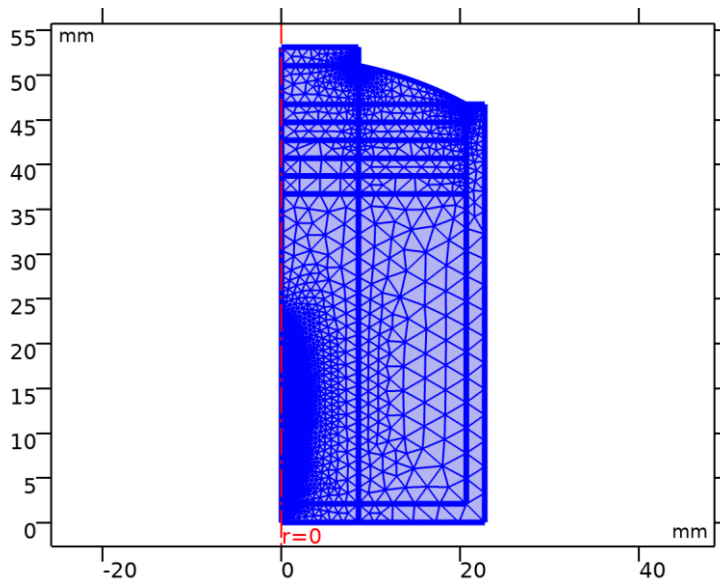
AJUSTES

Descripción	Valor
Tamaño máximo de elemento	5
Tamaño mínimo de elemento	0.0343
Factor de curvatura	0.3
Tasa de crecimiento máxima de elemento	1.2
Tamaño de elemento definido por el usuario	Definido por el usuario

6.1.1.110 Triangular libre 1 (ftri1)

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrico	Dominio
Selección	Geometría geom2: Dimensión 2: Dominios 1–20

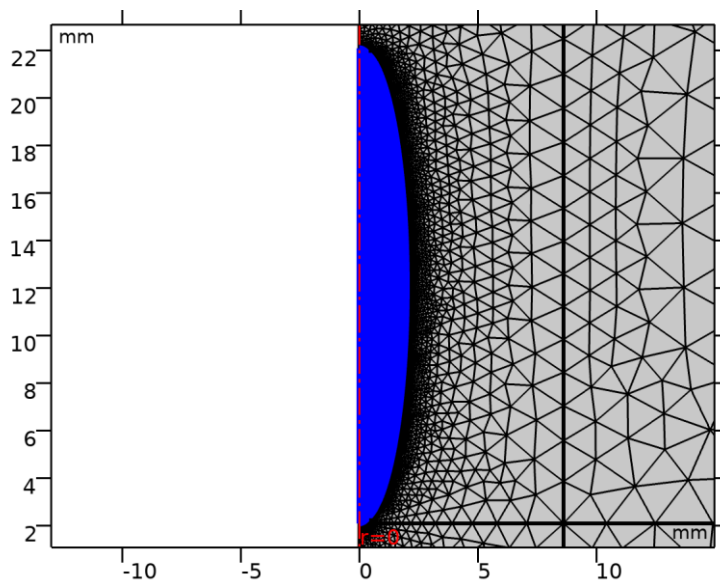


Triangular libre 1

6.1.1.110.1 Tamaño 1 (size1)

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrico	Dominio
Selección	Geometría geom2: Dimensión 2: Dominios 2, 4–5



Tamaño 1

AJUSTES

Descripción	Valor
Tamaño máximo de elemento	1483[m/s]/Frecuencia/8
Tamaño mínimo de elemento	0.0159
Tamaño mínimo de elemento	Apagado
Factor de curvatura	0.3
Factor de curvatura	Apagado
Resolución de regiones estrechas	Apagado
Tasa de crecimiento máxima de elemento	1.3
Tasa de crecimiento máxima de elemento	Apagado
Tamaño de elemento definido por el usuario	Definido por el usuario

3 Estudio 1 - Sonido

INFORMACIÓN DE LA COMPUTACIÓN

Tiempo de computación	13 s
CPU	Intel64 Family 6 Model 60 Stepping 3, 4 núcleos
Sistema operativo	Windows 10

3.1 DOMINIO DE LA FRECUENCIA

Frecuencias (Hz)
Frecuencia

CONFIGURACIÓN DEL ESTUDIO

Descripción	Valor
Incluir no linealidad geometría	Apagado

AJUSTES

Descripción	Valor
Frecuencias	2000000

MALLA

Característica	Valor
Geometría 2	mesh4

SELECCIÓN DE FÍSICAS Y VARIABLES

Interfaz de física	Discretización
Presión acústica, frecuencia 2 (acpr2)	physics

SELECCIÓN DE MALLAS

Geometría	Malla
Geometría 2 (geom2)	mesh4

3.2 CONFIGURACIONES DEL RESOLVEDOR

3.2.1 Solución 2

6.1.1.111 Compilar ecuaciones: Dominio de la frecuencia (st1)

ESTUDIO Y PASO

Descripción	Valor
Usar estudio	Estudio 1 - Sonido
Usar paso de estudio	Dominio de la frecuencia

LOG

```
<----- Compilar ecuaciones: Dominio de la frecuencia en Estudio 1 -
          Sonido/Solución 2 (sol2) ----->
Inició en 13-jul-2020 11:27:40.
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 Eduardugui.
Memoria disponible: 8.10 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 0.000166 mm.
Tiempo: 4.
Memoria física: 1.47 GB
Memoria virtual: 1.73 GB
Terminó en 13-jul-2020 11:27:44.
----- Compilar ecuaciones: Dominio de la frecuencia en Estudio 1 -
          Sonido/Solución 2 (sol2) ----->
```

6.1.1.112 Variables dependientes 1 (v1)

GENERAL

Descripción	Valor
Definido por paso estudio	Dominio de la frecuencia

CONSTANTES DE CÁMPUTO DE VALOR INICIAL

Nombre constante	\$Fuente de valor inicial
freq	Frecuencia

LOG

```

<---- Variables dependientes 1 en Estudio 1 - Sonido/Solución 2 (sol2) -----
Inició en 13-jul-2020 11:27:44.
Tiempo de solución: 0 s.
Memoria física: 1.51 GB
Memoria virtual: 1.77 GB
Terminó en 13-jul-2020 11:27:44.
----- Variables dependientes 1 en Estudio 1 - Sonido/Solución 2 (sol2) ----->

```

6.1.1.112.1 Presión (comp2.p2) (comp2_p2)

GENERAL

Descripción	Valor
Variables de campo	comp2.p2

6.1.1.112.2 Temperatura (comp2.T) (comp2_T)

GENERAL

Descripción	Valor
Variables de campo	comp2.T
Variables internas	{comp2.uflux.T, comp2.dflux.T}
Resolver para este campo	Apagado

6.1.1.113 Resolvedor estacionario 1 (s1)

GENERAL

Descripción	Valor
Definido por paso estudio	Dominio de la frecuencia

LOG

```

<---- Resolvedor estacionario 1 en Estudio 1 - Sonido/Solución 2 (sol2) -----
Inició en 13-jul-2020 11:27:45.
Resolvedor lineal
Número de grados de libertad resueltos para 259752
Se encontraron matrices simétricas.
Escala para variables dependientes:
Presión (comp2.p2): 1e+05
Empleada función de espacio nulo Ortonormal.
Iter      SolEst      Damping      Stepsize #Res #Jac #Sol   LinErr   LinRes
   1         1    1.0000000         1     1     1     1  2.6e-13  8.4e-13
Tiempo de solución: 9 s.
Memoria física: 1.92 GB
Memoria virtual: 2.25 GB
Terminó en 13-jul-2020 11:27:53.
----- Resolvedor estacionario 1 en Estudio 1 - Sonido/Solución 2 (sol2) ----->

