

DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA PEDAGÓGICA COMO APOYO ACADÉMICO
PARA LA ASIGNATURA DE TRANSFERENCIA DE CALOR UTILIZANDO EL
SOFTWARE MATLAB

CARLOS JAVIER MATIZ RAMIREZ
MARLON DANIEL JOYA TORRES

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
INGENIERIA MECANICA
BUCARAMANGA

2022

DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA PEDAGÓGICA COMO APOYO ACADÉMICO
PARA LA ASIGNATURA DE TRANSFERENCIA DE CALOR UTILIZANDO EL
SOFTWARE MATLAB

CARLOS JAVIER MATIZ RAMIREZ
MARLON DANIEL JOYA TORRES

Trabajo de grado para optar al título de
ingeniero mecánico

Director
Yesid Javier Rueda Ordoñez
PhD Ingeniería Química

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
INGENIERIA MECANICA
BUCARAMANGA

2022

DEDICATORIA

*A mis padres, por su infinito esfuerzo para darme los medios con los cuales
pudiese realizar mis estudios.*

*A mi pareja, que siempre estuvo a mi lado en todo este camino dándome su apoyo
incondicional.*

A mis amigos y compañeros, que de diversos modos me colaboraron y apoyaron.

Carlos Javier Matiz Ramírez.

AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente proyecto expresan su agradecimiento a:

La Universidad industrial de Santander, por darnos la oportunidad de formarnos de manera integral y ser nuestra alma mater.

La Escuela de ingeniería mecánica, por prestarnos un espacio para el aprendizaje y experiencias.

A cada uno de los docentes UIS, que nos orientaron en nuestro camino hacia la búsqueda del conocimiento.

Al profesor Yesid Rueda, por brindarnos su colaboración y conocimiento para el desarrollo de este proyecto.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	11
1. OBJETIVOS.....	12
1.1 OBJETIVO GENERAL	12
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
3. JUSTIFICACIÓN.....	14
4. MARCO DE REFERENCIA.....	15
4.1 MARCO TEORICO	15
4.1.1 Conducción térmica	16
4.1.2 Conducción de calor en estado estacionario	17
4.1.3 Conducción de calor en estado transitorio	17
4.1.4 Convección térmica.....	19
4.1.5 Convección Forzada	19
4.1.6 Convección natural.....	21
4.1.7 Ebullición y condensación.....	22
4.1.8 Intercambiadores de calor.....	23
4.1.9 Radiación térmica	24
4.2 REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE.....	25
4.2.1 SOFTWARE ESPECIALIZADO	25
4.2.2 TRABAJOS DE GRADO	26
4.3 MARCO CONCEPTUAL	28

5. SELECCIÓN DE LOS TEMAS A SIMULAR POR MEDIO DEL DIAGRAMA QFD	30
6. DESARROLLO DE LAS FUNCIONES EN MATLAB	32
6.1 Transferencia de calor por conducción en estado estable con y sin generación de calor.	34
6.2 Transferencia de calor por conducción en superficies extendidas.	35
6.3 Transferencia de calor por conducción en estado transitorio.	37
6.4 Transferencia de calor por convección externa en placas planas.	38
6.5 Transferencia de calor por convección externa en banco de tubos.	39
6.6 Transferencia de calor por convección natural	41
6.7 Transferencia de calor por cambio de fase.	42
6.8 Transferencia de calor por convección interna	43
6.9 Intercambiadores de calor.	44
6.10 Radiación térmica.	45
7. CONSTRUCCIÓN DE LA INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO	46
CONCLUSIONES	49
BIBLIOGRAFÍA	50
ANEXOS	51

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Selección de los temas a simular por medio del diagrama QFD.	31
Figura 2. Diagrama de flujo general para las funciones del modelo.	33
Figura 3. Diagrama de flujo para el modelo de Transferencia de calor por conducción en estado estable.....	34
Figura 4. Diagrama de flujo para el modelo de Transferencia de calor por conducción en aletas.	36
Figura 5. Diagrama de flujo para el modelo de Transferencia de calor por conducción transitoria	37
Figura 6. Diagrama de flujo para el modelo de Transferencia de calor en placas.	39
Figura 7. Diagrama de flujo para el modelo de Transferencia de calor en banco de tubos.	40
Figura 8. Diagrama de flujo para el modelo de Transferencia de calor en recintos cerrado.....	41
Figura 9. Diagrama de flujo para el modelo de Transferencia de calor en cambio de fase.	42
Figura 10. Diagrama de flujo para el modelo de Transferencia de calor por convección interna.	43
Figura 11. Diagrama de flujo para el modelo de Intercambiadores de calor.....	44
Figura 12. Diagrama de flujo para el modelo de Radicación térmica.....	45
Figura 13. Modelo de interfaz gráfica.....	46
Figura 14. Primera mitad de la pantalla.	47
Figura 15. Diseño definitivo de interfaz gráfica de usuario.	48

LISTA DE ANEXOS

pág.

Anexo A. Función desarrollada para el tema: Transferencia de calor por conducción en estado estable con y sin generación de calor.	51
Anexo B. Función desarrollada para el tema: Transferencia de calor por conducción en estado transitorio.	53
Anexo C. Función desarrollada para el tema: Transferencia de calor por conducción en superficies extendidas.	54
Anexo D. Función desarrollada para el tema: Transferencia de calor por convección en placas.	56
Anexo E. Función desarrollada para el tema: Transferencia de calor por convección en banco de tubos.	58
Anexo F. Función desarrollada para el tema: Transferencia de calor por convección natural en resintos.	60
Anexo G. Función desarrollada para el tema: Transferencia de calor por cambio de fase.	62
Anexo H. Función desarrollada para el tema: Transferencia de calor por convección interna forzada.	63
Anexo I. Función desarrollada para el tema: Transferencia de calor en intercambiadores de calor.	65
Anexo J. Función desarrollada para el tema: Transferencia de calor por radiación.	66

RESUMEN

TÍTULO: DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA PEDAGÓGICA COMO APOYO ACADÉMICO PARA LA ASIGNATURA DE TRANSFERENCIA DE CALOR UTILIZANDO EL SOFTWARE MATLAB *

AUTOR: CARLOS JAVIER MATIZ RAMIREZ, MARLON DANIEL JOYA TORRES **

PALABRAS CLAVE: MATLAB, HERRAMIENTA, TEMPERATURA, CALOR, VARIABLES.

DESCRIPCIÓN:

En el presente documento se muestra el proceso de diseño y desarrollo de una herramienta para la asignatura de transferencia de calor, la cual busca ser un apoyo para los docentes en la enseñanza y facilite a los estudiantes el aprendizaje de algunos conceptos fundamentales para la formación de los estudiantes de ingeniería mecánica. Lo anterior se realizará mediante un conjunto de simulaciones que aborden los temas más importantes del curso con la ayuda de la herramienta computacional Matlab.

Inicialmente seleccionaremos los temas a simular mediante un QFD el cual nos permitirá tener una visión general del curso y así poder establecer criterios de selección para determinar cuáles son los temas que merecen un análisis especial con la ayuda de software para ingeniería.

Posteriormente mostraremos el procedimiento de diseño de las simulaciones y su lógica de programación por medio de diagramas de flujo los cuales permitirán comprender mejor las variables para estudiar en cada una de las simulaciones y que resultados se buscan analizar mediante un entorno gráfico.

Finalmente realizaremos la compactación de las simulaciones mediante una aplicación de escritorio para que los docentes puedan utilizarlas desde sus computadoras y así puedan apoyarse en ellas para las cátedras del curso.

*Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de ingeniería mecánica. Director: PhD. Yesid Rueda

ABSTRACT

TITLE: DEVELOPMENT OF A TEACHING TOOL AS ACADEMIC SUPPORT FOR THE SUBJECT OF HEAT TRANSFER USING THE MATLAB SOFTWARE*

AUTHOR: CARLOS JAVIER MATIZ RAMIREZ, MARLON DANIEL JOYA TORRES
**

KEY WORDS: MATLAB, TOOL, TEMPERATURE, HEAT, VARIABLES.

DESCRIPTION:

This document shows the design and development process of a tool for the subject of Heat Transfer, which seeks to be a support for teachers who teach this subject and facilitate students in learning some fundamental concepts in this important area for the formation of mechanical engineering students. The above will be done through a set of simulations that will address the most important topics of the course with the help of the Matlab computational tool.

Initially we will select the topics to be simulated through a QFD which will allow us to have an overview of the course and thus be able to establish selection criteria to determine which are the topics that deserve a special analysis with the help of engineering software.

Later we will show the design procedure of the simulations and their programming logic through flowcharts which will allow us to better understand which are the variables to study in each of the simulations and the results are sought to be analyzed through a graphical environment.

Finally, we will carry out the compaction of the simulations through a desktop application so that teachers can use them from their computers and thus be able to rely on them for the course lectures.

*Degree work

**Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Director: PhD. Yesid Javier Rueda

INTRODUCCIÓN

La transferencia de calor es uno de los pilares fundamentales en la formación del ingeniero mecánico y considerando el acelerado avance de la industria y la tecnología es importante que los conceptos que se imparten en esta cátedra sean adquiridos de una manera sólida y clara, por tal motivo es importante hacer uso de los programas de software para ingeniería presentes con el fin de diseñar herramientas que faciliten la enseñanza de estos cursos fundamentales.

Este proyecto busca desarrollar una herramienta de apoyo docente que permita impartir unas clases más dinámicas e interactivas de algunos de los temas más importantes del curso de transferencia de calor, los cuales son seleccionados por medio de una matriz QFD que permite tener una visión global del curso y sus temas más trascendentes. Con la ayuda del software Matlab se busca realizar un conjunto de simulaciones que permita modelar los fenómenos físicos que se deseen estudiar y comprender, realizando diferentes análisis y observando como las variables del proceso en estudio influyen sobre el mismo fenómeno físico.

El conjunto de simulaciones que se desarrollan en este proyecto será de apoyo en las aulas de clase en las que se imparta la cátedra de transferencia de calor para que el docente pueda hacer uso de estas y apoyarse en ellas para mostrar a los estudiantes una nueva visión de los temas que se estudian en esta importante asignatura.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar un conjunto de simulaciones que abarquen los principales temas de la asignatura de transferencia de calor que sirvan como apoyo académico en el desarrollo del curso.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los temas de la asignatura de transferencia de calor que se intervendrán, para mejorar la pedagogía y el cubrimiento de los conceptos más importantes en la formación del ingeniero mecánico, a través de una matriz QFD que establezca niveles de importancia.
- Identificar en cada tema el fenómeno físico a estudiar y las variables que lo dominan con el fin de parametrizar cada simulación y comprender como interactúan cada una de las variables físicas.
- Programar en el software Matlab las ecuaciones del fenómeno físico y el entorno gráfico donde se presentarán los resultados de las parametrizaciones para cada simulación.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La asignatura de transferencia de calor es uno de los pilares en la formación del ingeniero mecánico; ya que en el diseño de varios equipos industriales tales como calderas, intercambiadores de calor, torres de enfriamiento e incluso en el diseño de tratamientos térmicos es necesario el conocimiento de sus conceptos. Para el diseño de estos equipos y procesos industriales se necesita manejar un gran número de ecuaciones y el software Matlab ha sido una herramienta de apoyo importante puesto que agiliza los cálculos y aporta datos ingenieriles que conlleva tiempo ubicarlos. A partir de un análisis, este proyecto encuentra dos características sobre las que puede realizar un aporte: primero, la falta de optimización del tiempo y, segundo, el apoyo gráfico en los procesos de enseñanza.

En cuanto a la falta de optimización del tiempo. Es posible decir que, en su labor, el docente explica los fundamentos teóricos de la asignatura y realiza ejemplos utilizando Matlab. Sin embargo, a pesar de contar con esta herramienta, el docente debe escribir los códigos que generalmente son extensos y esta programación consume tiempo valioso que puede ser aprovechado. Y en cuanto al apoyo gráfico, se evidencia que en clase el estudiante se enfrenta a un conjunto de ecuaciones que modelan el fenómeno en estudio y que se presentan de forma numérica pero no se ofrece un apoyo gráfico que permita al estudiante apropiarse de los conceptos.

Por eso se propone aprovechar las herramientas que ofrece Matlab para crear un conjunto de códigos que permitan optimizar el tiempo en la programación y presentar un entorno más gráfico de los fenómenos físicos de la transferencia de calor.

3. JUSTIFICACIÓN

El aprendizaje de la asignatura de la transferencia de calor es fundamental para el ingeniero mecánico ya que esta materia es un pilar importante para el diseño y desarrollo de diversos equipos y procesos industriales. Por tal motivo, el desarrollo de simulaciones y experiencias interactivas permitirán que el estudiante de esta materia se apropie de una manera más profunda de los conceptos fundamentales del curso.

Los procesos de enseñanza de esta asignatura se han centrado en realizar enfoques muy conceptuales y aunque esto es muy importante; el estudiante necesita también un entorno más interactivo que le permita ver cada uno de los procesos de transferencia de calor en vivencias prácticas y ver cómo el cambio de las variables más importantes de un fenómeno físico afecta los procesos de diseño, tanto de equipos como de otros procesos industriales que usen dichos conceptos de la transferencia de calor.

Una vez dispuestas, estas simulaciones de los temas más importantes de la materia servirán como herramienta académica para optimizar el tiempo en los procesos de enseñanza, ya que el docente dispondrá de ellas para tener un apoyo pedagógico para mostrar a los estudiantes del curso los temas de una manera más gráfica e interactiva.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1 MARCO TEORICO

La termodinámica es la ciencia que estudia la energía y sus transformaciones, un análisis termodinámico se interesa en la cantidad de transferencia de calor conforme un sistema pasa por un proceso; es decir la energía que se requiere transferir para que un sistema pase de un estado de equilibrio a otro. Mientras que la transferencia de calor es la ciencia que se encarga de estudiar la rapidez de la transferencia de energía térmica debido a una diferencia de temperaturas entre dos cuerpos materiales¹. Se puede concluir entonces, que un análisis termodinámico busca dar respuesta a la pregunta ¿Qué cantidad de energía es necesaria para realizar un proceso? y la transferencia de calor busca responder la pregunta ¿Qué tiempo tardará en ocurrir dicho proceso?

Los análisis de transferencia de calor también buscan dar respuesta a como varia la temperatura con respecto a la posición del cuerpo en estudio, por lo tanto, en la transferencia de calor se puede hacer un análisis respecto a la posición (unidimensional, bidimensional, tridimensional) o también respecto al tiempo (estado estable o transitorio).

La transferencia de calor se puede dar mediante 3 mecanismos diferentes los cuales son; la conducción térmica, la convección y la radiación. Para que haya un proceso de transferencia de calor se requiere de una diferencia de temperaturas independientemente del medio en el que se genere. A continuación, definiremos cada uno de los mecanismos de transferencia de calor y sus conceptos fundamentales

¹ CENGEL, Y. A. (2007a). Heat and Mass Transfer: A Práctica Approach (3rd ed.). McGraw-Hill. p.2.

4.1.1 Conducción térmica

La conducción térmica se puede definir como el intercambio de energía que ocurre de la región de mayor temperatura hacia la de menor temperatura por el movimiento cinético o el impacto directo de las moléculas como en los fluidos en reposo o como el arrastre de electrones en los metales².

La ley básica de la conducción de calor es basada en observaciones experimentales y se conoce como la ley de Fourier, la cual describe el flujo de calor unidimensional a través de una pared plana homogénea. La ley de Fourier establece que el calor que fluye por una superficie plana es directamente proporcional al área de la transferencia de calor y a la diferencia de temperaturas a través de esta, pero es inversamente proporcional al espesor de esa superficie³.

La conducción de calor se puede clasificar en conducción en estado estable o conducción en estado transitorio dependiendo de si la temperatura varía con el tiempo o no, y también se puede clasificar en conducción unidimensional o multidimensional dependiendo de si la temperatura del cuerpo en estudio varía con la posición dentro del mismo.

La ecuación que rige todas estas consideraciones de este fenómeno físico es la ecuación general de la conducción de calor; la cual puede ser simplificada dependiendo del tipo de análisis que se necesite realizar o dependiendo de las condiciones en que se encuentre el sistema a estudiar. A continuación, se darán algunos conceptos fundamentales de cada una de estas clasificaciones de la conducción de calor.

² INCROPERA, F. P., & DeWitt, D. P. (1999). Fundamentos de transferencia de calor. Pearson Educación.

³ CENGEL. Op. cit. p. 19.

4.1.2. Conducción de calor en estado estacionario

La conducción de calor en estado estacionario puede dividirse en dos partes dependiendo si hay generación de calor o no en el sistema a analizar, ya que en algunos procesos hay una ganancia de energía térmica debido a las transformaciones de otros tipos de energía como cinética o eléctrica en calor.

Todas estas subdivisiones del tema son algunas simplificaciones de la ecuación general de la conducción de calor; lo que quiere decir que no es necesario abarcar por separado los temas, si no entender bien como se usa la ecuación generalizada en cada caso.

Esta parte del curso tiene por objetivo definir los conceptos de resistencia térmica y realizar una analogía de los circuitos eléctricos con algunos problemas prácticos de transferencia de calor; así como resolver problemas de conducción que involucren geometrías definidas tales como son geometrías cilíndricas, esféricas o rectangulares.

El diseño de las superficies aleteadas para mejorar la transferencia de calor en elementos como radiadores y dispositivos electrónicos, así como definir la efectividad que tienen las mismas, también son tema de estudio en esta parte del curso. Diseñar aislamientos térmicos e identificar cuando son efectivos y cuando no, son otras de las aplicaciones industriales de esta parte de la asignatura.

4.1.3 Conducción de calor en estado transitorio

En esta parte del curso se estudian los problemas de transferencia de calor en los cuales la temperatura varia con el tiempo y con la posición, anteriormente se estudiaron problemas en un régimen estacionario, es decir que no variaba la

temperatura con el paso del tiempo y el cambio en la temperatura se daba solo a lo largo de una dimensión.

Los análisis de los procesos transitorios de transferencia de calor se pueden simplificar cuando la temperatura del cuerpo en estudio no varía con la posición dentro del mismo, a este tipo de sistemas se les denomina sistemas concentrados o de resistencia interna despreciable, y se puede llevar a cabo este análisis si la transferencia de calor dentro del cuerpo es nula es decir que no hay gradientes de temperatura dentro del mismo, o que el cuerpo presenta una conductividad térmica muy alta. La condición para que este análisis se pueda realizar se determina mediante la ayuda de un parámetro adimensional llamado el número de Biot el cual se define como la razón entre la resistencia interna de un cuerpo a la conducción de calor con respecto a su resistencia externa a la convección de calor⁴.

El análisis de los sistemas en los cuales la temperatura del cuerpo varía tanto con el tiempo como con la posición son un poco más extensos y depende de soluciones analíticas que pueden tener cierto grado de complejidad. A este tipo de análisis se les denomina análisis de conducción transitoria con efectos espaciales y dichos análisis se pueden realizar de manera unidimensional como de manera multidimensional por medio de la solución producto.

Los problemas prácticos que pueden ser solucionados por medio de la conducción transitoria de calor son problemas en los cuales importa el tiempo que tarda un proceso o la temperatura que alcanzará algún sistema pasado un tiempo. Este tipo de problemas es muy frecuente en la práctica industrial en el campo de los tratamientos térmicos y los procesos de calentamiento o enfriamiento de diversos equipos industriales.

⁴ Ibid. p. 217.

4.1.4 Convección térmica

Se había dicho que la conducción constituía el mecanismo de transferencia de calor a través de un sólido o un fluido en reposo. Ahora bien, la convección constituye el mecanismo de transferencia de calor a través de un fluido en presencia de un movimiento masivo de este⁵.

La convección se clasifica en convección forzada o convección natural dependiendo en como inicia el movimiento del fluido, en la convección forzada se obliga a que el fluido fluya sobre una superficie o en un tubo por medio externos como un ventilador o una bomba. En la convección natural el movimiento del fluido se da por la diferencia de densidades entre el fluido frío y el fluido caliente.

La ecuación que describe la tasa de transferencia de calor por convección es la ley de enfriamiento de Newton, la cual expresa que el calor transferido mediante el mecanismo de convección es proporcional al área superficial y a la diferencia de temperaturas. La constante de proporción se llama coeficiente de transferencia de calor por convección y no es una propiedad del fluido, sino que es una función de diversos parámetros como los son la misma naturaleza del fluido, la manera en la que fluye es decir el régimen en el que se encuentre y la forma de frontera.

4.1.5 Convección Forzada

La convección forzada se presenta cuando el movimiento del fluido no se da de una manera natural si no que se hace fluir por un elemento externo como lo puede ser una bomba o un ventilador. La convección forzada puede ser externa o interna dependiendo si el flujo es externo o interno hacia o desde una superficie.

⁵ Ibid. p. 355.

En el diario vivir se pueden presentar varios ejemplos prácticos de la convección forzada, al soplar los alimentos que vamos a consumir, o al encender un ventilador para refrescarnos se presenta este mecanismo de transferencia de calor, el cual también tiene aplicaciones industriales como por ejemplo el enfriamiento del motor de una motocicleta o cuando se enciende el ventilador de las computadoras para bajar la temperatura de los dispositivos electrónicos.

La convección forzada externa se da cuando el fluido fluye de manera libre sobre una superficie, lo que permite que la capa límite sobre el cuerpo sólido se desarrolle de una manera indefinida. En la convección forzada interna el fluido está confinado a fluir dentro de las superficies interiores del ducto y por consiguiente existe un límite en el crecimiento de la capa límite⁶.

En la convección forzada externa e interna se tienen presente las condiciones de flujo, es decir si el flujo está en régimen estacionario, transitorio o turbulento; así como las propiedades del mismo como lo son la viscosidad, la densidad y el número de Prandtl, esto con el fin de determinar el número de Nusselt por medio de correlaciones que dependen de la configuración geométrica del flujo; todo esto con el fin de determinar el coeficiente de transferencia de calor y poder calcular caídas de presiones y potencias de bombeo según el problema que se presente.

La convección forzada interna y externa tienen muchas aplicaciones en el campo de la refrigeración industrial y el diseño de equipos tales como intercambiadores de calor, radiadores, condensadores, evaporadores, etc.

⁶ Ibid. p. 395.

4.1.6 Convección natural

En la convección forzada se dijo que el fluido se hacía fluir sobre una superficie mediante una bomba o un ventilador, en la convección natural el movimiento del fluido se da por las fuerzas de empuje producto de las diferencias de densidades en el fluido. Este tipo de convección presenta un coeficiente de transferencia de calor más bajo que en la convección forzada ya que este coeficiente depende de la velocidad con la que se mueva el fluido sobre la superficie y las velocidades de movimiento en la convección natural son bajas típicamente menos de 1 m/s⁷.

El número de Reynolds determina el régimen de flujo en el que se encuentra el fluido en la convección forzada; en la convección natural el régimen de flujo se determina mediante el número de Grashof, el cual es una relación entre las fuerzas de empuje y las fuerzas viscosas que actúan sobre el fluido⁸.

La determinación del coeficiente de transferencia de calor en la convección natural se determina de una manera similar a como se determinaba en la convección forzada; las correlaciones del número de Nusselt en la convección natural están en función del número de Rayleigh, el cual es el producto del número de Grashof y en número de Prandtl; estas correlaciones del número de Nusselt están en función de la configuración geométrica de la superficie y del régimen de flujo.

Las aplicaciones a nivel industrial de la convección natural son amplias. El diseñar equipos que se enfríen mediante este mecanismo resulta más económico que si se enfriaran mediante convección forzada ya que en la convección natural no hay presencia de un motor para impulsar el fluido lo que representa un ahorro energético. El diseño del espaciamiento entre aletas para la refrigeración de

⁷ Ibid. p. 503.

⁸ Ibid. p. 509.

dispositivos también se lleva a cabo mediante la convección natural, así como el cálculo del tiempo de enfriamiento de una pieza después de un tratamiento térmico que se enfríe solamente dejándolo expuesto al aire, la transferencia de calor entre las piezas que están contenidas en un horno al comportarse este como un recinto cerrado a una temperatura determinada. Estos son solo algunos ejemplos de las aplicaciones que tiene la convección natural en la industria.

4.1.7 Ebullición y condensación

Los procesos de ebullición y condensación se pueden definir como formas de transferencia de calor por convección puesto que están relacionadas con el movimiento del fluido, el cálculo de la tasa de transferencia de calor que se da a través de estos dos procesos son dependientes del calor latente de vaporización y de la tensión superficial entre la interfaz líquido vapor y las propiedades en cada fase⁹.

En estas formas de convección se presenta un coeficiente de transferencia de calor más alto debido a la turbulencia que se presenta en las burbujas en los procesos de cambio de fase, la idea de este capítulo es dar a conocer las partes de la curva de ebullición así como conocer los diferentes tipos de ebullición que se pueden presentar, y conocer el mecanismo físico de la condensación para poder calcular las tasas de transferencia de calor en los procesos de cambio de estado de líquido a vapor y de vapor a líquido.

En el diseño de equipos tales como evaporadores y condensadores es necesario conocer las tasas de transferencia de calor que se van a manejar en estos procesos de cambio de estado para hacer un correcto diseño de estos, esta es una de las aplicaciones industriales más importantes de este tema.

⁹ Ibid. p. 561.

4.1.8 Intercambiadores de calor

Los intercambiadores de calor son dispositivos que sirven para facilitar el intercambio de calor entre dos fluidos que están a diferente temperatura sin que estos fluidos se mezclen entre sí¹⁰.

La transferencia de calor entre los fluidos se da por los mecanismos de convección interna, externa y por la conducción de calor entre las paredes que los separa. Para facilitar los cálculos de la transferencia de calor a través del intercambiador resulta conveniente trabajar con un coeficiente global de transferencia de calor, el cual toma en cuenta diversos efectos sobre dicha transferencia; efectos tales como el factor de ensuciamiento producto de los sedimentos que se almacenan en las paredes de los tubos del intercambiador.

El diseño de estos equipos se puede dar por dos métodos los cuales son el método de la LMTD el método de la efectividad – NTU, dependiendo si se conocen o no las temperaturas tanto a la entrada como a la salida del intercambiador de calor.

Hay diferentes maneras de clasificar los intercambiadores de calor, y diferentes tipos de intercambiadores de calor puesto que hay una gran variedad de aplicaciones en las cuales están presentes estos dispositivos y cada una de ellas requiere de un intercambiador particular. Estos equipos son ampliamente usados en la industria en los procesos de enfriamiento, calefacción e incluso en los procesos de generación de energía.