```

6.1.1.113.1 Avanzado (aDef)

AJUSTES DE ENSAMBLE

Descripción	Valor
Permitir resultados complejos de funciones con argumento real	Encendido

6.1.1.113.2 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

6.1.1.113.3 Completamente acoplado 1 (fc1)

GENERAL

Descripción	Valor
Resolvedor lineal	Directo

4 Estudio 2 - Calor

INFORMACIÓN DE LA COMPUTACIÓN

Tiempo de computación	3 min 18 s
CPU	Intel64 Family 6 Model 60 Stepping 3, 4 núcleos
Sistema operativo	Windows 10

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	{0, 0.125, 0.25, 0.375, 0.5, 0.625, 0.75, 0.875, 1, 1.125, 1.25, 1.375, 1.5, 1.625, 1.75, 1.875, 2, 2.125, 2.25, 2.375, 2.5, 2.625, 2.75, 2.875, 3, 3.125, 3.25, 3.375, 3.5, 3.625, 3.75, 3.875, 4, 4.125, 4.25, 4.375, 4.5, 4.625, 4.75, 4.875, 5}

VALORES DE VARIABLES DEPENDIENTE

Descripción	Valor
Ajustes	Controlado por usuario
Método	Solución
Estudio	Estudio 1 - Sonido

SELECCIÓN DE FÍSICAS Y VARIABLES

Interfaz de física	Discretización
Transferencia de biocalor (ht)	physics

SELECCIÓN DE MALLAS

Geometría	Malla
Geometría 2 (geom2)	mesh5

4.2 CONFIGURACIONES DEL RESOLVEDOR

4.2.1 Solución 3

6.1.1.114 Compilar ecuaciones: Temporal (st1)

ESTUDIO Y PASO

Descripción	Valor
Usar estudio	Estudio 2 - Calor
Usar paso de estudio	Temporal

LOG

```
<----- Compilar ecuaciones: Temporal en Estudio 2 - Calor/Solución 3 (sol3) -----
Inició en 13-jul-2020 11:28:01.
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 Eduardugui.
Memoria disponible: 8.10 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 0.000074 mm.
Tiempo: 3.
Memoria física: 1.59 GB
Memoria virtual: 1.84 GB
Terminó en 13-jul-2020 11:28:04.
----- Compilar ecuaciones: Temporal en Estudio 2 - Calor/Solución 3 (sol3) ----->
```

6.1.1.115 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 2

CONSTANTES DE CÓMPUTO DE VALOR INICIAL

Nombre constante	\$Fuente de valor inicial
t	range(0,TiempoFinal/40,TiempoFinal)
timestep	0.005[s]

LOG

```
<---- Variables dependientes 1 en Estudio 2 - Calor/Solución 3 (sol3) -----
Inició en 13-jul-2020 11:28:04.
Valores de las variables no computadas: Solución 2 (sol2), freq=2E6 Hz [Automático].
Tiempo de solución: 1 s.
Memoria física: 1.61 GB
Memoria virtual: 1.86 GB
Terminó en 13-jul-2020 11:28:04.
----- Variables dependientes 1 en Estudio 2 - Calor/Solución 3 (sol3) ----->
```

6.1.1.115.1 Presión (comp2.p2) (comp2_p2)

GENERAL

Descripción	Valor
VARIABLES DE CAMPO	comp2.p2
Resolver para este campo	Apagado

6.1.1.115.2 Temperatura (comp2.T) (comp2_T)

GENERAL

Descripción	Valor
VARIABLES DE CAMPO	comp2.T
VARIABLES INTERNAS	{comp2.uflux.T, comp2.dflux.T, comp2.ht.dt2Inv_T}

6.1.1.116 Resolvedor temporal 1 (t1)

GENERAL

Descripción	Valor
Definido por paso estudio	Temporal
Tiempos	{0, 0.125, 0.25, 0.375, 0.5, 0.625, 0.75, 0.875, 1, 1.125, 1.25, 1.375, 1.5, 1.625, 1.75, 1.875, 2, 2.125, 2.25, 2.375, 2.5, 2.625, 2.75, 2.875, 3, 3.125, 3.25, 3.375, 3.5, 3.625, 3.75, 3.875, 4, 4.125, 4.25, 4.375, 4.5, 4.625, 4.75, 4.875, 5}

ESCALADO DE TIEMPO

Descripción	Valor
Maximum step constraint	Constante

Descripción	Valor
Paso máximo	0.02
Estimación de errores	Excluir algebraico

LOG

```

<---- Resolvedor temporal 1 en Estudio 2 - Calor/Solución 3 (sol3) -----
Inició en 13-jul-2020 11:28:05.
Resolvedor temporal (BDF ida)
Número de grados de libertad resueltos: 46453 (mas 26948 grados de libertad internos
).
Se encontró matrix no simétrica.
Escala para variables dependientes:
Temperatura (comp2.T): 2.9e+02
Step      Time      Stepsize      Res  Jac  Sol Order  Tfail  NLfail   LinErr   LinRes
  0         0         - out         4    3    4         1    0         0 1.9e-15 4.1e-16
  1 6.9104e-05 6.9104e-05     6    4    6         1    0         0 2.1e-15 3.6e-16
  2 0.00013821 6.9104e-05     8    5    8         1    0         0 1.2e-15 3.6e-16
  3 0.00027642 0.00013821    10    6   10         2    0         0 1.4e-15 3.4e-16
  4 0.00055283 0.00027642    12    7   12         1    0         0 2.6e-15 3.7e-16
  5 0.0011057 0.00055283    14    8   14         1    0         0 3.4e-15 4.3e-16
  6 0.0022113 0.0011057     16    9   16         1    0         0 4.8e-15 4.5e-16
  7 0.0044227 0.0022113     18   10   18         1    0         0 7.1e-15 4.3e-16
  8 0.0088453 0.0044227     20   11   20         1    0         0 1.1e-14 4.2e-16
  9 0.017691 0.0088453     22   12   22         1    0         0 5.8e-15 4.7e-16
 10 0.026536 0.0088453     24   13   24         1    0         0 7.5e-15 4.4e-16
 11 0.044227 0.017691      26   14   26         1    0         0 1.7e-14 6.2e-16
 12 0.064227 0.02         28   15   28         1    0         0 1.9e-14 7e-16
 13 0.084227 0.02         30   16   30         1    0         0 1.4e-14 6.2e-16
 14 0.10423 0.02         32   17   32         1    0         0 3.5e-15 6.2e-16
 15 0.12423 0.02         34   18   34         1    0         0 2.2e-15 7e-16
  - 0.125 - out
 16 0.14423 0.02         36   19   36         1    0         0 9.8e-16 9e-16
 17 0.16423 0.02         38   20   38         2    0         0 1e-15 5e-16
 18 0.18423 0.02         40   21   40         2    0         0 3.6e-16 4.9e-16
 19 0.20423 0.02         42   22   42         2    0         0 5.1e-16 5.5e-16
 20 0.22423 0.02         44   23   44         2    0         0 4.1e-16 7.1e-16
 21 0.24423 0.02         45   24   45         3    0         0 4.3e-16 3.9e-16
  - 0.25 - out
 22 0.26423 0.02         47   25   47         3    0         0 4.3e-16 5.7e-16
 23 0.28423 0.02         48   26   48         3    0         0 3.2e-16 3.6e-16
 24 0.30423 0.02         50   27   50         3    0         0 3.8e-16 5.5e-16
 25 0.32423 0.02         52   28   52         3    0         0 3.4e-16 5.2e-16
 26 0.34423 0.02         53   29   53         4    0         0 3.9e-16 2.2e-16
 27 0.36423 0.02         54   30   54         4    0         0 3.7e-16 3.9e-16
  - 0.375 - out
 28 0.38423 0.02         55   31   55         4    0         0 3.1e-16 3e-16
 29 0.40423 0.02         57   32   57         4    0         0 2.9e-16 3e-16
 30 0.42423 0.02         59   33   59         4    0         0 4.3e-16 2.7e-16
 31 0.44423 0.02         61   34   61         4    0         0 4.6e-16 2.5e-16
 32 0.46423 0.02         63   35   63         3    0         0 2.9e-16 2.9e-16
 33 0.48423 0.02         65   36   65         3    0         0 6.7e-16 3e-16
  - 0.5 - out
 34 0.50423 0.02         67   37   67         3    0         0 3.8e-16 3.3e-16
 35 0.52423 0.02         69   38   69         3    0         0 2.9e-16 2.2e-16
 36 0.54423 0.02         71   39   71         3    0         0 9.1e-16 3.3e-16
 37 0.56423 0.02         72   40   72         3    0         0 3.4e-16 2.4e-16
 38 0.58423 0.02         74   41   74         3    0         0 2.5e-16 2.1e-16
 39 0.60423 0.02         76   42   76         3    0         0 3.2e-16 2.3e-16
 40 0.62423 0.02         78   43   78         3    0         0 5e-16 3.7e-16
  - 0.625 - out
 41 0.64423 0.02         80   44   80         3    0         0 3e-16 3.9e-16
 42 0.66423 0.02         82   45   82         2    0         0 3.9e-16 5.6e-16
 43 0.68423 0.02         84   46   84         2    0         0 3e-16 6.1e-16