¹⁰ Ibid. p. 609.

4.1.9 Radiación térmica

Se ha hablado ya sobre dos mecanismos de transferencia de calor el cual son la conducción y la convección térmica los cuales están relacionados a la naturaleza de los medios que intervienen, el tercer mecanismo de transferencia de calor es la radiación, en el cual no es necesario que haya un medio de transporte como si lo era en los dos mecanismos anteriores, ya que la transferencia de calor por radiación puede presentarse en el vacío, lo vemos claramente en la manera en que el sol transfiere calor a la superficie terrestre aunque en medio de estas dos superficies se encuentre el vacío del espacio.

La radiación térmica es solamente una parte del espectro de las ondas electromagnéticas en una determinada franja de longitudes de onda y se define como la propagación de una colección de paquetes discretos llamados fotones o cuantos¹¹. Todo cuerpo emite radiación y cada superficie dependiendo de su naturaleza emite, absorbe y refleja la radiación que incide sobre ellas.

La radiación emitida por un cuerpo obedece a la ley de Stefan- Boltzmann, la cual dice que la tasa de radiación térmica que emite un cuerpo es proporcional la emisividad del cuerpo, el área del cuerpo y la temperatura de este a la cuarta potencia; la constante de proporcionalidad se define como la constante de Stefan- Boltzmann¹².

La transferencia de calor por este mecanismo depende de la cantidad de radiación que incide sobre él y la cantidad de calor que emita, teniendo en cuenta un factor geométrico llamado el factor de visión.

¹¹ Ibid. p. 665.

¹² Ibid. p. 663.

El campo de aplicación de la transferencia de calor por radiación está presente en las energías renovables tales como la energía fotovoltaica. El diseño de los paneles solares, así como el cálculo de la energía que se puede obtener de estos, se obtienen de análisis de transferencia de calor por radiación térmica.

4.2 REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE

4.2.1 SOFTWARE ESPECIALIZADO

Recientemente con la facilidad del acceso a las herramientas TIC y ante la necesidad de buscar soluciones prácticas a problemas de ingeniería surge la necesidad de softwares que faciliten los cálculos y el diseño ingenieril. Cuando se habla de transferencia de calor es posible encontrar varias herramientas, una de esas es Heat Transfer Today - Educational Software for Heat and Mass Transfer, en el cual se encuentran 11 modelos fundamentales en transferencia de calor, y un total de 20 mini módulos. Los modelos fueron desarrollados por medio de hojas de Excel y el software Visual Basic para la interfaz gráfica. Estas simulaciones presentadas de una forma más dinámica al ser gráficas logran un mayor impacto en la interpretación de los resultados por parte del usuario.

Así mismo, de una forma más especializada el software COMSOL Multiphysics ofrece un módulo llamado Heat Transfer Module con el cual podremos analizar los fenómenos de conducción, convección y radiación. El módulo de transferencia de calor incluye un conjunto completo de funciones para investigar diseños térmicos y los efectos de las cargas de calor. Puede modelar los campos de temperatura y los flujos de calor en dispositivos, componentes y edificios. Este software permite implementar modelos realistas de problemas de ingeniería, tales como los intercambiadores de calor, y modificando sus parámetros de operación encontrar el diseño más adecuado al problema de ingeniería aplicado.

4.2.2 TRABAJOS DE GRADO

En el trabajo de grado ADECUACIÓN DEL BANCO PARA LA COMPRABACIÓN DE LAS LEYES BASICAS DE LA RADIACIÓN EN EL LABORATORIO DE TRANSFERENCIA CALOR (Muñoz E, & Rueda, J. 2013, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga) se desarrolló un banco de laboratorio donde se lleva la teoría del fenómeno de la radiación aprendida en las clases de transferencia de calor a la práctica. Para el banco se desarrollaron algunas prácticas con su respectivo software para la fácil interpretación de los resultados, con el desarrollo de las prácticas se buscó complementar la teoría vista en clases por medio de implementación de herramientas pedagógicas. Las prácticas fueron desarrolladas y programadas en paneles virtuales mediante el software de monitoreo y adquisición de datos LabVIEW

Por lo que se refiere a la industria no solo colombiana, los intercambiadores de calor hacen parte fundamental de lo que compone a un ingeniero mecánico, un correcto dominio de este tema puede brindar muchas oportunidades laborales en la industria. En consideración a lo anterior tres estudiantes desarrollaron un trabajo de grado denominado Metodología de la indagación aplicada a la enseñanza del diseño de intercambiadores de calor tipo Coraza-Tubo usando un OVA (Ardila L. & Carrión S. & Ramírez C. 2018. Asociación Colombiana de facultades de ingeniería, Bogotá), en el cual proponen un nuevo método de enseñanza-aprendizaje, basado en tres conceptos o etapas, indagación, diseño y aplicación del OVA. Por medio de una práctica guiada por el docente y la implementación de un software computarizado como lo es Excel se lleva la teoría explicada por el profesor a una práctica guiada donde el estudiante desarrolla competencias en el campo de diseño de intercambiadores de calor de coraza y tubo.

Por otra parte, en Argentina en el trabajo de grado LABORATORIO DE TRANSFERENCIA DE CALOR PARA LA MAESTRÍA EN ENERGÍAS

RENOVABLES (Condorí M. & Gea M. & Saravia L. 2003. Universidad Nacional de Salta, Salta) por medio del software libre SIMUSOL se desarrollaron tres laboratorios de refuerzo en diversos temas del curso de transferencia de calor, cada práctica se realizó por medio del método de circuitos térmicos. Cada práctica permitió aplicar los conceptos básicos en los procesos de transferencia de calor vistos en clases y llevados a un entorno gráfico y controlado donde se pone a prueba los conceptos de transferencia de calor ya estudiados con anterioridad.

4.3 MARCO CONCEPTUAL

Termodinámica: es la ciencia encargada de estudiar la energía, así como sus diferentes transformaciones.

Transferencia de calor: Es la ciencia básica que trata de la rapidez de transferencia de energía térmica.

Conducción térmica: Es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas.

Conductividad térmica: Es una propiedad de cada material que se define como la capacidad que tiene dicho material para conducir el calor.

Numero de biot: es el cociente entre la resistencia interna de un cuerpo a la conducción de calor con respecto a su resistencia externa a la convección de calor.

Convección: es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacente que están en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos.

Numero de Nusselt: es un numero adimensional que representa el mejoramiento de la transferencia de calor por convección a través de una capa de fluido en relación con la conducción de la misma capa.

Numero de Prandtl: es un numero adimensional cuya que representa la relación entre la difusividad molecular debido a la cantidad de movimiento y la difusividad térmica.

Numero de Grashof: es un parámetro adimensional el cual determina el régimen el que se encuentra un flujo en la convección natural, y representa la razón entre la fuerza de empuje y la fuerza viscosa que actúa sobre un fluido.

Radiación térmica: es una franja del espectro electromagnético en el que se dan los procesos de transferencia de calor como resultado de transiciones energéticas de las moléculas, los átomos y electrones de una sustancia.

Factor de visión: es un factor geométrico que representa la cantidad de radiación que sale de una superficie y choca con otra.

5. SELECCIÓN DE LOS TEMAS A SIMULAR POR MEDIO DEL DIAGRAMA QFD

La estrategia que se uso para poder tener una visión general de los temas mas importantes en el curso de transferencia de calor para poder así realizar simulaciones que permitieran comprender mejor sus conceptos fue el diagrama de QFD (Quality function deployment) por sus siglas en inglés, o despliegue de la función de calidad. Esta estrategia consiste en desplegar los requerimientos más importantes para poder realizar una comparación global de una serie de alternativas disponibles para así poder realizar una mejora en un diseño o tomar una decisión. En nuestro caso seleccionamos una serie de requerimientos como lo son la aplicación a nivel industrial que pueda tener el concepto a estudiar, la importancia de estudio dentro del curso, la complejidad que se pudiera tener al momento de realizar un análisis matemático, la necesidad de realizar un análisis de tipo grafico que pudiese tener el tema y la aplicabilidad de diseño que pueda tener el desarrollo de la simulación.

Se estableció una calificación dentro de un rango de cero a cinco para poder calificar cada uno de los anteriores criterios establecidos y así poder comparar cuales temas merecían un análisis por medio de software para ingeniería. El diagrama QFD que se obtuvo con los temas del curso como alternativas de diseño y los requerimientos anteriormente mencionados como criterios de comparación fue el siguiente.

Figura 1. Selección de los temas a simular por medio del diagrama QFD.

TEMAS	1. RELEVANCIA EN LA INDUSTRIA	2. RELEVANCIA DENTRO DEL CURSO	3. COMPLEJIDAD EN EL ANÁLISIS NÚMÉRICO	4. NECESIDAD EN EL ANÁLISIS GRÁFICO DE LOS RESULTADOS	5. APLICABILIDAD DE LA SIMULACIÓN AL DISEÑO	TOTAL	%
	CONDUCCIÓN						
Conducción de calor en estado estable en paredes	2	3	1	4	1	11	7%
Conducción de calor en cilindros y esferas	3	2	2	3	2	12	8%
Radio crítico de aislamiento	3	2	1	1	2	9	6%
Transferencia de calor desde superficies extendidas	5	5	3	4	5	22	14%
Análisis de sistemas concentrados	2	3	2	1	2	10	7%
Conducción de calor en régimen transitorio en paredes planas grandes, cilindros largos y esferas con efectos espaciales	2	2	1	2	2	9	6%
Conducción de calor en régimen transitorio	2	3	3	2	2	12	8%
Conducción de calor en régimen transitorio en sistemas multidimensionales	2	1	2	2	3	10	7%
CONVECCIÓN							
Convección externa forzada con flujo paralelo sobre placas planas	2	2	2	3	2	11	7%
Convección externa forzada con flujo a través de cilindros y esferas	2	1	1	2	2	8	5%
Convección externa forzada con flujo a través de bancos de tubos	5	5	3	2	5	20	13%
Convección interna forzada en flujo laminar en tubos	2	2	2	2	1	9	6%
Convección interna forzada en flujo turbulento en tubos	1	2	3	2	2	10	7%
Convección natural dentro de recintos cerrados	4	3	4	2	3	16	10%
Convección natural y forzada combinadas	4	3	3	2	3	15	10%
Ebullición en estanque	1	2	1	2	1	7	5%
Ebullición en flujo	1	2	2	2	1	8	5%
Condensación en película dentro de tubos horizontales	3	2	2	1	1	9	6%
Diseño de intercambiadores por el método de la LMTD	5	5	3	3	5	21	14%
Diseño de intercambiadores por el método de la E-NTU	5	5	3	3	5	21	14%
RADIACIÓN TÉRMICA							
Transferencia de calor por radiación: superficies negras	1	2	2	2	1	8	5%
Transferencia de calor por radiación: superficies grises y difusas	4	4	3	2	3	16	10%
Blindajes contra la radiación y el efecto de la radiación	3	2	1	2	2	10	7%

Fuente. Autores.

Con los temas que se seleccionaron en el diagrama QFD se procedió a diseñar las interfaces gráficas analizando las variables más importantes de cada uno de los fenómenos físicos que se pretenden estudiar.

6. DESARROLLO DE LAS FUNCIONES EN MATLAB

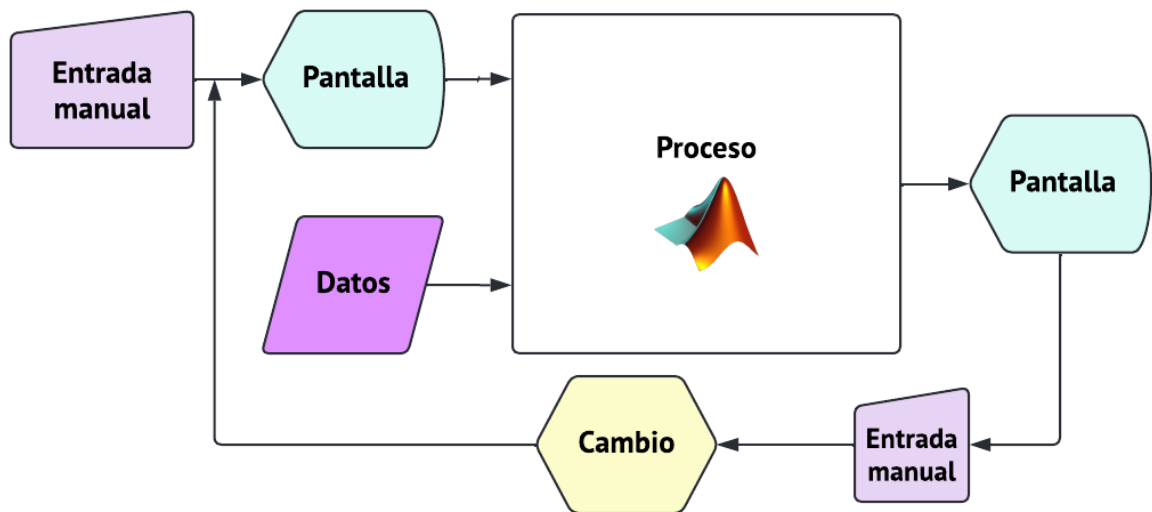
Del proceso el análisis de los temas desarrollados en la asignatura de transferencia de calor, mediante la matriz QFD, se seleccionaron los siguientes 10 temas a simular:

- Transferencia de calor por conducción en estado estable con y sin generación de calor.
- Transferencia de calor por conducción en estado transitorio.
- Transferencia de calor por conducción en superficies extendidas.
- Transferencia de calor por convección externa en placas planas.
- Transferencia de calor por convección externa en banco de tubos.
- Transferencia de calor por convección natural
- Transferencia de calor por convección interna.
- Transferencia de calor por cambio de fase.
- Intercambiadores de calor.
- Radiación térmica.

Para cada uno de estos temas se desarrolló una función en Matlab que permita obtener la solución grafica del modelo a estudiar, por ende, cada función dependerá de una serie de valores de entrada, parámetros y constantes que se procesarán en la función desarrollada y de la cual se obtendrán, como resultado, la respuesta al modelo en forma de valores numéricos y gráficas de comportamiento, como lo muestra el siguiente diagrama de flujo de la figura 2, donde las entradas manuales se refieren a los datos ingresados por el usuario en la interfaz gráfica(pantalla), los parámetros y constantes ingresan desde el módulo de datos pues estos ingresan a la función internamente sin ser mostrados en la pantalla inicialmente.

Los parámetros se inicializan en un valor constante, y luego del primer resultado de la función, se muestran en la pantalla para que el usuario pueda interactuar a partir de la variación de estos y visualizar como afecta al modelo, por ende, estos valores alterados reingresan junto con los datos iniciales y se observa el cambio en la pantalla.

Figura 2. Diagrama de flujo general para las funciones del modelo.



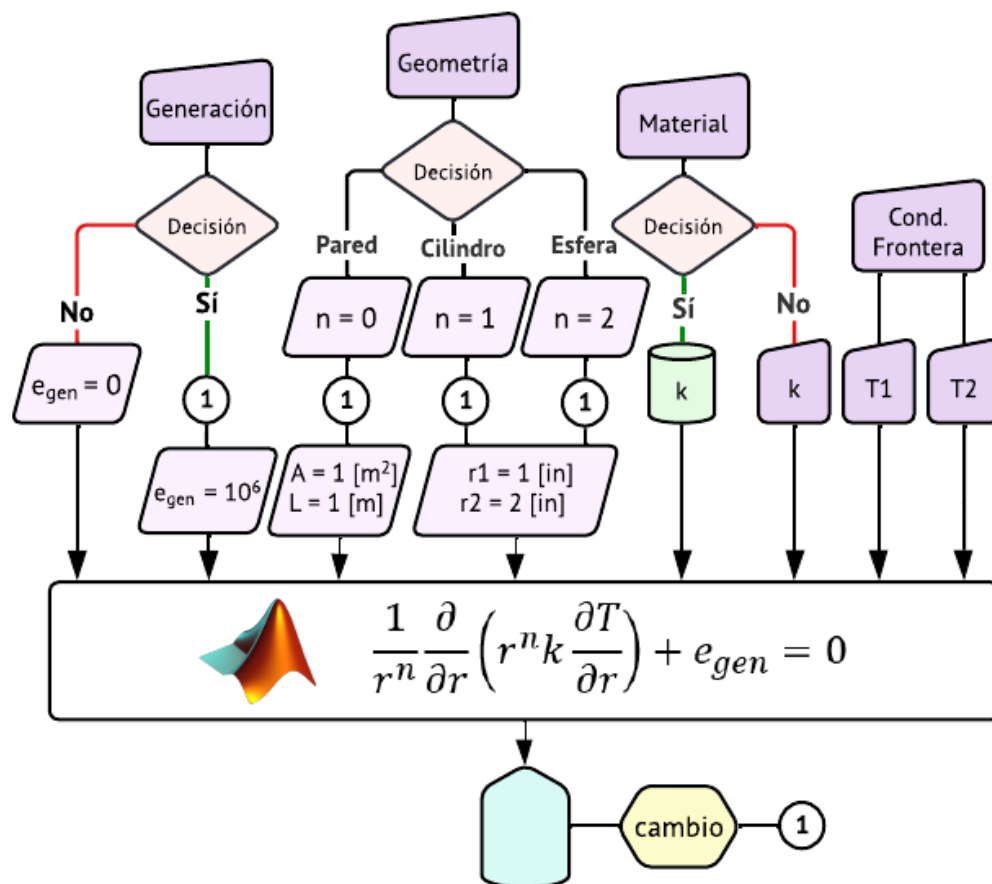
Fuente. Autores.

Para conocer en detalle el funcionamiento de cada función de Matlab desarrollada para cada modelo, se presentarán a continuación los diagramas de flujo para cada modelo que definen el flujo de datos desde y hacia la función o funciones necesarias para describir cada modelo físico, adicionalmente, se agregaron en los anexos de este documento el desarrollo en código de cada una de las funciones.

6.1 Transferencia de calor por conducción en estado estable con y sin generación de calor.

Las variables de entrada que se definieron para este modelo fueron: el material del cual está hecho la superficie sobre la cual se está conduciendo el calor, la geometría de dicha superficie, las temperaturas a los extremos de cada superficie y la generación de calor que puede existir dentro del cuerpo estudiado; estas variables se ven reflejadas en el diagrama de flujo de la figura 3.

Figura 3. Diagrama de flujo para el modelo de Transferencia de calor por conducción en estado estable.



Fuente. Autores

Como puede observarse en la figura 3, la función desarrollada en Matlab soluciona una ecuación diferencial de segundo grado que depende de las constantes n , k y e_{gen} . n se define a partir de la geometría del cuerpo estudiado, siendo $n=0$ para una pared plana, $n=1$ para un cilindro y $n=2$ para una esfera.

El material define el valor de k , el cual se encuentra establecido en una base de datos interna; también es posible ingresar valores para k , diferentes a los que se encuentran consignados en dicha base. Las temperaturas en los extremos definen las dos condiciones de frontera necesarias que determinan la distribución de temperatura a través del cuerpo estudiado. Por último, el valor de e_{gen} es mayor que 0 si en el modelo se incluye la generación de calor y 0 si no.

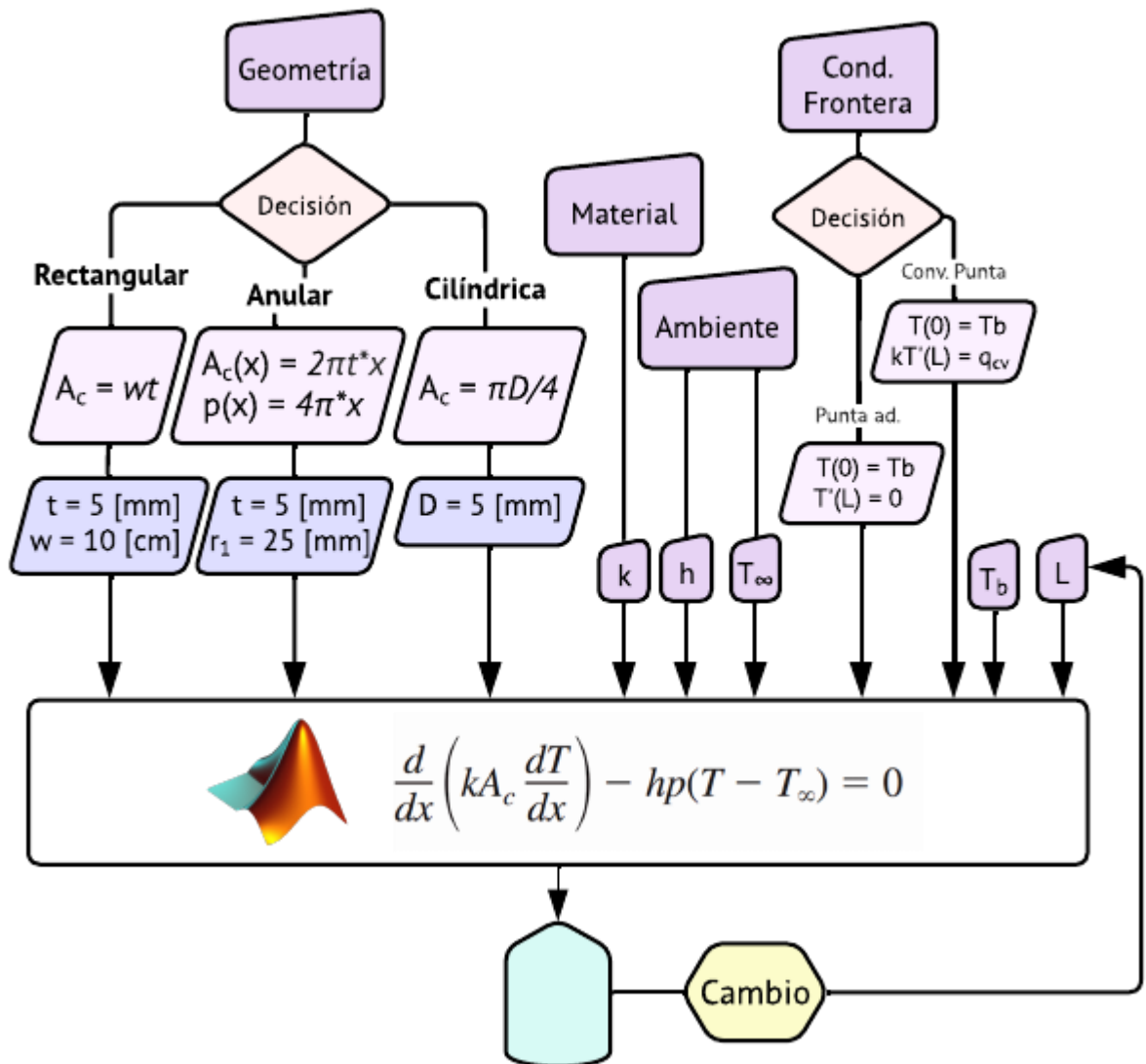
Todas estas cantidades anteriormente mencionadas representan valores ingresados directa o indirectamente por el usuario a la función mediante la interfaz gráfica, adicionalmente, se agregan valores como área, longitud y/o radios, según corresponda, para que la función pueda arrojar los resultados y graficas que se pretenden observar en la interfaz, dichos valores representan parámetros que el usuario puede variar para observar su influencia en el modelo y le permita observar, de primera mano, la variación en los resultados.

6.2 Transferencia de calor por conducción en superficies extendidas.

Para este modelo, la función resuelve una ecuación diferencial de segundo orden a partir de datos de entrada de: material, condiciones ambientales y la geometría de la aleta, estos datos serán ingresados por el usuario junto con la temperatura de la base de la aleta y la condición a estudiar, es decir, si se considera el modelo de punta adiabática o el de convección en la punta, a partir de esta elección, se definen internamente la pareja de condiciones de frontera, como se observa en la figura 4, y que permiten solucionar la ecuación diferencial.

El usuario puede determinar si en la gráfica se visualizan ambos modelos o cada uno por separado, esto con el objetivo de visualizar gráficamente la combinación de los modelos y estudiar la influencia sobre éstos cuando se realiza una variación sobre la longitud de la aleta a estudiar.

Figura 4. Diagrama de flujo para el modelo de Transferencia de calor por conducción en aletas.



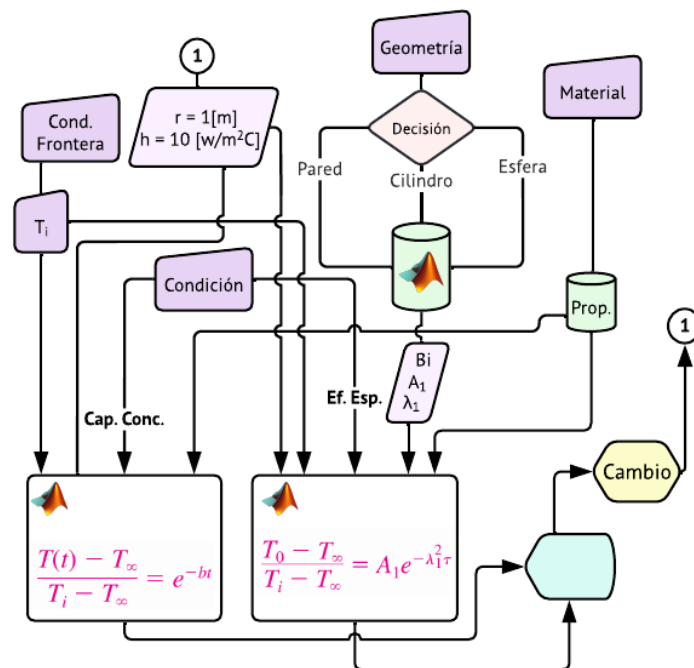
Fuente. Autores

6.3 Transferencia de calor por conducción en estado transitorio.

Para este modelo de transferencia de calor se determinó realizar el cálculo sobre dos condiciones simultáneamente, el modelo de capacitancia concentrada y el de efectos espaciales, en transferencia unidimensional, que permita visualizar gráficamente los dos modelos bajo las mismas condiciones observando así la distribución de temperatura en el centro del cuerpo estudiado a través del tiempo.

Para ello, el usuario ingresa manualmente la geometría del cuerpo a estudiar, el material y la temperatura inicial y como respuesta obtiene ambas gráficas de comportamiento, de las cuales podrá variar parámetros geométricos y de las condiciones del medio en el que sucede la transferencia de calor, como se observa en la figura 5.