```

44	0.70423	0.02	86	47	86	2	0	0	3.7e-16	6.3e-16
45	0.72423	0.02	88	48	88	2	0	0	3.4e-16	6.4e-16
46	0.74423	0.02	90	49	90	1	0	0	3.9e-16	8.7e-16
-	0.75	- out								
47	0.76423	0.02	92	50	92	1	0	0	4.2e-16	9e-16
48	0.78423	0.02	94	51	94	1	0	0	3.7e-16	8.8e-16
49	0.80423	0.02	96	52	96	2	0	0	3.4e-16	6.4e-16
50	0.82423	0.02	97	53	97	2	0	0	3.7e-16	6.5e-16
51	0.84423	0.02	99	54	99	2	0	0	3.6e-16	6.1e-16
52	0.86423	0.02	101	55	101	2	0	0	3.8e-16	6.5e-16
-	0.875	- out								
53	0.88423	0.02	102	56	102	3	0	0	4.1e-16	4.9e-16
54	0.90423	0.02	103	57	103	3	0	0	3.4e-16	5.6e-16
55	0.92423	0.02	104	58	104	3	0	0	3e-16	5.2e-16
56	0.94423	0.02	106	59	106	3	0	0	3.2e-16	5e-16
57	0.96423	0.02	108	60	108	3	0	0	3.4e-16	5.3e-16
58	0.98423	0.02	110	61	110	2	0	0	3.2e-16	6.3e-16
-	1	- out								
59	1.0042	0.02	112	62	112	1	0	0	4e-16	9.1e-16
60	1.0242	0.02	114	63	114	1	0	0	3.6e-16	9.1e-16
61	1.0442	0.02	116	64	116	1	0	0	3.7e-16	8.6e-16
62	1.0642	0.02	118	65	118	1	0	0	3.8e-16	9.3e-16
63	1.0842	0.02	119	66	119	2	0	0	6.1e-16	6.6e-16
64	1.1042	0.02	121	67	121	2	0	0	3.3e-16	6.6e-16
65	1.1242	0.02	122	68	122	2	0	0	3.6e-16	6.9e-16
-	1.125	- out								
66	1.1442	0.02	123	69	123	2	0	0	3.4e-16	6.9e-16
67	1.1642	0.02	125	70	125	2	0	0	3.8e-16	6.4e-16
68	1.1842	0.02	126	71	126	3	0	0	3.2e-16	3.5e-16
69	1.2042	0.02	127	72	127	3	0	0	3.2e-16	5.6e-16
70	1.2242	0.02	128	73	128	3	0	0	3.7e-16	4.2e-16
71	1.2442	0.02	129	74	129	3	0	0	3.5e-16	5.6e-16
-	1.25	- out								
72	1.2642	0.02	131	75	131	3	0	0	3.3e-16	5.7e-16
73	1.2842	0.02	132	76	132	4	0	0	3.1e-16	4.1e-16
74	1.3042	0.02	133	77	133	4	0	0	2.8e-16	3.2e-16
75	1.3242	0.02	134	78	134	4	0	0	3.6e-16	2.7e-16
76	1.3442	0.02	135	79	135	4	0	0	3.2e-16	3.8e-16
77	1.3642	0.02	136	80	136	4	0	0	2.9e-16	4.2e-16
-	1.375	- out								
78	1.3842	0.02	137	81	137	4	0	0	3.2e-16	3.4e-16
79	1.4042	0.02	138	82	138	3	0	0	3.4e-16	4.6e-16
80	1.4242	0.02	140	83	140	3	0	0	3.3e-16	3.5e-16
81	1.4442	0.02	142	84	142	3	0	0	3.4e-16	4e-16
82	1.4642	0.02	144	85	144	3	0	0	3.7e-16	4.1e-16
83	1.4842	0.02	145	86	145	3	0	0	3.1e-16	4.1e-16
-	1.5	- out								
84	1.5042	0.02	146	87	146	4	0	0	2.1e-16	1.5e-16
85	1.5242	0.02	147	88	147	4	0	0	3.2e-16	2.7e-16
86	1.5442	0.02	148	89	148	4	0	0	2.7e-16	2.7e-16
87	1.5642	0.02	149	90	149	4	0	0	3.2e-16	2.5e-16
88	1.5842	0.02	150	91	150	4	0	0	4.3e-16	1.8e-16
89	1.6042	0.02	151	92	151	4	0	0	3.1e-16	2.1e-16
90	1.6242	0.02	153	93	153	4	0	0	4.4e-16	2.4e-16
-	1.625	- out								
91	1.6442	0.02	155	94	155	4	0	0	3.8e-16	2.4e-16
92	1.6642	0.02	156	95	156	3	0	0	3e-16	2.9e-16
93	1.6842	0.02	157	96	157	3	0	0	4.2e-16	2.7e-16
94	1.7042	0.02	158	97	158	3	0	0	3.2e-16	3.4e-16
95	1.7242	0.02	160	98	160	3	0	0	4.1e-16	3.5e-16