Figura 5. Diagrama de flujo para el modelo de Transferencia de calor por conducción transitoria



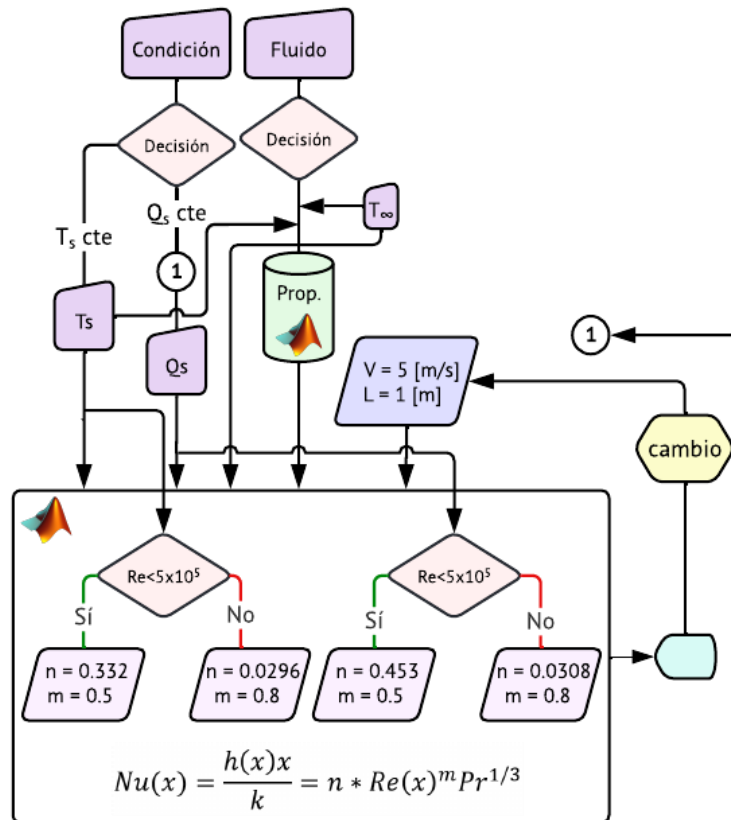
Fuente. Autores

6.4 Transferencia de calor por convección externa en placas planas.

La función desarrollada en este modelo resuelve numéricamente el coeficiente de transferencia por convección a lo largo de una placa. El usuario puede seleccionar entre la condición de transferencia de calor con temperatura superficial constante o con calor superficial constante, según sea el caso, la variable que ingresa manualmente es T_s o Q_s , según corresponda, a su vez, es posible definir el fluido que circunda a la placa junto con su temperatura promedio; la combinación de estas elecciones se llevan a una función externa desarrollada que tiene como objeto entregar las propiedades de dicho fluido e ingresarlas a la función que gobierna el modelo.

Como resultado se obtiene la distribución del coeficiente de transferencia a lo largo de la placa, el valor promedio y el calor total transferido, para el caso de la temperatura superficial constante y, la distribución de temperatura a lo largo de la placa, para el caso del calor superficial constante. En este modelo el usuario puede observar la variación de la distribución del tipo de flujo a lo largo de la placa, variando la velocidad de flujo del fluido y la longitud de la placa.

Figura 6. Diagrama de flujo para el modelo de Transferencia de calor en placas.

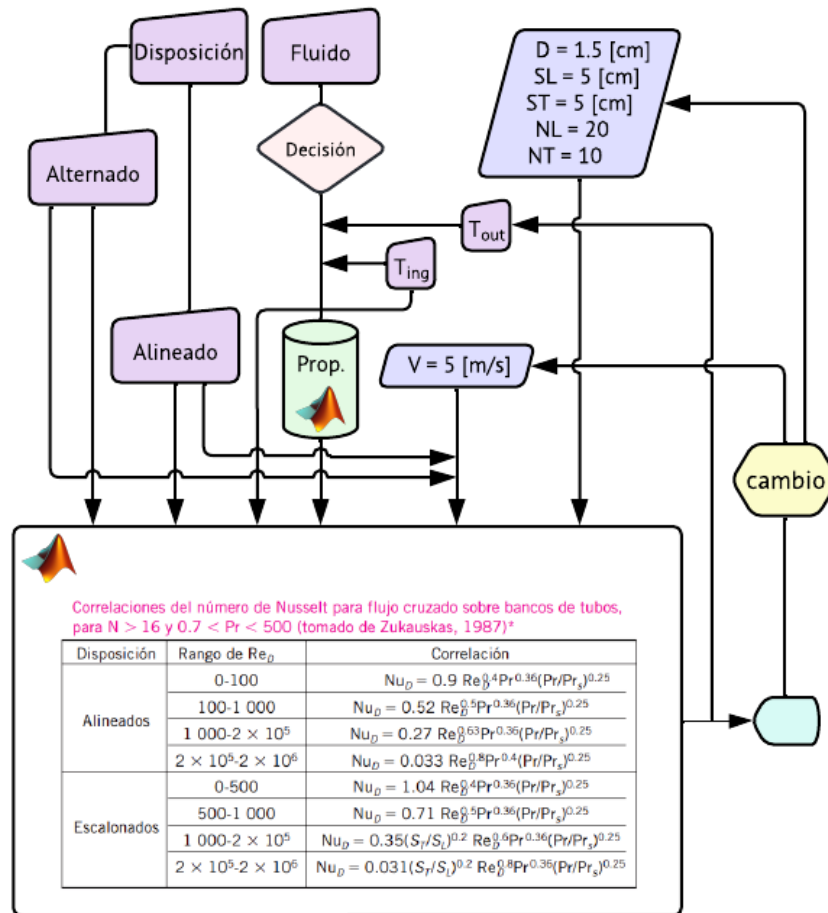


Fuente. Autores

6.5 Transferencia de calor por convección externa en banco de tubos.

Para el modelo de banco de tubos, la función desarrollada cuenta con un conjunto de condicionales que permite utilizar la correspondiente ecuación para cada situación, que permita calcular el coeficiente de transferencia de calor por convección. Para ello, la función evalúa las dos disposiciones posibles (alternado y alineado) conjuntamente, a partir de la temperatura del fluido a la entrada, la temperatura superficial de los tubos, número de filas y columnas, tamaño de los tubos y separación y propiedades promedio del fluido.

Figura 7. Diagrama de flujo para el modelo de Transferencia de calor en banco de tubos.



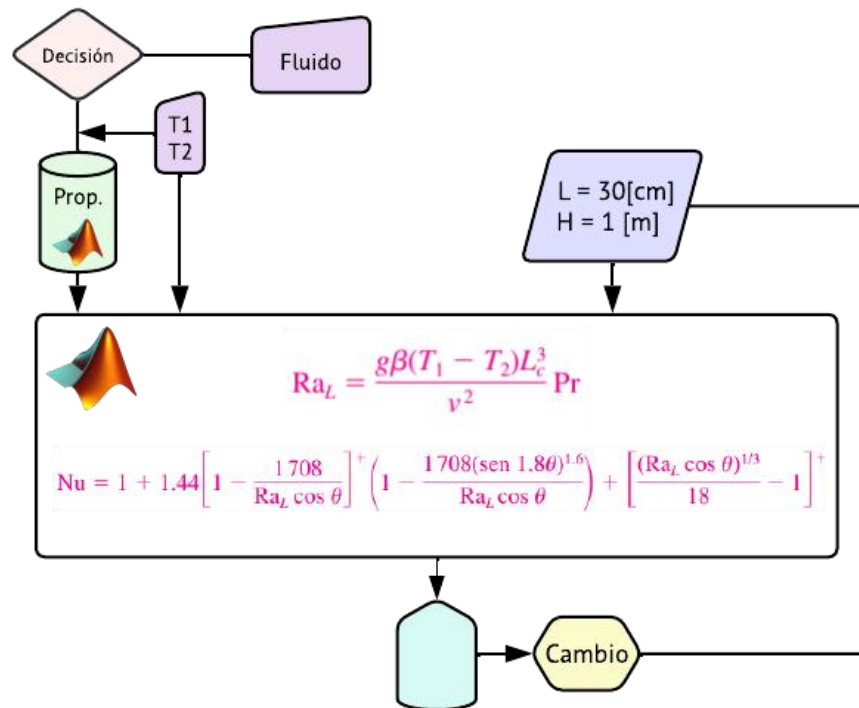
Fuente. Autores

Para las propiedades, una función externa entrega unas propiedades previas calculadas a la temperatura de entrada para luego recalcularlas a la temperatura promedio entre la entrada y salida del fluido, para que finalmente, el usuario obtenga una gráfica que le permita estudiar la variación de la temperatura de salida del fluido a medida que cambia la velocidad de éste en cada una de las disposiciones.

6.6 Transferencia de calor por convección natural

Se definió para el modelo de convección natural estudiar el efecto que causa la inclinación de un recinto cerrado sobre el coeficiente de transferencia de calor por convección, para ello, el usuario debe ingresar la temperatura de los extremos del recinto junto con el fluido contenido en él, adicionalmente, se inicializan los parámetros de separación entre placas y longitud del recinto para luego poder variarlas y visualizar el efecto sobre las gráficas obtenidas de coeficiente de transferencia versus el ángulo de inclinación.

Figura 8. Diagrama de flujo para el modelo de Transferencia de calor en recintos cerrado.



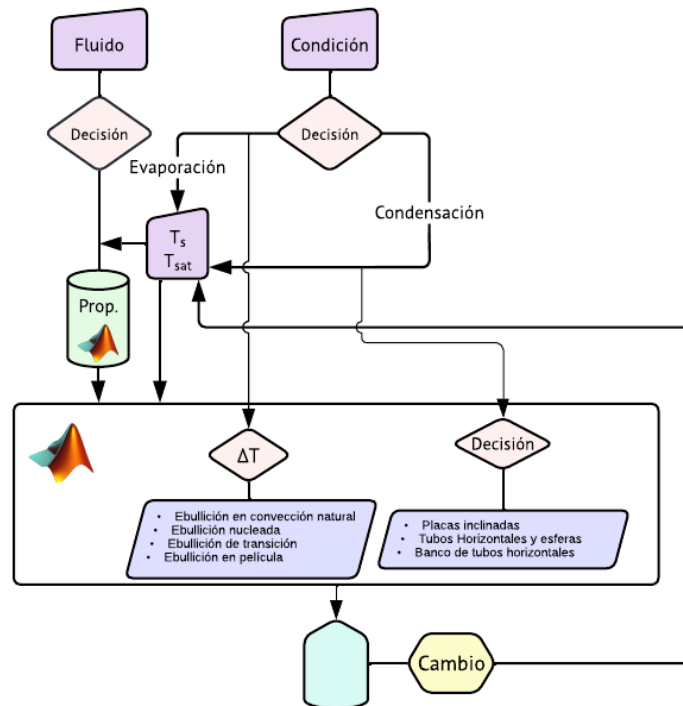
Fuente. Autores

6.7 Transferencia de calor por cambio de fase.

Para el estudio de cambio de fase se construyó una función que permita visualizar cada uno de los diferentes modelos de ebullición y condensación tomando como valores de entrada, la temperatura de la superficie sobre la cual sucede el fenómeno y la temperatura de saturación del fluido que circunda la superficie, estas entradas ingresan tanto a la función del modelo físico como a la función externa de propiedades.

El usuario tiene la posibilidad de variar estas temperaturas y observar como la diferencia de temperaturas tienen efecto en el modelo de cálculo del coeficiente de calor por convección en cambio de fase.

Figura 9. Diagrama de flujo para el modelo de Transferencia de calor en cambio de fase.

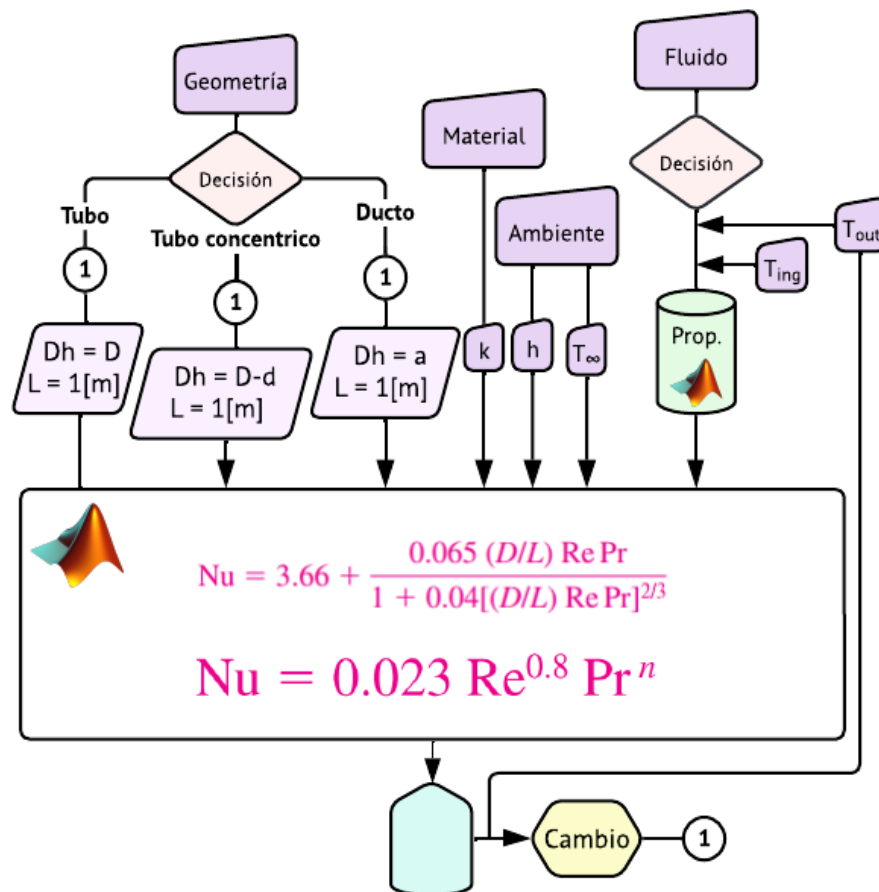


Fuente. Autores

6.8 Transferencia de calor por convección interna

Para este modelo de transferencia de calor se definió estudiar la distribución de temperatura a lo largo de un tubo y/o ducto, para ello, el usuario define la geometría de la tubería, su tamaño (diámetros) y el fluido a estudiar. A partir de la variación del tamaño (área de transferencia de calor) se pretende observar la influencia que tiene esta variación con la temperatura de salida del fluido y, adicionalmente, como la variación de la velocidad de flujo determina el modelo de cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección.

Figura 10. Diagrama de flujo para el modelo de Transferencia de calor por convección interna.



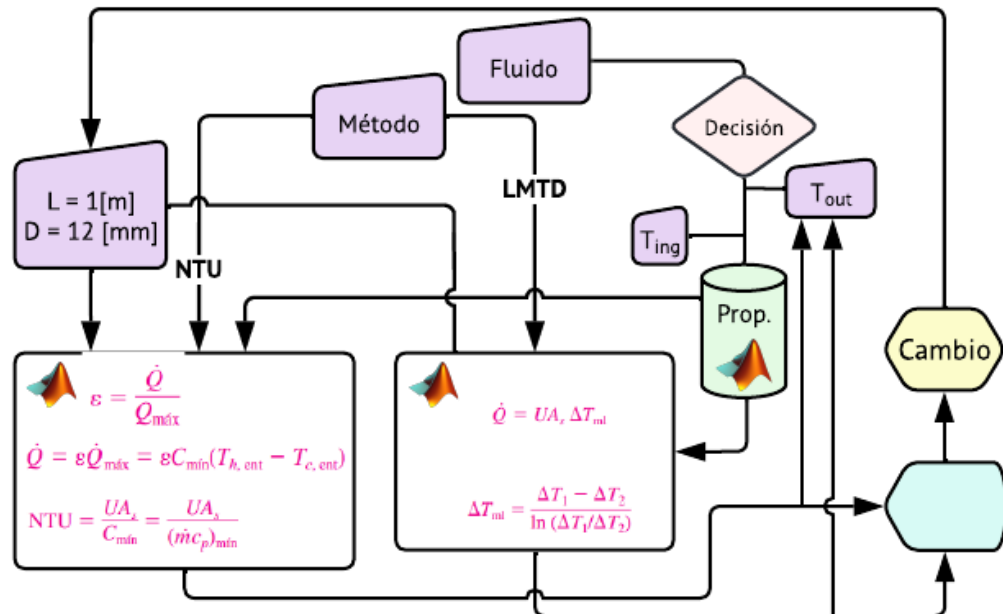
Fuente. Autores

6.9 Intercambiadores de calor.

En el desarrollo de la función de Matlab para el estudio de los intercambiadores de calor se definió realizar el cálculo de las temperaturas de salidas de dos fluidos en intercambio de calor bajo los dos métodos conocidos, NTU y diferencia media logarítmica de temperaturas LMTD, por sus siglas en inglés. Para este caso, el usuario ingresa los fluidos en el módulo de propiedades que envía las propiedades a la función del modelo y determina la temperatura de salida de cada uno de los fluidos a partir del tamaño del intercambiador, para posteriormente, recalarlo todo con la temperatura promedio.

Como resultado, se espera visualizar la distribución de temperatura de cada fluido a lo largo del intercambiador y que el usuario pueda variar el tamaño del intercambiador y se haga visible la variación del tamaño en la distribución.

Figura 11. Diagrama de flujo para el modelo de Intercambiadores de calor.

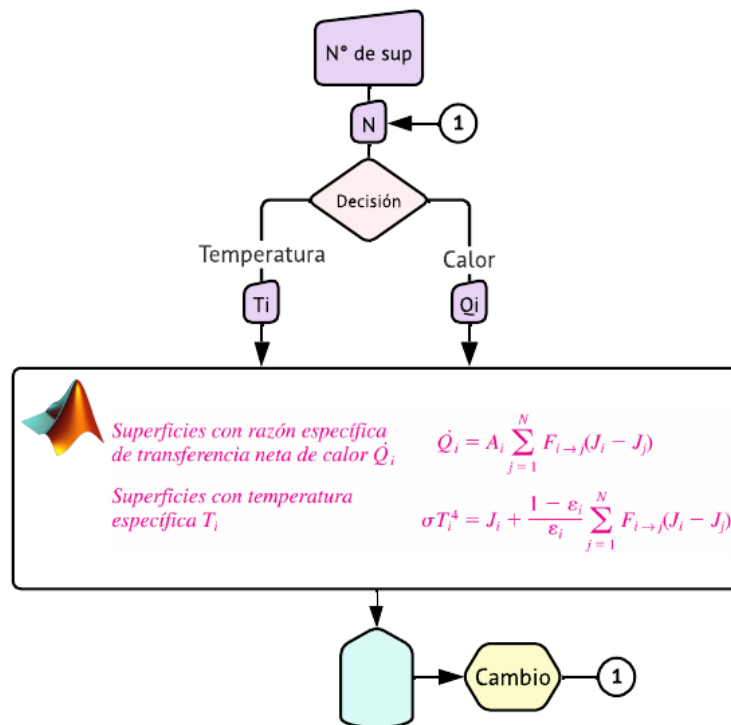


Fuente. Autores.

6.10 Radiación térmica.

El modelo de radiación térmica de superficies grises para N superficies se estudia bajo un conjunto de sumatorias y condiciones de las superficies estudiadas, por ende, se determinó realizar una función que le permita al usuario ingresar la cantidad de superficies a estudiar y la condición a la cual están sometidas, es decir, si se conoce la temperatura superficial específica o la rata de transferencia de calor.

Figura 12. Diagrama de flujo para el modelo de Radicación térmica.



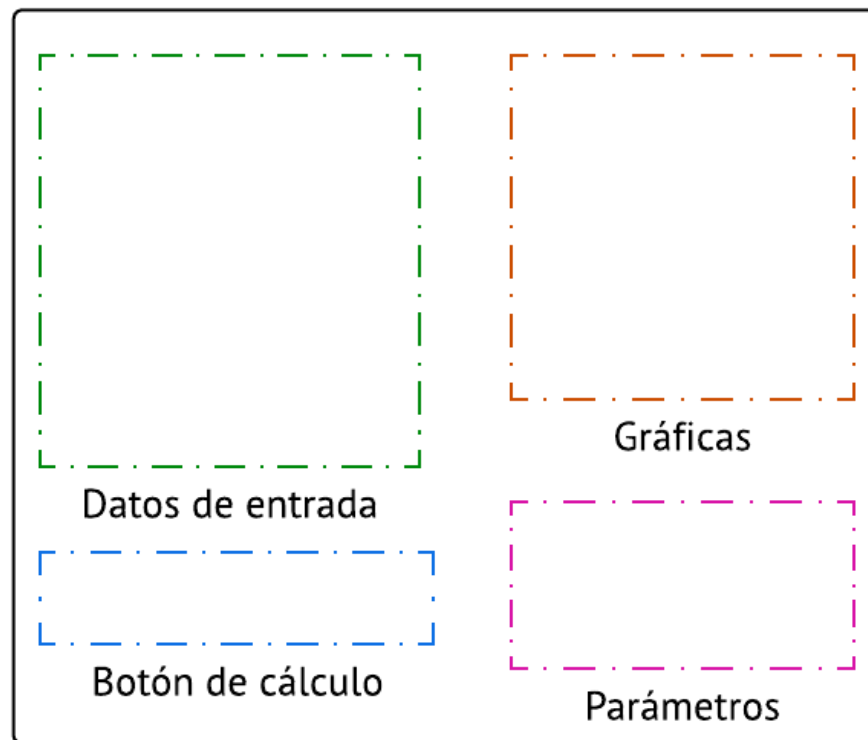
Fuente. Autores.

Como resultado se obtendrá una gráfica de cada superficie con sus condiciones y el calor total transferido, además, el usuario podrá visualizar el efecto de hacer varias las condiciones de las superficies en las gráficas.

7. CONSTRUCCIÓN DE LA INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO

Posterior al desarrollo de las funciones fue necesario la concepción de una interfaz gráfica de usuario que permita al usuario acceder a cada una de las funciones e ingresar de forma clara las entradas de la función. Para ellos se dispuso de una organización para cada pantalla de cada una de las funciones como se muestra en la figura 13.

Figura 13. Modelo de interfaz gráfica.



Fuente. Autores

Esta distribución permite al usuario visualizar inicialmente solo los datos de entrada y los botones de cálculo dado que al ingresar a cada uno de los modelos la pantalla se muestra en solo su primera mitad izquierda, como se muestra la figura 13. En esta primera mitad de pantalla el usuario agregará valores numéricos, seleccionará

una de las geometrías disponibles, el modelo a estudiar y/o los materiales de la base de datos según corresponda.

Con los botones de cálculo, la interfaz de usuario toma los valores agregados, los procesa convirtiéndolos todos en valores numéricos de entrada para la función que corresponda, soluciona el modelo y presenta la pantalla completa con las soluciones de la función y el espacio para la variación de los parámetros.

Figura 14. Primera mitad de la pantalla.

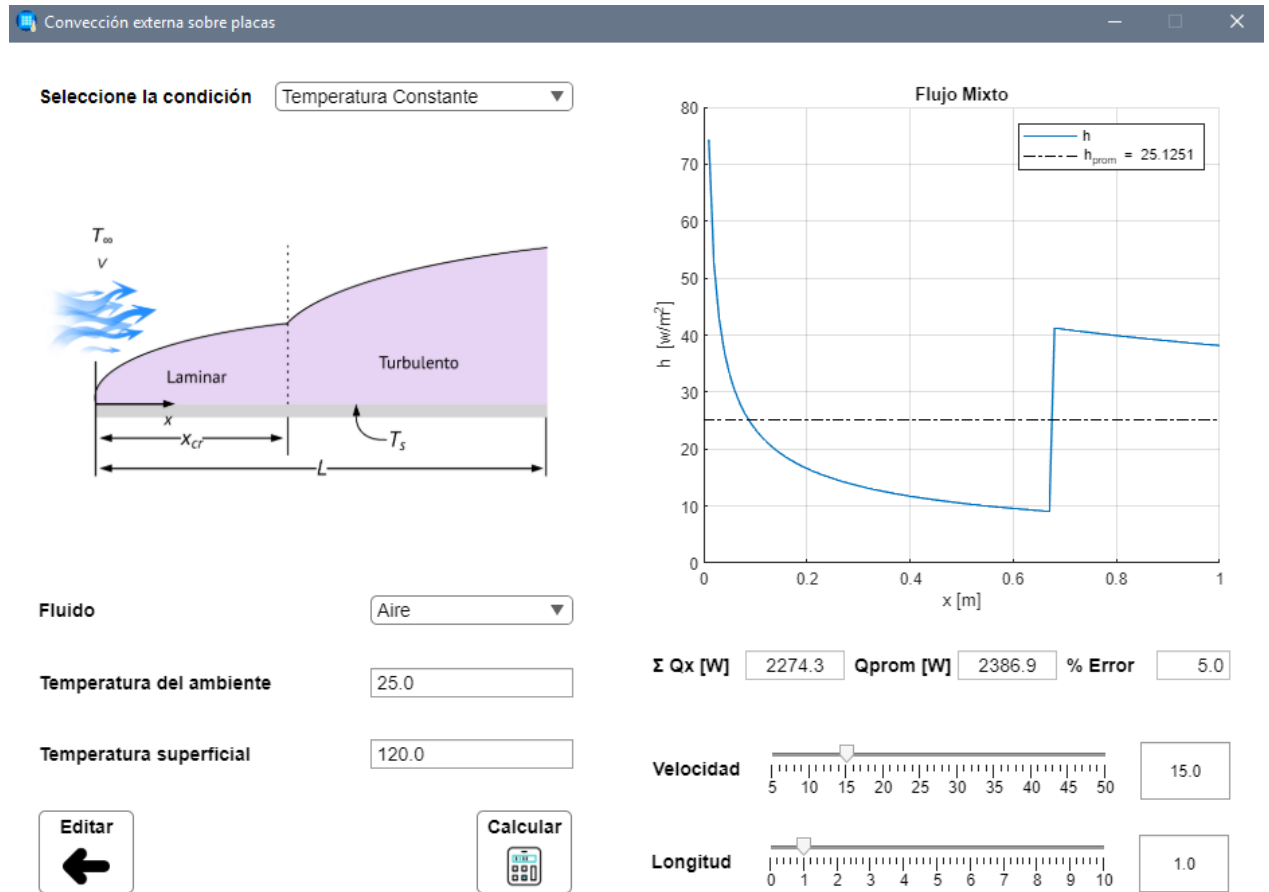


Fuente. Autores.