96	1.7442	0.02	162	99	162	3	0	0	4.3e-16	4e-16
-	1.75	- out								
97	1.7642	0.02	163	100	163	2	0	0	3.5e-16	6.4e-16
98	1.7842	0.02	165	101	165	2	0	0	3.2e-16	6.5e-16
99	1.8042	0.02	167	102	167	2	0	0	3.4e-16	7.2e-16
100	1.8242	0.02	169	103	169	2	0	0	4.9e-16	8e-16
101	1.8442	0.02	171	104	171	1	0	0	4.2e-16	1.1e-15
102	1.8642	0.02	173	105	173	1	0	0	6.1e-16	1.2e-15
-	1.875	- out								
103	1.8842	0.02	175	106	175	1	0	0	5.8e-16	1.2e-15
104	1.9042	0.02	177	107	177	2	0	0	3.7e-16	7.2e-16
105	1.9242	0.02	178	108	178	2	0	0	3.9e-16	6.1e-16
106	1.9442	0.02	180	109	180	2	0	0	3.4e-16	6.2e-16
107	1.9642	0.02	182	110	182	2	0	0	3.3e-16	6.8e-16
108	1.9842	0.02	183	111	183	3	0	0	3.2e-16	3.5e-16
-	2	- out								
109	2.0042	0.02	184	112	184	3	0	0	3.3e-16	5.9e-16
110	2.0242	0.02	185	113	185	3	0	0	3.4e-16	5.2e-16
111	2.0442	0.02	187	114	187	3	0	0	3.1e-16	5.5e-16
112	2.0642	0.02	189	115	189	3	0	0	3.3e-16	5e-16
113	2.0842	0.02	190	116	190	4	0	0	2.8e-16	2.6e-16
114	2.1042	0.02	191	117	191	4	0	0	2.5e-16	1.9e-16
115	2.1242	0.02	192	118	192	4	0	0	3e-16	3.8e-16
-	2.125	- out								
116	2.1442	0.02	193	119	193	4	0	0	3.6e-16	4.7e-16
117	2.1642	0.02	194	120	194	4	0	0	3.3e-16	4.2e-16
118	2.1842	0.02	195	121	195	4	0	0	4e-16	3.4e-16
119	2.2042	0.02	197	122	197	5	0	0	3.6e-16	2.2e-16
120	2.2242	0.02	199	123	199	5	0	0	4.3e-16	2.7e-16
121	2.2442	0.02	200	124	200	4	0	0	4.4e-16	2.8e-16
-	2.25	- out								
122	2.2642	0.02	201	125	201	4	0	0	3.2e-16	2.6e-16
123	2.2842	0.02	203	126	203	4	0	0	3.4e-16	2.9e-16
124	2.3042	0.02	205	127	205	4	0	0	5.1e-16	3.2e-16
125	2.3242	0.02	207	128	207	4	0	0	5.5e-16	3e-16
126	2.3442	0.02	209	129	209	4	0	0	3.7e-16	3.3e-16
127	2.3642	0.02	211	130	211	3	0	0	3e-16	2.9e-16
-	2.375	- out								
128	2.3842	0.02	213	131	213	3	0	0	3.5e-16	2.8e-16
129	2.4042	0.02	215	132	215	3	0	0	2.7e-16	2.8e-16
130	2.4242	0.02	217	133	217	3	0	0	2.1e-16	1.9e-16
131	2.4442	0.02	219	134	219	3	0	0	3.2e-16	2.7e-16
132	2.4642	0.02	221	135	221	3	0	0	2.4e-16	2.1e-16
133	2.4842	0.02	223	136	223	3	0	0	3e-16	2.8e-16
-	2.5	- out								
134	2.5042	0.02	225	137	225	3	0	0	3.6e-16	3.2e-16
135	2.5242	0.02	227	138	227	3	0	0	2.7e-16	2.1e-16
136	2.5442	0.02	229	139	229	2	0	0	3.1e-16	2.5e-16
137	2.5642	0.02	231	140	231	2	0	0	3.8e-16	3.5e-16
138	2.5842	0.02	233	141	233	2	0	0	5.9e-16	7.1e-16
139	2.6042	0.02	235	142	235	2	0	0	3.4e-16	4.9e-16
140	2.6242	0.02	237	143	237	1	0	0	3.8e-16	5.2e-16
-	2.625	- out								
141	2.6442	0.02	239	144	239	1	0	0	4e-16	8e-16
142	2.6642	0.02	241	145	241	1	0	0	3.9e-16	9.3e-16
143	2.6842	0.02	243	146	243	2	0	0	3.7e-16	6.3e-16
144	2.7042	0.02	244	147	244	2	0	0	3.4e-16	6.6e-16
145	2.7242	0.02	246	148	246	2	0	0	4e-16	6.2e-16

146	2.7442	0.02	248	149	248	2	0	0	3.8e-16	7.7e-16
-	2.75	- out								
147	2.7642	0.02	249	150	249	3	0	0	3.2e-16	3.9e-16
148	2.7842	0.02	250	151	250	3	0	0	3.2e-16	5.4e-16
149	2.8042	0.02	251	152	251	3	0	0	3.1e-16	5.1e-16
150	2.8242	0.02	253	153	253	3	0	0	3.7e-16	6.1e-16
151	2.8442	0.02	255	154	255	3	0	0	3.2e-16	5.4e-16
152	2.8642	0.02	256	155	256	4	0	0	4.1e-16	3.2e-16
-	2.875	- out								
153	2.8842	0.02	257	156	257	4	0	0	2.4e-16	2.2e-16
154	2.9042	0.02	258	157	258	4	0	0	4.1e-16	4.3e-16
155	2.9242	0.02	259	158	259	4	0	0	3.6e-16	4.7e-16
156	2.9442	0.02	261	159	261	4	0	0	3e-16	3.1e-16
157	2.9642	0.02	262	160	262	4	0	0	4.1e-16	2.8e-16
158	2.9842	0.02	263	161	263	4	0	0	3.9e-16	3.8e-16
-	3	- out								
159	3.0042	0.02	265	162	265	4	0	0	3.4e-16	2.8e-16
160	3.0242	0.02	267	163	267	4	0	0	3.6e-16	3e-16
161	3.0442	0.02	269	164	269	3	0	0	3.4e-16	3.4e-16
162	3.0642	0.02	270	165	270	3	0	0	3.7e-16	4.2e-16
163	3.0842	0.02	271	166	271	3	0	0	3.5e-16	4e-16
164	3.1042	0.02	272	167	272	3	0	0	4.6e-16	2.9e-16
165	3.1242	0.02	273	168	273	3	0	0	3.3e-16	4.3e-16
-	3.125	- out								
166	3.1442	0.02	275	169	275	3	0	0	4.2e-16	4.2e-16
167	3.1642	0.02	277	170	277	4	0	0	3.4e-16	2.7e-16
168	3.1842	0.02	278	171	278	4	0	0	4.5e-16	2.7e-16
169	3.2042	0.02	279	172	279	4	0	0	4.1e-16	2.8e-16
170	3.2242	0.02	281	173	281	4	0	0	2.9e-16	2.5e-16
171	3.2442	0.02	283	174	283	4	0	0	4e-16	3.6e-16
-	3.25	- out								
172	3.2642	0.02	285	175	285	4	0	0	4e-16	3.5e-16
173	3.2842	0.02	287	176	287	3	0	0	3.9e-16	3e-16
174	3.3042	0.02	289	177	289	3	0	0	3.1e-16	2.9e-16
175	3.3242	0.02	291	178	291	3	0	0	3.9e-16	3.5e-16
176	3.3442	0.02	293	179	293	3	0	0	3.3e-16	3.1e-16
177	3.3642	0.02	295	180	295	3	0	0	3.3e-16	3.1e-16
-	3.375	- out								
178	3.3842	0.02	297	181	297	3	0	0	3.4e-16	3.4e-16
179	3.4042	0.02	299	182	299	3	0	0	2.6e-16	2.5e-16
180	3.4242	0.02	300	183	300	3	0	0	2.4e-16	2.3e-16
181	3.4442	0.02	302	184	302	3	0	0	3e-16	3.2e-16
182	3.4642	0.02	304	185	304	4	0	0	2.3e-16	2.2e-16
183	3.4842	0.02	305	186	305	4	0	0	2.6e-16	2.8e-16
-	3.5	- out								
184	3.5042	0.02	307	187	307	4	0	0	3.1e-16	3.2e-16
185	3.5242	0.02	309	188	309	4	0	0	3.9e-16	3.7e-16
186	3.5442	0.02	311	189	311	4	0	0	3.2e-16	2.4e-16
187	3.5642	0.02	313	190	313	4	0	0	3.7e-16	4.3e-16
188	3.5842	0.02	314	191	314	3	0	0	3.5e-16	3.8e-16
189	3.6042	0.02	316	192	316	3	0	0	3.4e-16	3.3e-16
190	3.6242	0.02	318	193	318	3	0	0	2.8e-16	2.5e-16
-	3.625	- out								
191	3.6442	0.02	320	194	320	3	0	0	3e-16	3.3e-16
192	3.6642	0.02	322	195	322	3	0	0	4e-16	4.1e-16
193	3.6842	0.02	323	196	323	4	0	0	3.5e-16	2.6e-16
194	3.7042	0.02	324	197	324	4	0	0	3.4e-16	2.5e-16
195	3.7242	0.02	326	198	326	4	0	0	4.2e-16	2.3e-16
196	3.7442	0.02	328	199	328	4	0	0	3.6e-16	2.9e-16
-	3.75	- out								