Los parámetros estarán contenidos en elementos que permiten el cambio de valores a partir de deslizadores numéricos, desde los cuales la pantalla redireccionará los valores inicialmente ingresados junto con los nuevos valores numéricos de los parámetros en la función y estos cambios se verán reflejados en la zona de gráficas

de la interfaz. La figura 14 muestra un ejemplo del diseño definitivo de interfaz gráfica.

Figura 15. Diseño definitivo de interfaz gráfica de usuario.



Fuente. Autores

CONCLUSIONES

Con el desarrollo de este proyecto se pudieron obtener las siguientes conclusiones las cuales resumen las tareas que fueron realizadas.

- A partir del proceso investigativo se determinó, mediante una matriz de función de calidad (QFD), los temas que permitieran cubrir de mejor manera el curso.
- Se desarrolló una herramienta pedagógica que permite a los estudiantes interactuar con los fenómenos de transferencia de calor a partir de una interfaz gráfica, la cual facilita la comprensión de los conceptos que se estudian en esta asignatura.
- La configuración de las funciones en Matlab define una metodología de aprendizaje en la asignatura Transferencia de Calor a partir de modelos parametrizados que permitan al estudiante visualizar las distribuciones de temperatura y calor en diferentes escenarios.
- El uso de la herramienta académica apoyara al docente en los procesos de enseñanza en el aula de clase. Permittedole el análisis de diferentes casos de estudio simulados en la aplicación que normalmente necesitan de cálculos numéricos complejos y repetitivos para su desarrollo.

BIBLIOGRAFÍA

1. ARDILA L. & Carrión S. & Ramírez C. 2018. Metodología de la indagación aplicada a la enseñanza del diseño de intercambiadores de calor tipo Coraza-Tubo usando un OVA. Asociación Colombiana de facultades de ingeniería, Bogotá
2. CENGEL, Y. A. (2007a). Heat and Mass Transfer: A Práctica Approach (3rd ed.). McGraw-Hill.
3. CONDORÍ M. & Gea M. & Saravia L. 2003. LABORATORIO DE TRANSFERENCIA DE CALOR PARA LA MAESTRÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES. Universidad Nacional de Salta, Salta
4. INCROPERA, F. P., & DeWitt, D. P. (1999). Fundamentos de transferencia de calor. Pearson Educación.
5. MUÑOZ E, & Rueda, J. 2013. ADECUACIÓN DEL BANCO PARA LA COMPRABACIÓN DE LAS LEYES BASICAS DE LA RADIACIÓN EN EL LABORATORIO DE TRANSFERENCIA CALOR. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga

ANEXOS

Anexo A. Función desarrollada para el tema: Transferencia de calor por conducción en estado estable con y sin generación de calor.

```
function CondCalorEst(n,T1,T2,r1,r2,L,a,k,e_gen,ax)
```

Ecuación diferencial

```
syms T(r)
ED = (1/r^n)*diff(r^n*k*diff(T,r),r) + e_gen == 0;
COND = [T(r1) == T1,T(r2) == T2];
```

Solución

```
SOL = dsolve(ED,COND);
dTdr = diff(SOL,r);
```

Vector de longitud

```
if e_gen~=0
    m = 100;
else
    m = 20;
end
R = linspace(r1,r2,m);
```

Áreas para el calor

```
if n==0
    A = a;
elseif n==1
    A = 2*pi.*R*L;
elseif n==2
    A = 4*pi.*R.^2;
end
```

Solución numérica

```
for i=1:length(R)
    q(i) = double(subs(dTdr,r,R(i)));
    Temp(i) = double(subs(SOL,r,R(i)));
end
```

```
end
Q = -k.*A.*q;
```

Gráficas

```
if n~=2
    rectangle(ax, 'Position', [r1, min(Temp)-0.1*(max(Temp)-min(Temp)), ...
        (r2-r1), 1.2*(max(Temp)-min(Temp))], ...
        'FaceColor', [0.91,0.83,0.96], 'Linewidth', 1.5, ...
        'EdgeColor', [0.38,0.22,0.55]);
else
    rectangle(ax, 'Position', [r1, min(Temp)-0.2*(max(Temp)-min(Temp)), ...
        (r2-r1), 1.4*(max(Temp)-min(Temp))], ...
        'FaceColor', [0.91,0.83,0.96], 'Linewidth', 1.5, ...
        'EdgeColor', [0.38,0.22,0.55]);
end
hold(ax, "on")
plot(ax, R, Temp)
xlim(ax, [min(R)-0.8*(max(R)-min(R)), max(R)+0.8*(max(R)-min(R))])
ylim(ax, [min(Temp)-0.2*(max(Temp)-min(Temp)), ...
    max(Temp)+0.2*(max(Temp)-min(Temp))])
if n==1
    rectangle(ax, 'Position', [-r2, min(Temp)-0.1*(max(Temp)-min(Temp)), ...
        (r2-r1), 1.2*(max(Temp)-min(Temp))], ...
        'FaceColor', [0.91,0.83,0.96], 'Linewidth', 1.5, ...
        'EdgeColor', [0.38,0.22,0.55]);
    xlim(ax, [-max(R)+1.2*(max(R)-min(R)), max(R)+1.2*(max(R)-min(R))])
    rectangle(ax, 'Position', [-r2, min(Temp)-0.1*(max(Temp)-min(Temp)), ...
        2*r2, 1.2*(max(Temp)-min(Temp))], 'Linewidth', 1.5, ...
        'EdgeColor', [0.38,0.22,0.55]);
    rectangle(ax, 'Position', [0, min(Temp)-0.1*(max(Temp)-min(Temp)), ...
        0, 1.2*(max(Temp)-min(Temp))], 'Linewidth', 0.5, ...
        'LineStyle', '-');
end
```

Propiedades de las gráficas

```
if all(Q>0) && e_gen == 0
    est = "->";
elseif all(Q<0) && e_gen == 0
    est = "-<";
else
    for i=1:length(R)
        if Q(i)<0
            Q(i) = -Q(i);
        end
    end
    est = "-";
end
```

```

grid(ax,"on")
box(ax,"on")
title(ax,"Temperatura vs L")
xlabel(ax,'x [m]')
ylabel(ax,'T [C]')
yyaxis(ax,"right")
plot(ax,R,Q,est)
ytickformat(ax,'%0.2f')
if e_gen~=0
    ylabel(ax,'Q [W]')
    ylim(ax,[min(Q)-0.2*(max(Q)-min(Q)),max(Q)+0.2*(max(Q)-min(Q))])
else
    ylabel(ax,['Q = ',num2str(abs(round(Q(1),2))),' [W]'])
    yticks(ax,[])
end
hold(ax,"off")

```

[*Published with MATLAB® R2022a*](#)

Anexo B. Función desarrollada para el tema: Transferencia de calor por conducción en estado transitorio.

```
function TrascientHeat(h,k,alpha,T_i,T_inf,geo,r,ax)
```

Long. Característica

```

if geo == 1
    r = r/2;
    Lc = r;
elseif geo == 2
    Lc = r/2;
elseif geo == 3
    Lc = r/3;
end

```

Biot & Coeficientes

```

Bi = (h*r)/k;
Bi_con = (h*Lc)/k;
[A1,Lam] = CoefTrascient(geo,Bi);

```

Pre-calculo de tempo final

```

if Bi<0.01
    T_F = Lc^2*log(1/0.01)/(alpha*Bi_con);

```

```

else
    T_F = r^2*log(A1/0.01)/(alpha*Lam^2);
end

```

Vector de tiempo

```
t = linspace(0,2*T_F,500);
```

Números adimensionales

```

tau = alpha*t/r^2;
tau_con = alpha*t/Lc^2;
tetha = A1*exp(-Lam^2.*tau);
tetha_con = exp(-Bi_con.*tau_con);
for i=1:length(tetha)
if tetha(i) >=1
    tetha(i) = 1;
end
end

```

Cálculo numérico

```

T = T_inf + tetha*(T_i-T_inf);
T_con=T_inf + tetha_con*(T_i-T_inf);

```

Gráficas

```

plot(ax,t,T,t,T_con)
title(ax,'Temperatura en el tiempo')
xlabel(ax,'t [s]')
ylabel(ax,'T [C]')
legend(ax,'Efectos espaciales',['Cap. Concentrada, Bi = ',num2str(Bi_con)],'Location','northoutside')
grid(ax,"on")

```

[*Published with MATLAB® R2022a*](#)

Anexo C. Función desarrollada para el tema: Transferencia de calor por conducción en superficies extendidas.

```
function aletas(ax,geo,r1,L,h,k,Tb,T_inf)
```

Constantes

```
t = 5E-3;  
w = 0.5;
```

Condicional de geometría

```
r2 = r1 + L;  
syms T(x) c1 c2  
if geo==1  
    A=w*t;  
    p=2*(w+t);  
elseif geo==2  
    r1=0;  
    D = t;  
    A=pi*D^2/4;  
    p=pi*D;  
elseif geo==3  
    A=2*pi*x*t;  
    p=4*pi*x;  
end
```

Ecuación diferencial

```
ED = diff(k*A*diff(T,x))-h*p*(T-T_inf)==0;  
dTdx = diff(T,x);  
COND_PA = [T(r1)==Tb,dTdx(r2)==0];  
COND_QP = [T(r1)==Tb,dTdx(r2+A/p)==0];
```

Solución

```
T_PA = dsolve(ED,COND_PA);  
T_QP = dsolve(ED,COND_QP);  
dTdx_PA = diff(T_PA,x);  
dTdx_QP = diff(T_QP,x);
```

Vector de longitud

```
x = linspace(r1,r2);
```

Solución numérica

```
for i=1:length(x)  
    TPA(i) = double(subs(T_PA,x,X(i)));  
    TQP(i) = double(subs(T_QP,x,X(i)));  
    q_PA(i) = double(subs(dTdx_PA,x,X(i)));  
    q_QP(i) = double(subs(dTdx_QP,x,X(i)));  
end
```

```

if geo==3
    Ac = double(subs(A,x,X(i)));
else
    Ac = A;
end
end
QPA = -k.*Ac.*q_PA;
QQP = -k.*Ac.*q_QP;

```

Gráficas

```

hold(ax,"on")
plot(ax,X,TPA,X,TQP,'--')
ylabel("T [C]")
xlabel("x [m]")
title("Temperatura, Calor vs Longitud")
yyaxis(ax,"right")
plot(ax,X,QPA,'-.m',X,QQP,'-.b')
ylabel("Q [w]")
legend(ax,["Punta adiabática","Calor en la punta", ...
    "Q, Punta adiabática","Q, Calor en la punta"])
box(ax,"on")
grid(ax,"on")
hold(ax,"off")

```

[*Published with MATLAB® R2022a*](#)

Anexo D. Función desarrollada para el tema: Transferencia de calor por convección en placas.

```
function [q,Q,error]=ConvExtPlaca(Fluido,T_sup,T_inf,V,L,ax,cond,Qs)
```

Temperatura de película

```
T_f = (T_inf + T_sup)/2;
```

Propiedades

```
[rho,~,k,~,mu,Pr] = PropertyGas(Fluido,T_f);
```

Vectores de longitud

```
x = linspace(0,L,101);  
dx = L/length(x);
```

Condicional tipo de flujo

```
Re = rho*v*x/mu;  
for i=1:length(x)  
    if Re(i)<5E5  
        Nu(i) = 0.332.*Re(i).^0.5*Pr.^1/3;  
        Nuu(i) = 0.453.*Re(i).^0.5*Pr.^1/3;  
    elseif Re(i)>5E5  
        Nu(i) = 0.0296.*Re(i).^0.8*Pr.^1/3;  
        Nuu(i) = 0.0308.*Re(i).^0.8*Pr.^1/3;  
    end  
end
```

Etiqueta tipo de flujo

```
x_crit=5E5*mu/(rho*v);  
if x_crit<=0.05*L  
    h_prom = (k/L)*0.037*max(Re)^0.8*Pr^1/3;  
    Flux = 'Flujo Turbulento';  
elseif x_crit>=0.95*L  
    h_prom = (k/L)*0.664*max(Re)^0.5*Pr^1/3;  
    Flux = 'Flujo Laminar';  
else  
    h_prom = (k/L)*(0.037*max(Re)^0.8-871)*Pr^1/3;  
    Flux = 'Flujo Mixto';  
end
```

Solución numérica

```
for i=1:length(x)  
    if x(i)==0  
        h(i)=inf;  
    else  
        h(i) = Nu(i)*k/x(i);  
        hq(i) = Nuu(i)*k/x(i);  
    end  
end
```

Gráficas

```
if cond==1  
    q=0;
```

```

for i=2:length(h)
    hh(i)=h(i);
    q=q+h(i)*dx*(T_sup-T_inf);
end
for i=1:length(x)
    h_average(i) = h_prom;
end
Q = h_prom*(T_sup-T_inf)*L;
error=abs(100*(q-Q)/q);
plot(ax,x,h,x,h_average,'-.k')
title(ax,Flux)
xlabel(ax,'x [m]')
ylabel(ax,'h [w/m^2]')
legend(ax,'h',[ 'h_{prom} = ',num2str(h_prom)])
grid(ax,"on")
elseif cond==2
    q=Qs;
    Q=Qs;
    error=0;
    Ts=T_inf+Qs.*hq.^(-1);
    plot(ax,x,Ts)
    title(ax,'Distribución de temperatura')
    xlabel(ax,'x [m]')
    ylabel(ax,'T [C]')
    grid(ax,"on")
end