197	3.7642	0.02	330	200	330	4	0	0	3.2e-16	2.6e-16
198	3.7842	0.02	332	201	332	4	0	0	2.6e-16	1.7e-16
199	3.8042	0.02	334	202	334	4	0	0	5.2e-16	2.9e-16
200	3.8242	0.02	336	203	336	4	0	0	5.3e-16	4.2e-16
201	3.8442	0.02	338	204	338	3	0	0	3.5e-16	3.6e-16
202	3.8642	0.02	339	205	339	3	0	0	4.4e-16	3.3e-16
-	3.875	- out								
203	3.8842	0.02	341	206	341	3	0	0	2.9e-16	2.8e-16
204	3.9042	0.02	343	207	343	3	0	0	4.2e-16	3.9e-16
205	3.9242	0.02	345	208	345	3	0	0	4.5e-16	4e-16
206	3.9442	0.02	347	209	347	4	0	0	2.5e-16	2.1e-16
207	3.9642	0.02	349	210	349	3	0	0	3.2e-16	3.5e-16
208	3.9842	0.02	351	211	351	3	0	0	2.3e-16	2.1e-16
-	4	- out								
209	4.0042	0.02	353	212	353	3	0	0	4e-16	3.7e-16
210	4.0242	0.02	354	213	354	3	0	0	3e-16	3.2e-16
211	4.0442	0.02	355	214	355	3	0	0	2.7e-16	2.5e-16
212	4.0642	0.02	356	215	356	3	0	0	3.2e-16	3.4e-16
213	4.0842	0.02	358	216	358	3	0	0	3.9e-16	3.8e-16
214	4.1042	0.02	360	217	360	4	0	0	3.1e-16	2.2e-16
215	4.1242	0.02	362	218	362	4	0	0	2.9e-16	2.4e-16
-	4.125	- out								
216	4.1442	0.02	363	219	363	4	0	0	3.1e-16	2.7e-16
217	4.1642	0.02	365	220	365	4	0	0	4.4e-16	3.7e-16
218	4.1842	0.02	367	221	367	4	0	0	4.7e-16	4.2e-16
219	4.2042	0.02	369	222	369	4	0	0	3.5e-16	2.4e-16
220	4.2242	0.02	371	223	371	3	0	0	3e-16	2.7e-16
221	4.2442	0.02	373	224	373	3	0	0	3.6e-16	3.1e-16
-	4.25	- out								
222	4.2642	0.02	375	225	375	3	0	0	3.3e-16	3.3e-16
223	4.2842	0.02	377	226	377	3	0	0	3.2e-16	3.9e-16
224	4.3042	0.02	379	227	379	3	0	0	3.5e-16	3.2e-16
225	4.3242	0.02	380	228	380	4	0	0	3e-16	3.6e-16
226	4.3442	0.02	381	229	381	4	0	0	2.8e-16	2.5e-16
227	4.3642	0.02	383	230	383	4	0	0	3.1e-16	3.4e-16
-	4.375	- out								
228	4.3842	0.02	385	231	385	4	0	0	3.5e-16	2.8e-16
229	4.4042	0.02	386	232	386	4	0	0	3.7e-16	2.5e-16
230	4.4242	0.02	387	233	387	4	0	0	2.7e-16	2.5e-16
231	4.4442	0.02	389	234	389	4	0	0	3.5e-16	2.9e-16
232	4.4642	0.02	391	235	391	4	0	0	3.7e-16	3e-16
233	4.4842	0.02	393	236	393	3	0	0	2.9e-16	2.7e-16
-	4.5	- out								
234	4.5042	0.02	394	237	394	3	0	0	3e-16	2.7e-16
235	4.5242	0.02	395	238	395	3	0	0	2.6e-16	2.4e-16
236	4.5442	0.02	397	239	397	3	0	0	3.1e-16	2.8e-16
237	4.5642	0.02	399	240	399	3	0	0	2.9e-16	3e-16
238	4.5842	0.02	400	241	400	4	0	0	2.9e-16	2.6e-16
239	4.6042	0.02	401	242	401	4	0	0	2.8e-16	2.7e-16
240	4.6242	0.02	403	243	403	4	0	0	5.2e-16	4e-16
-	4.625	- out								
241	4.6442	0.02	405	244	405	4	0	0	5.4e-16	2.8e-16
242	4.6642	0.02	407	245	407	4	0	0	3.2e-16	3.3e-16
243	4.6842	0.02	409	246	409	4	0	0	4.9e-16	3.6e-16
244	4.7042	0.02	411	247	411	3	0	0	3.2e-16	3e-16
245	4.7242	0.02	413	248	413	3	0	0	3.7e-16	3.6e-16
246	4.7442	0.02	415	249	415	3	0	0	3.4e-16	3e-16
-	4.75	- out								

```

247      4.7642      0.02      417 250 417      3      0      0 3.7e-16 3.4e-16
248      4.7842      0.02      419 251 419      3      0      0 3.4e-16 2.9e-16
249      4.8042      0.02      420 252 420      4      0      0 3.5e-16 3.4e-16
250      4.8242      0.02      422 253 422      4      0      0 4.2e-16 3.9e-16
251      4.8442      0.02      424 254 424      4      0      0 4.2e-16 2.9e-16
252      4.8642      0.02      426 255 426      4      0      0 5.1e-16 3.8e-16
-        4.875        - out
253      4.8842      0.02      428 256 428      4      0      0 4e-16 2.6e-16
254      4.9042      0.02      430 257 430      4      0      0 4.9e-16 2.6e-16
255      4.9242      0.02      432 258 432      3      0      0 3.4e-16 3.8e-16
256      4.9442      0.02      434 259 434      3      0      0 3.8e-16 2.6e-16
257      4.9642      0.02      436 260 436      3      0      0 3.6e-16 2.8e-16
258      4.9842      0.02      438 261 438      3      0      0 3.4e-16 5.4e-16
-        5          - out
259      5.0042      0.02      440 262 440      3      0      0 3.2e-16 3.8e-16
Escalado de tiempo finalizado
Tiempo de solución: 194 s. (3 minutos, 14 segundos)
Memoria física: 1.88 GB
Memoria virtual: 2.19 GB
Terminó en 13-jul-2020 11:31:19.
----- Resolvedor temporal 1 en Estudio 2 - Calor/Solución 3 (sol3) ----->

```

6.1.1.116.1 Completamente acoplado 1 (fc1)

GENERAL

Descripción	Valor
Resolvedor lineal	Directo, variables de transferencia de calor (ht3)

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
Mixing parameter	0.9
Iteration delay	1

6.1.1.116.2 Directo, variables de transferencia de calor (ht3) (d1)

GENERAL

Descripción	Valor
Resolvedor	PARDISO
Perturbación de pivote	1.0E-13

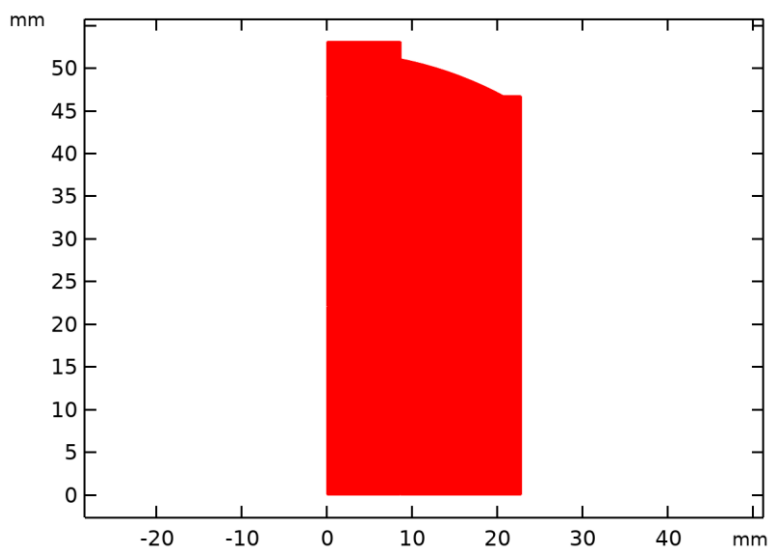
5 Resultados

5.1 CONJUNTOS DE DATOS

5.1.1 Estudio 1 - Sonido/Solución 2

SOLUCIÓN

Descripción	Valor
Solución	Solución 2
Componente	Save Point Geometry 2

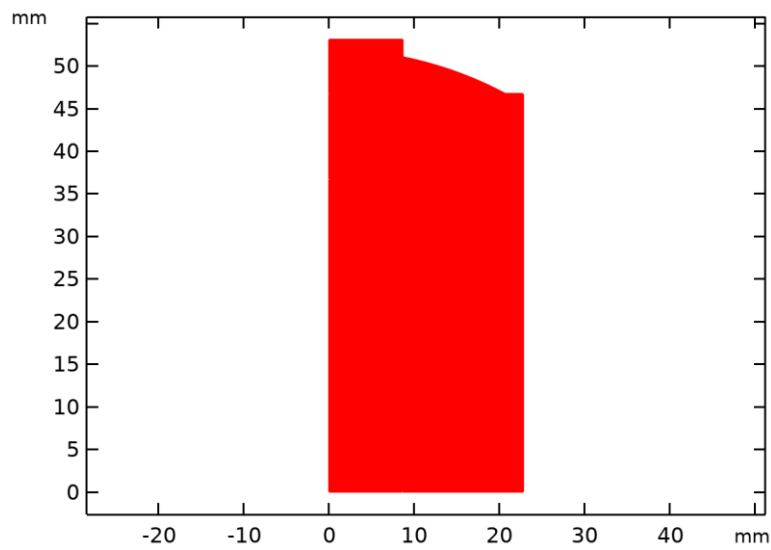


Conjunto de datos: Estudio 1 - Sonido/Solución 2

5.1.2 Estudio 2 - Calor/Solución 3

SOLUCIÓN

Descripción	Valor
Solución	Solución 3
Componente	Save Point Geometry 2



Conjunto de datos: Estudio 2 - Calor/Solución 3

5.1.3 Revolución 2D 1

DATOS

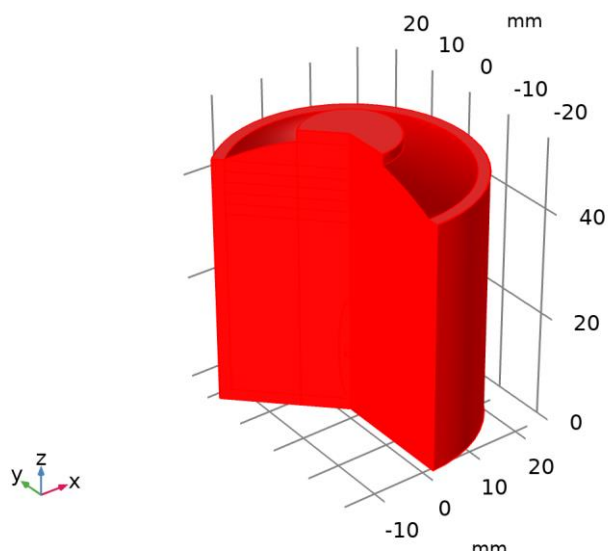
Descripción	Valor
Conjunto de datos	Estudio 1 - Sonido/Solución 2

DATOS DE EJE

Descripción	Valor
Método de entrada de eje	Dos puntos
Puntos	{{0, 0}, {0, 1}}

CAPAS DE REVOLUCIÓN

Descripción	Valor
Ángulo de inicio	-90
Ángulo de revolución	225



Conjunto de datos: Revolución 2D 1

5.1.4 Revolución 2D

DATOS

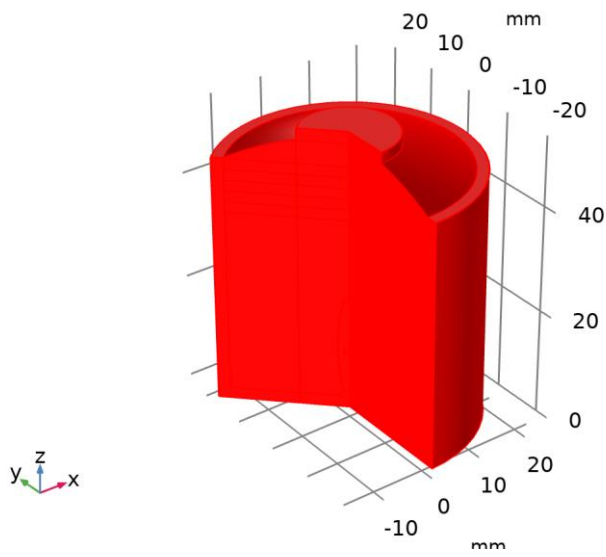
Descripción	Valor
Conjunto de datos	Estudio 2 - Calor/Solución 3