```

[*Published with MATLAB® R2022a*](#)

Anexo E. Función desarrollada para el tema: Transferencia de calor por convección en banco de tubos.

```
function tubeBank(ax,Fluido,T_i,T_sup,D,SL,ST,L,NL,NT)
```

Geometría

```

F_table = table2array(readtable("F.xlsx"));
N = NT*NL;
SD = sqrt(SL^2 + (ST/2)^2);
AS = N*pi*D*L;

```

Vector velocidad

```
v = linspace(1,20);
```

Condicional Velocidad

```
if 2*(SD-D)<(ST-D)
    Vmax_2 = (ST/(2*(SD-D)))*V;
else
    Vmax_2 = (ST/(ST-D))*V;
end
Vmax_1 = (ST/(ST-D)).*V;
```

Iteraciones

```
for j=1:3
    if j==1
        for k=1:length(v)
            T_1(k) = (T_i+T_sup)/2;
            T_2(k) = (T_i+T_sup)/2;
        end
    else
        T_1 = (T_i + T_o_1)/2;
        T_2 = (T_i + T_o_2)/2;
    end
end
```

Propiedades

```
[rho1,~,~,~,~,~] = PropertyGas(Fluido,T_i);
[rho_1,cp_1,k_1,~,mu_1,Pr_1] = PropertyGas(Fluido,T_1);
[rho_2,cp_2,k_2,~,mu_2,Pr_2] = PropertyGas(Fluido,T_2);
[~,~,~,~,~,PrS] = PropertyGas(Fluido,T_sup);
```

Condicionales tipos de flujo

```
for i=1:length(v)
    Re_1(i) = rho_1(i).*Vmax_1(i)*D/mu_1(i);
    Re_2(i) = rho_2(i).*Vmax_2(i)*D/mu_2(i);
    if Re_1(i)<100
        Nu_1(i) = 0.9.*Re_1(i).^0.4.*Pr_1(i).^0.36*(Pr_1(i)/PrS)^0.25;
    elseif 100<=Re_1(i) && Re_1(i)<1000
        Nu_1(i) = 0.52.*Re_1(i).^0.5.*Pr_1(i).^0.36*(Pr_1(i)/PrS)^0.25;
    elseif 1000<=Re_1(i) && Re_1(i)<2E5
        Nu_1(i) = 0.27.*Re_1(i).^0.63.*Pr_1(i).^0.36*(Pr_1(i)/PrS)^0.25;
    else
        Nu_1(i) = 0.033.*Re_1(i).^0.8.*Pr_1(i)^0.4*(Pr_1(i)/PrS)^0.25;
    end
    if Re_2(i)<500
        Nu_2(i) = 1.04.*Re_2(i).^0.4.*Pr_2(i).^0.36*(Pr_2(i)/PrS)^0.25;
    elseif 500<=Re_2(i) && Re_2(i)<1000
        Nu_2(i) = 0.71.*Re_2(i).^0.5.*Pr_2(i).^0.36*(Pr_2(i)/PrS)^0.25;
```

```

elseif 1000<=Re_2(i) && Re_2(i)<2E5
    Nu_2(i) = 0.35*(ST/SL)^0.2.*Re_2(i).^0.6.*Pr_2(i).^0.36*(Pr_2(i)/PrS)^0.25;
else
    Nu_2(i) = 0.031*(ST/SL)^0.2.*Re_2(i).^0.8.*Pr_2(i).^0.4*(Pr_2(i)/PrS)^0.25;
end
end
if NL<16
    F = interp1(F_table(:,1),F_table(:,3),NL);
else
    F = 1;
end
end

```

Cálculo de temperatura

```

m_dot = rho1*v*(NT*ST*L);
Nu_1 = F*Nu_1;
Nu_2 = F*Nu_2;
for i=1:length(v)
    h_1(i) = Nu_1(i).*k_1(i)/D;
    h_2(i) = Nu_2(i).*k_2(i)/D;
    T_o_1 = T_sup-(T_sup-T_i)*exp(-(As.*h_1(i)).*(m_dot.*cp_1(i)).^(-1));
    T_o_2 = T_sup-(T_sup-T_i)*exp(-(As.*h_2(i)).*(m_dot.*cp_2(i)).^(-1));
end

```

end

Gráficas

```

cla(ax,"reset")
plot(ax,v,T_o_1,v,T_o_2)
grid(ax,"on")
xlabel(ax,'v [m/s]')
ylabel(ax,'T_{salida} [C]')
title(ax,'Temperatura de salida vs velocidad')
legend(ax,'Alineado','Alternado')

```

[*Published with MATLAB® R2022a*](#)

Anexo F. Función desarrollada para el tema: Transferencia de calor por convección natural en recintos.

```
function Recinto(ax,Fluido,T1,T2,H,Lc)
```

Constantes

```
g = 9.81;
```

Vector de ángulo

```
tetha = linspace(0,70);  
tetha = deg2rad(tetha);
```

Propiedades

```
T = (T1+T2)/2;  
[rho,~,k,~,mu,Pr] = PropertyGas(Fluido,T);  
v=mu/rho;  
B = 1/(T+273);
```

Números adimensionales

```
Ra = ((g*B*(T1-T2)*Lc^3)/(v^2))*Pr;  
if H/Lc >= 12  
    E1 = 1-(1708).*((Ra*cos(tetha))).^(-1);  
    E2 = ((Ra*cos(tetha)).^(1/3))/(18) - 1;  
    if E1<0  
        E1 = 0;  
    end  
    if E2<0  
        E2 = 0;  
    end  
    Nu = 1 + 1.44*E1*(1-(1708*(sin(1.8*tetha).^1.6))/(Ra*cos(tetha))) + E2;  
else  
    Nu = Nu_0*(Nu_90/Nu_0).^(tetha/tetha_cr);  
end
```

Cálculo numérico

```
k = Nu*k;  
Q = k*(T1-T2)/Lc;
```

Gráficas

```
tetha = rad2deg(tetha);  
hold(ax,"on")  
plot(ax,tetha,k)  
xlabel(ax,"\theta [deg]")  
ylabel(ax,"k [w/mK] ")  
title(ax,"Conductividad vs ángulo de inclinación")  
yyaxis(ax,"right")
```

```

plot(ax, tetha, Q)
ylabel(ax, "Q [w/m^2] ")
legend(ax, "Conductividad", "Calor")
box(ax, "on")
grid(ax, "on")
hold(ax, "off")

```

[Published with MATLAB® R2022a](#)

Anexo G. Función desarrollada para el tema: Transferencia de calor por cambio de fase.

```
function changeFase(ax, geo, NT, L, D, Ts, Tsat)
```

Constantes

```
g=9.81;
```

Propiedades

```

DELTAT = Ts - Tsat;
T = (Ts+Tsat)/2;
[hfg, Kv, k_L, ~, mu_L, Pr_L] = Property(Fluido, T);

```

Condición

```

if cond==1
    if DELTAT>5 && DELTAT<=30
        q = mu_L*hfg*((g*(rho_L-rho_v))/(sigma))^0.5*...
            ((cp*(Ts-Tsat))/(C_sf*hfg*Pr_L^n))^3;
    elseif DELTAT>30 && DELTAT<=120
        q = C_cr*hfg*(sigma*g*rho_v^2*(rho_L-rho_v))^(1/4);
    elseif DELTAT>120
        q = cpelícula*(((g*kv^3*rho_v*(rho_L-rho_v)* ...
            (hfg+0.4*Cpv*(Ts-Tsat)))/(mu_v*D*(Ts-Tsat)))^(1/4))*(Ts-Tsat);
        if Ts >300
            qrad = epsilon*5.67E-8*((Ts+273)^4-(Tsat+273)^4);
            q = q + (3/4)*qrad;
        end
    end
end

```

Gráficas ebullición

```

plot(ax,DELTA_T,q)
title(ax,"Flujo de calor VS Temperatura de exceso")
xlabel(ax,"\DELTA_T [C]")
ylabel(ax,"Calor [w/m^2]")

```

```
elseif cond==2
```

```

if geo==1
    h = 0.943*((g*(rho_L-rho_v)*hfg*k_L^3)/(mu_L*(Tsat-Ts)*L))^0.25;
elseif geo==2
    h = 0.729*((g*(rho_L-rho_v)*hfg*k_L^3)/(mu_L*(Tsat-Ts)*D))^0.25;
elseif geo==3
    h = 0.729*((g*(rho_L-rho_v)*hfg*k_L^3)/(mu_L*(Tsat-Ts)*NT*D))^0.25;
end

```

Gráficas condensación

```

plot(ax,L,h)
title(ax,"h_cond VS Longitud")
xlabel(ax,"\x [m]")
ylabel(ax,"h [w/m^2K]")

```

```
end
```

Complemento gráficas

```

box(ax,"on")
grid(ax,"on")

```

[*Published with MATLAB® R2022a*](#)

Anexo H. Función desarrollada para el tema: Transferencia de calor por convección interna forzada.

```
function convInt(ax,geo,a,b,d,D,L,T_i,m)
```

Vector de longitud

```

x = linspace(0,L);
dx = L/length(x);

```

Geometría del tubo

```

if geo==1
    Dh = D;
    Ac = pi*D^2/4;
    As = pi*D*L;
elseif geo==2
    Dh = (2*a*b)/(a+b);
    Ac = a*b;
    As = 2*(a+b)*L;
elseif geo==3
    Dh = D-d;
    Ac = (pi/4)*(D^2-d^2);
    As = pi*d*L;
end

```

Iteración

```

for j=1:3
    if j==1
        T = (T_i+T_s)/2;
    else
        T = (T_i+T_o)/2;
    end
    [rho,cp,k,~,mu,Pr] = PropertyGas(Fluido,T);
    V = m/(rho*Ac);
    Re = rho*V*Dh/mu;
    if Re<=2800
        Nu = 3.66 + (0.065*(D/L)*Re*Pr)/(1+0.04*((D/L)*Re*Pr)^(2/3));
    else
        if T_i>T_s
            n=0.3;
        else
            n=0.4;
        end
        Nu = 0.023*Re^0.8*Pr^n;
    end
    h = Nu*Dh/k;
    dq = h*dAs*(T-T_s);
    T_o = dq/(m*cp) + T_i;
end

```

Gráficas

```

plot(ax,x,T_o)
grid(ax,"on")
box(ax,"on")
title(ax,"Distribución de temperatura")
xlabel(ax,"x [m]")
ylabel(ax,"T [C]")

```

Anexo I. Función desarrollada para el tema: Transferencia de calor en intercambiadores de calor.

```
function InterCamb(ax,Fluido1,Fluido2,m1,m2,T1_i,T2_i,U_inf,U_sup)
```

Vector del coeficiente de transferencia global

```
U = linspace(U_inf,U_sup);
```

Iteraciones

```
for j=1:3
    if j==1
        T1 = T1_i;
        T2 = T2_i;
    else
        T1 = T1_o;
        T2 = T2_o;
    end
    [~,cp1,~,~,~,~] = PropertyGas(Fluido1,T1);
    [~,cp2,~,~,~,~] = PropertyGas(Fluido2,T2);
```

LMTD

```
syms q LMTD As T1_o T2_o
ec_1 = q==m1*cp1*(T1_i-T1_o);
ec_2 = q==m2*cp2*(T2_i-T2_o);
ec_3 = q==U*As*LMTD;
[T1_o,T2_o,As] = solve(ec_1,ec_2,ec_3,T1_o,T2_o,As);
mcp1 = m1*cp1;
mcp2 = m2*cp2;
if mcp1>mcp2
    C_max = mcp1;
    C_min = mcp2;
else
    C_max = mcp2;
    C_min = mcp1;
end
```

NTU

```
syms Q epsilon NTU AS Qmax
eq_1 = Qmax==C_min*(T1_i-T2_i);
eq_2 = epsilon==Q/Qmax;
eq_3 = NTU == U*AS/C_min;
[T1_o,T2_o,AS] = solve(eq_1,eq_2,eq_3,T1_o,T2_o,AS);
```

```
end
```

Gráficas

```
plot(ax,U,q,U,Q)
xlabel(ax,"U [w/m^2K]")
ylabel(ax,"Q [w]")
yyaxis(ax,"right")
xlabel(ax,"U [w/m^2K]")
ylabel(ax,"As [m^2]")
plot(ax,U,AS,U,AS)
grid(ax,"on")
box(ax,"on")
title(ax,"Q, Área sup. vs U")
```

[*Published with MATLAB® R2022a*](#)

Anexo J. Función desarrollada para el tema: Transferencia de calor por radiación.

```
function radiation(ax,n,Q,T,A,epsilon)
```

Inicio de la sumatoria

```
sum = 0;
```

Sumatoria de calor

```
for i=1:length(Q)
    for j=1:n-1
        sum = sum + F(i,j)*(J(j)*J(i));
    end
    Qs(i) = A(i)*sum;
end
```

Cálculo de temperaturas

```
for i=1:length(T)
    for j=1:n-1
        sum = sum + F(i,j)*(J(j)*J(i));
    end
    Ts(i) = ((J(i)+((1-epsilon(i))/epsilon(i))*sum)/5.67E-8)^(1/4);
end
```

Gráficas

```
plot(ax,n,Qs,n,Ts)
grid(ax,"on")
box(ax,"on")
title(ax,"Diagrama de calor y temperatura")
```

[Published with MATLAB® R2022a](#)