DATOS DE EJE

Descripción	Valor
Método de entrada de eje	Dos puntos
Puntos	{{0, 0}, {0, 1}}

CAPAS DE REVOLUCIÓN

Descripción	Valor
Ángulo de inicio	-90
Ángulo de revolución	225



Conjunto de datos: Revolución 2D

5.2 TABLAS

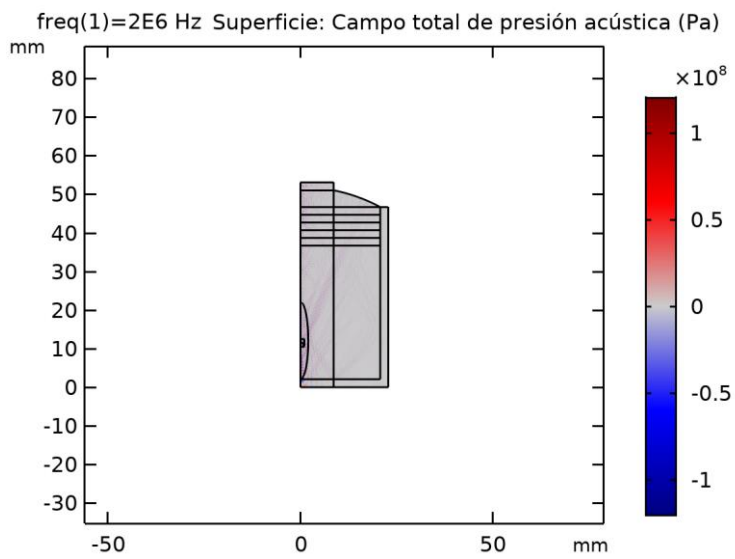
5.2.1 Evaluation 3D

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

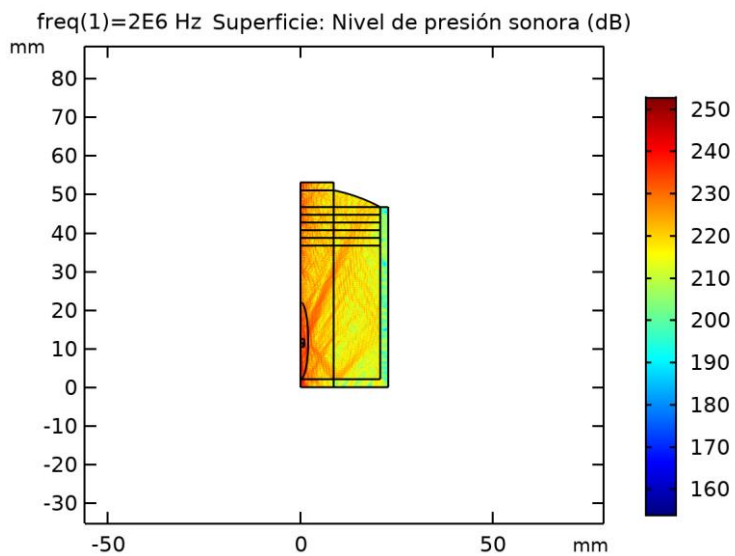
5.3 TRAZAR GRUPOS

5.3.1 Presión acústica (acpr2)



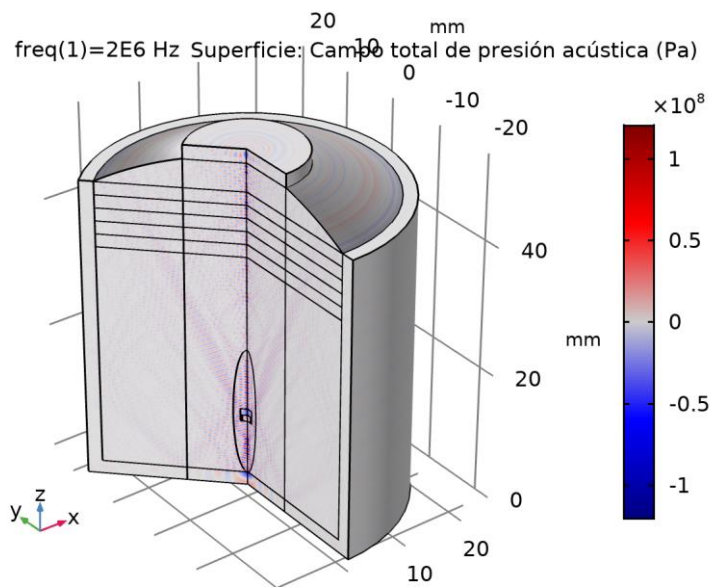
Superficie: Campo total de presión acústica (Pa)

5.3.2 Nivel de presión sonora (acpr2)



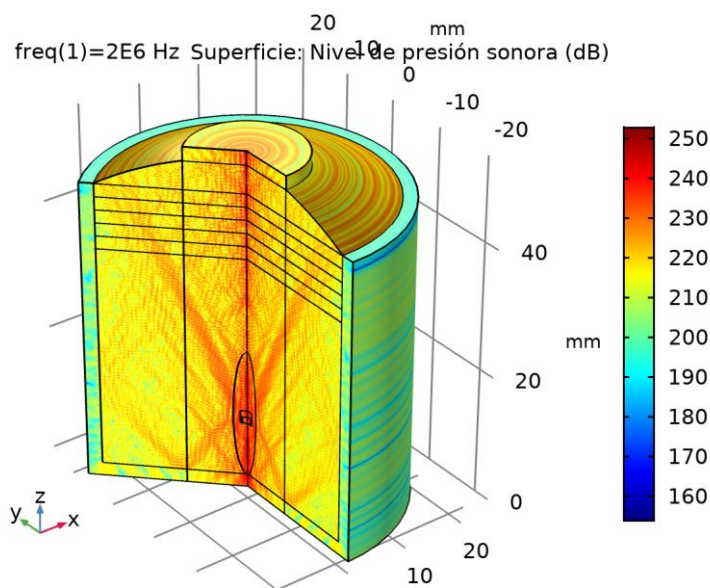
Superficie: Nivel de presión sonora (dB)

5.3.3 Presión acústica, 3D (acpr2)



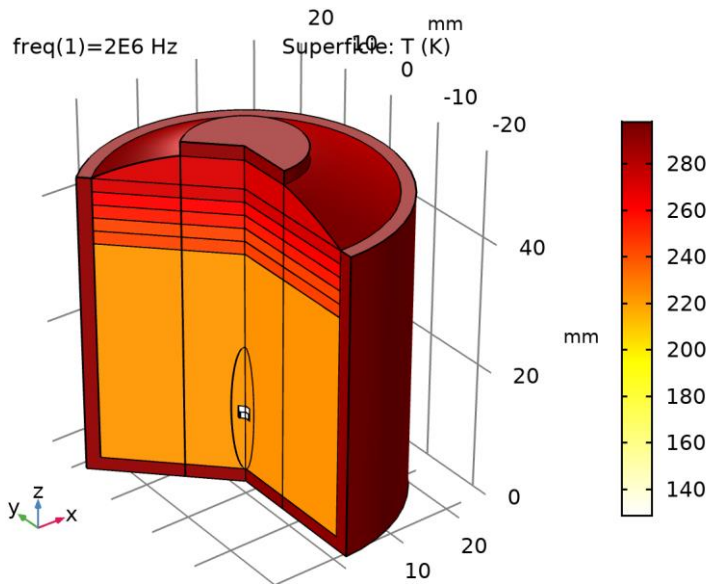
Superficie: Campo total de presión acústica (Pa)

5.3.4 Nivel de presión sonora, 3D (acpr2)



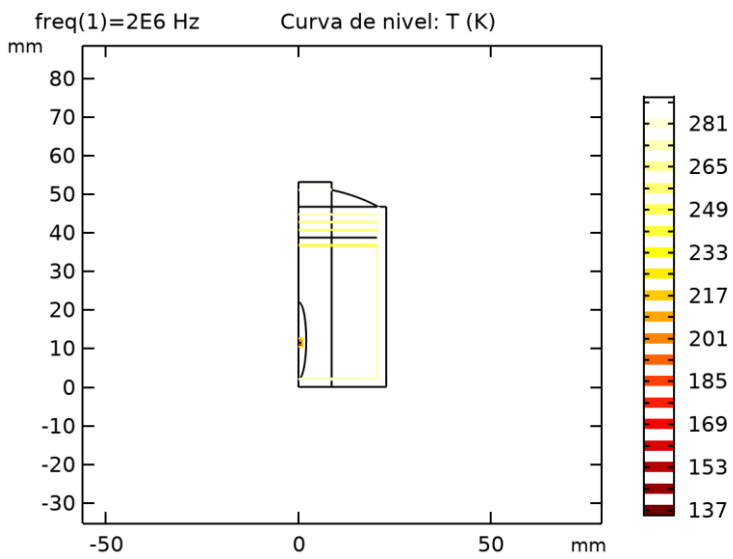
Superficie: Nivel de presión sonora (dB)

5.3.5 Temperatura, 3D (ht)



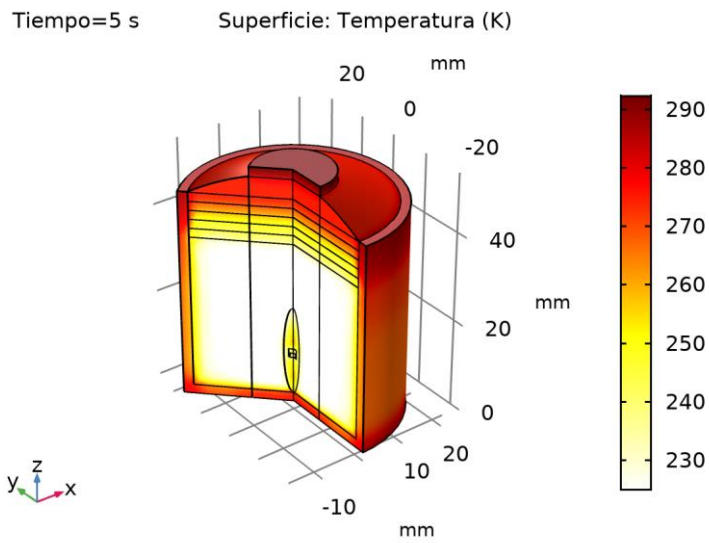
Superficie: T (K)

5.3.6 Contornos isotérmicos (ht)



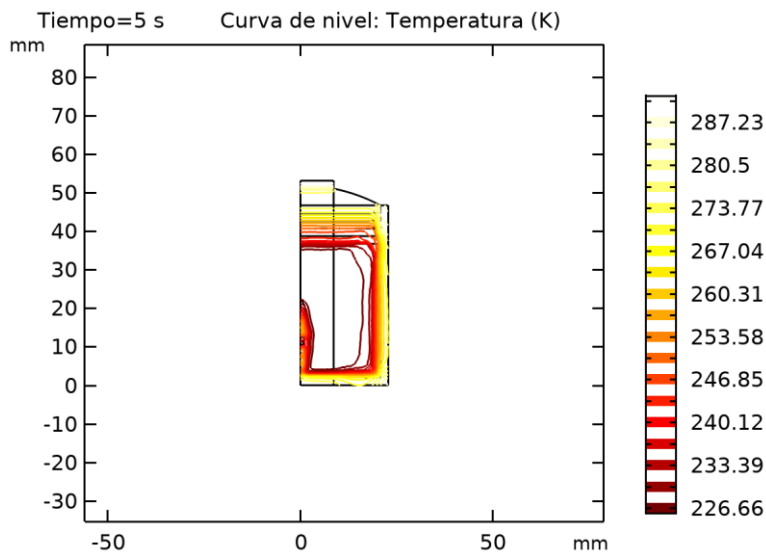
Curva de nivel: T (K)

5.3.7 Temperatura, 3D (ht) 1



Superficie: Temperatura (K)

5.3.8 Contornos isotérmicos (ht) 1



Curva de nivel: Temperatura (K)

5.3.9 Grupo gráfico 1D Contornos Aorta

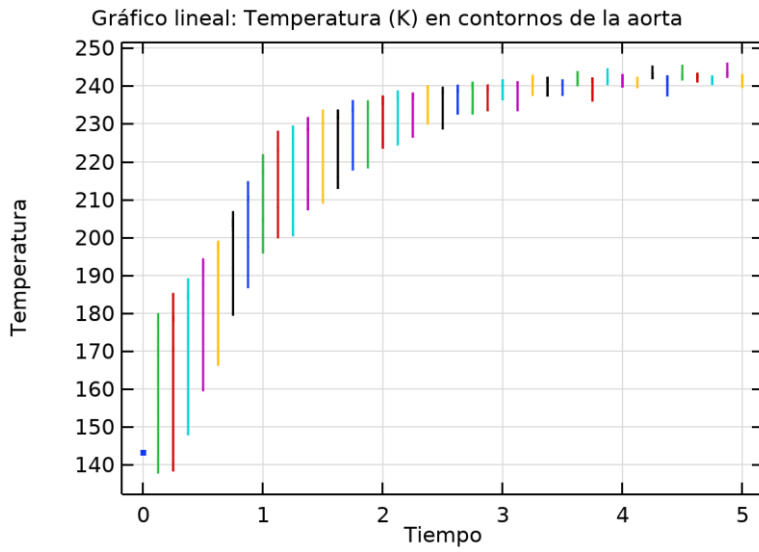
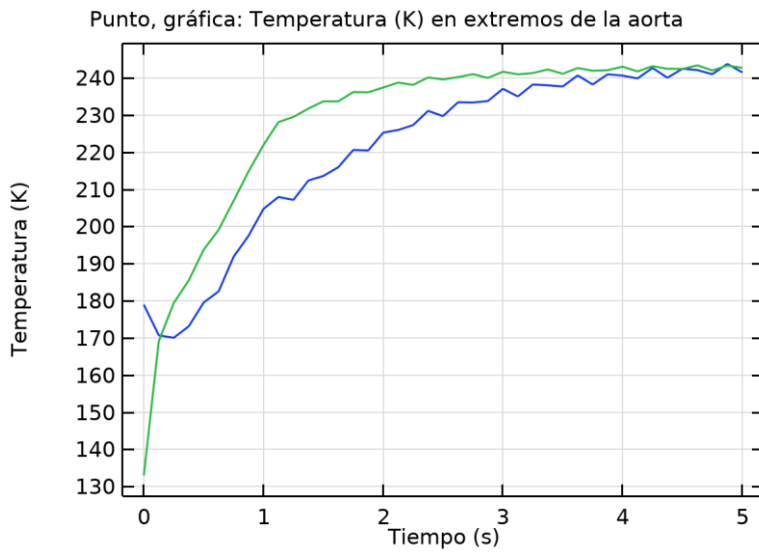


Gráfico lineal: Temperatura (K) en contornos de la aorta

5.3.10 Grupo gráfico 1D Puntos Aorta



Punto, gráfica: Temperatura (K) en extremos de la aorta

5.3.11 Grupo gráfico 1D Eje de revolución

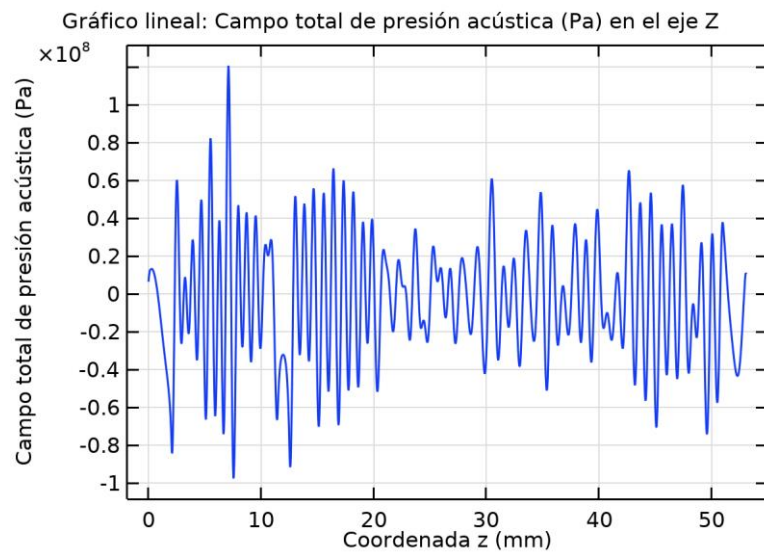


Gráfico lineal: Campo total de presión acústica (Pa) en el eje Z

ANEXO B

En este anexo se incluyen los planos del modelo diseñado para sistema de recalentamiento del tejido biológico seleccionado, siguiendo las consideraciones establecidas en el laboratorio del departamento:

