



### 1.5 Mapa Curricular

El Mapa Curricular de la Maestría en Ciencias en Termodinámica está diseñado para atender las necesidades de alumnos que han decidido dedicarse de tiempo completo a la maestría. El mapa curricular actual del programa de la Maestría en Ciencias en Termodinámica consta de **cuatro** unidades de aprendizaje obligatorias, **tres** seminarios de investigación, **veintidos** unidades de aprendizaje optativas y **una** unidad de aprendizaje sobre trabajo de tesis. Para mayor detalle de las características de estas unidades de aprendizaje en cuanto a contenido *ver el medio de verificación 8.2 sobre las unidades de aprendizaje impartidas* en el programa de estudio de la Maestría en Ciencias en Termodinámica. El programa propuesto está diseñado para que los estudiantes terminen sus estudios en **4** semestres. Para ello, deberán cursar **10** unidades de aprendizaje, de las cuales **4** son obligatorias, **3** optativas, **3** seminarios de investigación y el trabajo de tesis, constituyendo un total de **89** créditos, la Figura 4 muestra del contenido del plan de estudios para estos cuatro semestres.

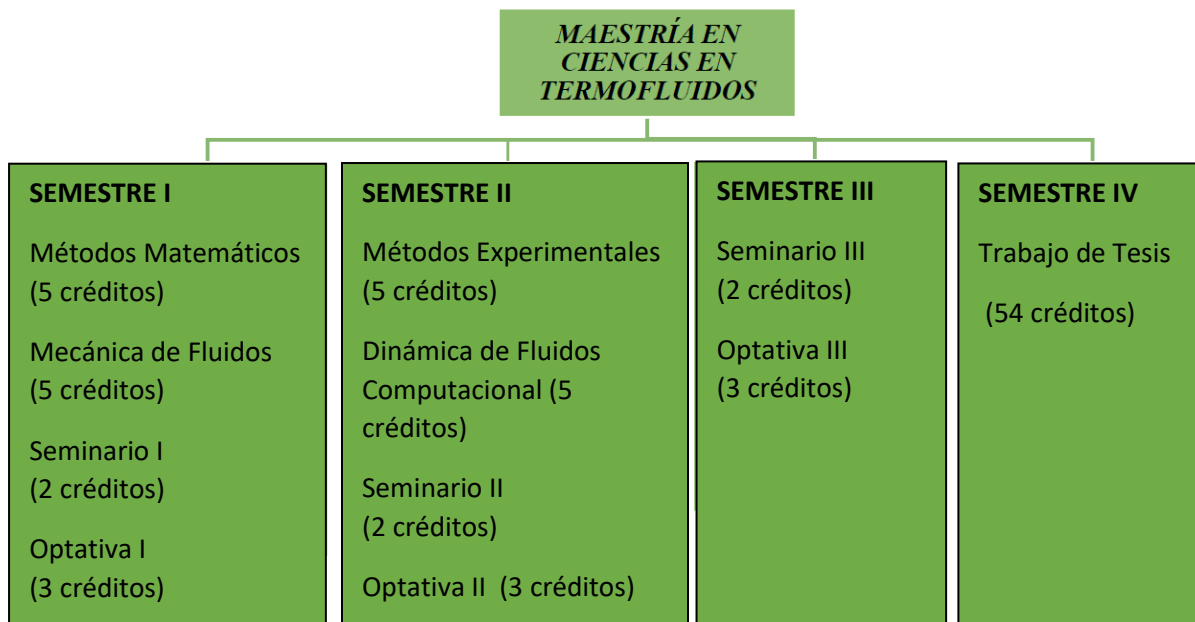


Figura 4: Mapa Curricular de la Maestría en Ciencias en Termodinámica.

#### 1.5.1 Líneas de Generación y Aplicación del Conocimiento (LGAC)

El programa de la Maestría en Ciencias en Termodinámica se divide en tres Líneas de Generación y/o Aplicación del Conocimiento (LGAC):

##### 1.5.1.1 LGAC 1: Transferencia de Calor y Termocapilaridad



La transferencia de calor es una ciencia básica que trata de la rapidez de transferencia de energía térmica. En la práctica de ingeniería, es importante la comprensión de los mecanismos básicos de transferencia de calor, ya que desempeña un papel determinante en el diseño de dispositivos en escala macro (vehículos, plantas generadoras de energía, sistemas de enfriamiento o calentamiento como lo son los intercambiadores de calor, aparatos electrónicos, etc.). Sin embargo, en los últimos años es importante mencionar, que ha habido un gran progreso en el desarrollo de la microfluídica y nanofluídica, así como sus aplicaciones tanto a niveles de industriales como de investigación. Dispositivos mecánicos con escalas de micras o menores, han llegado a ser cada vez más importantes en los últimos tiempos y actualmente, por ejemplo, se utilizan dispositivos con dimensiones medidas en micras para separación, detección, reacción, preparación y mezclado de muestras de fluidos en aplicaciones de las áreas médica, química y biología.

Inherente a estas nuevas tecnologías está la necesidad de desarrollar la ciencia fundamental e ingeniería de pequeños dispositivos. Éstos son de escalas micrométricas y tienden a comportarse de manera diferente a los que utilizados en escalas convencionales. Las fuerzas involucradas en los microsistemas, por ejemplo, tienden a ser muy pequeñas, y los efectos de superficie dominan en éstos.

La Maestría en Ciencias en Termofluidos cubre los siguientes aspectos: teoría de la mecánica de fluidos y transferencia de calor, efectos de escalas, caracterización de flujos, componentes que incluyen microbombas mecánicas y no mecánicas, microválvulas, micromezcladores, microreactores, sensores de microflujos, y demás consideraciones de diseño. Es necesario señalar que la microfluídica es una tecnología de un poco más de una década de antigüedad, y refiere a la investigación y desarrollo de dispositivos de tamaños micrométricos que manejan pequeños volúmenes de fluido. Los dispositivos de escalas micrométricas requieren la construcción y diseño que difiere de aquellos de escalas macro. En general, no es posible escalar dispositivos convencionales a los de tamaño micro, ya que las cantidades físicas dominantes cambian en estos últimos.

Por otro lado, el estudio de la termocapilaridad y los medios porosos encuentran aplicación, por ejemplo, en intercambiadores de calor del tipo microtubos de calor, los cuales mediante convección y flujos capilares ejecutan óptimos procesos de enfriamiento. Actualmente, mediante el micro y nano moldeo es posible construir medios porosos que pueden ser muy eficientes en la entrega de muy pequeñas cantidades de fluidos para procesos biomédicos y de micro y nano ingeniería.

En esta línea de investigación participarán de manera directa los **3** profesores de tiempo completo (PTC) del núcleo académico básico que a continuación se citan (***ver medio de verificación 4.1 Superación académica***):

1. Dr. Juan Pablo Escandón Colín (Nivel SNI I)
2. Dr. Abraham Medina Ovando (Nivel SNI II)
3. Dr. José Carlos Arcos Hernández (Nivel SNI I)



### **1.5.1.2 LGAC2: Dinámica de Fluidos Computacional**

El área de estudio relacionada con la modelación numérica en mecánica de fluidos y transferencia de calor, llamada dinámica de fluidos computacional (CFD, por sus siglas en inglés), se aplica prácticamente a cualquier desarrollo de ingeniería. En particular se puede citar su aplicación en el diseño y análisis de fenómenos de transporte (mecánica de fluidos, transferencia de calor, transferencia de masa, combustión, etc); recientemente, con el advenimiento de los dispositivos microelectromecánicos (MEMS, por sus siglas en inglés), su utilización se ha expandido hacia la simulación de microflujos y nanoflujos, en los cuales, debido a las escalas que se manejan, resulta muy complicado realizar experimentación. Desde el punto de vista macro, el CFD tiene un gran uso en el análisis de problemas meteorológicos, oceánicos, análisis de interacciones de estructuras sólido-fluidos, aerodinámica, entre otros. Su uso proporciona una gran versatilidad al análisis y diseño en numerosas aplicaciones, tanto científicas como de ingeniería. Con el creciente advenimiento de mayor capacidad de sistemas de cómputo, nuestro país debe contar con personal calificado para usar adecuadamente software de diversas aplicaciones; aunado a esto, se debe tener la infraestructura humana necesaria que sea capaz de desarrollar software propio que evite la dependencia tecnológica de otros países.

Para lograr lo anterior, la presente propuesta contempla la impartición de materias fundamentales de dinámica de fluidos, transferencia de calor, fuentes renovables de energía y modelado numérico con el objetivo de que los estudiantes cuenten con los fundamentos teóricos que les permitan realizar análisis de sistemas térmicos y de fluidos de manera eficiente y adecuada. Nuestro país, como miembro emergente de la OCED (Office of Community and Economic Cooperation and Development, por sus siglas en inglés) deberá también consolidarse en éstas y otras áreas como la medicina genómica, las ciencias espaciales y las telecomunicaciones para ser un socio competitivo, en virtud de que se han firmado acuerdos para ello. La experiencia de otros países muestra que los ingenieros mecánicos con un sólido conocimiento científico y tecnológico, en particular, en Termofluidos, han sido fundamentales para resolver exitosamente problemáticas complejas.

Dado lo anterior, el Instituto Politécnico Nacional, basado en su sistema de investigación y posgrado se ha propuesto afrontar el compromiso de formar profesionistas transformadores, innovadores y creativos, capaces de cubrir las nuevas necesidades tecnológicas y consecuentemente contribuir también a la mejora de las condiciones sociales que requiere el país. En una primera etapa, el Programa de Maestría en Ciencias, con Opción en Termofluidos formará cuadros al más alto nivel, como un mecanismo para cubrir las necesidades inmediatas de la industria nacional, del gobierno en sus distintas instancias, y por supuesto en el ámbito académico, lo que servirá también de base para, en una etapa posterior, crear el Doctorado en Ciencias con opción en Termofluidos y en consecuencia un Posgrado integral en esta especialidad. Este programa se ha estructurado con una planta docente del más alto nivel científico/tecnológico, conforme a los más altos estándares nacionales e internacionales y servirá como una herramienta fundamental para que nuestros egresados sean verdaderos agentes de



cambio dentro de la industria, que además atiendan con éxito otras demandas que su grado de formación les exijan.

Cabe mencionar que el principal objetivo de esta línea de investigación es el de formar alumnos que sean capaces de elaborar códigos en lenguaje Fortran 90/95 para la solución de ecuaciones. Este enfoque ha sido muy exitoso, ya que cada semestre son más los alumnos que ingresan a la MCTF con el interés de desarrollar estas habilidades en gran parte gracias a que en otras instituciones con programas que ofertan dinámica de fluidos computacional, el enfoque principal es el de enseñar al estudiante a realizar simulaciones numéricas de flujos mediante el uso de software comercial. Sin embargo, la gran desventaja es que las licencias son muy costosas y el usuario del software no aprende a desarrollar códigos propios. En contraste, en nuestro programa enseñamos a los alumnos a desarrollar códigos numéricos que les permiten resolver las ecuaciones de gobierno en mecánica de fluidos, por lo que éstos tienen una formación robusta en cuanto al desarrollo e implementación de códigos para llevar a cabo simulaciones numéricas en problemas de termofluidos. Adicionalmente, otra gran ventaja de nuestro programa es que nuestros estudiantes son instruidos para llevar a cabo programación paralela empleando GPU (graphics processing unit, por sus siglas en inglés). La computación paralela con GPUs ofrece al usuario un rendimiento sorprendente, ya que éstas se conforman de miles de núcleos más pequeños y más eficientes para el rendimiento en paralelo. En el ámbito científico, al emplear programación en paralelo, el tiempo de cómputo se reduce significativamente y los cálculos para la solución de ecuaciones que normalmente toman varias semanas o meses empleando programación en serie se llevan a cabo en cuestión de horas o días.

Con los argumentos presentados con anterioridad, la creación de este Programa de Maestría se sustenta en la demanda educativa, en la necesidad de contribuir al desarrollo científico y técnico de nuestra disciplina y en el firme compromiso de nuestro Instituto de satisfacer las más altas exigencias que un posgrado de esta naturaleza demanda.

En este campo de investigación participarán de manera directa los investigadores que a continuación se citan (*ver medio de verificación 4.1 Superación académica*):

1. Dr. Abel López Villa (Nivel SNI I)
2. Dr. Lorenzo Alberto Martínez Suástegui (Nivel SNI I)
3. Dr. Oscar Eladio bautista Godínez (Nivel SNI II)

### **1.5.1.3 LGAC3: Fuentes Alternas de Energía**

Una fuente de energía alternativa se define como la energía que proviene de una fuente que se reabastece constantemente en forma natural y que puede suplir a los tipos de energía que tradicionalmente se usan, ya sea por su menor efecto contaminante como por su posibilidad de renovación.



La crisis energética actual ha cambiado la perspectiva mundial en cuanto al consumo dispendioso de energía. Como resultado de un uso indiscriminado de recursos no renovables y la creciente preocupación sobre los impactos ambientales, la inversión en el desarrollo e implementación de fuentes alternas de energía ha aumentado considerablemente en la última década. Aun cuando todavía no hay acuerdo sobre el alcance del problema del calentamiento global, asociado al incremento de emisiones de gases de efecto de invernadero, existe un consenso generalizado de que el ser humano deberá evitar el uso de combustibles fósiles como su principal fuente de energía primaria y optar por fuentes más seguras, abundantes y menos dañinas para el medio ambiente.

Algunas de las fuentes alternas de energía son las siguientes:

**Energía del oleaje:** incluye el aprovechamiento de las mareas, oleaje, energía oceánica térmica, corrientes marinas, vientos oceánicos y gradientes de salinidad, de estos tipos los estudios más avanzados han estado enfocados al aprovechamiento de la potencia mareomotriz y la del oleaje.

**Producción de hidrógeno:** un método alternativo para la producción de hidrógeno con separación de carbono es la descomposición termo-catalítica del gas natural. La descomposición catalítica ocurre a elevadas temperaturas y da como resultado la formación de hidrógeno y carbón elemental. En dicho proceso están presentes el estudio y conocimiento de la energía solar.

**Energía del viento:** con la finalidad de producir potencia mecánica, la energía del viento se extrae a partir del flujo del aire a través de turbinas de viento. La energía del viento es una fuente alternativa de energía que tiene las características de ser limpia debido a que no emite gases contaminantes durante su operación.

El objetivo de esta línea de investigación es la formación de recursos humanos, altamente especializados, en aspectos teóricos, numéricos y experimentales, que incidan en el crecimiento científico de nuestro país, en áreas de investigación científica de vanguardia, relacionadas con el aprovechamiento de fuentes alternas de energía.

En esta línea de investigación participarán de manera directa los **3** profesores de tiempo completo (PTC) del núcleo académico básico que a continuación se citan (**ver medio de verificación 4.1 Superación académica**):

1. Dr. Eric Gustavo Bautista Godínez (Nivel SNI I)
2. Dr. René Osvaldo Vargas Aguilar (Nivel SNI I)
3. Dr. Alejandro Zacarías Santiago (Nivel SNI en evaluación)

Adicionalmente, la Figura 5 muestra la trayectoria curricular respecto a los ejes metodológicos, formativos y disciplinarios que deben de seguir los alumnos que ingresan en la Maestría en Ciencias en Termofluidos, tomando en cuenta las LGAC mostradas anteriormente.

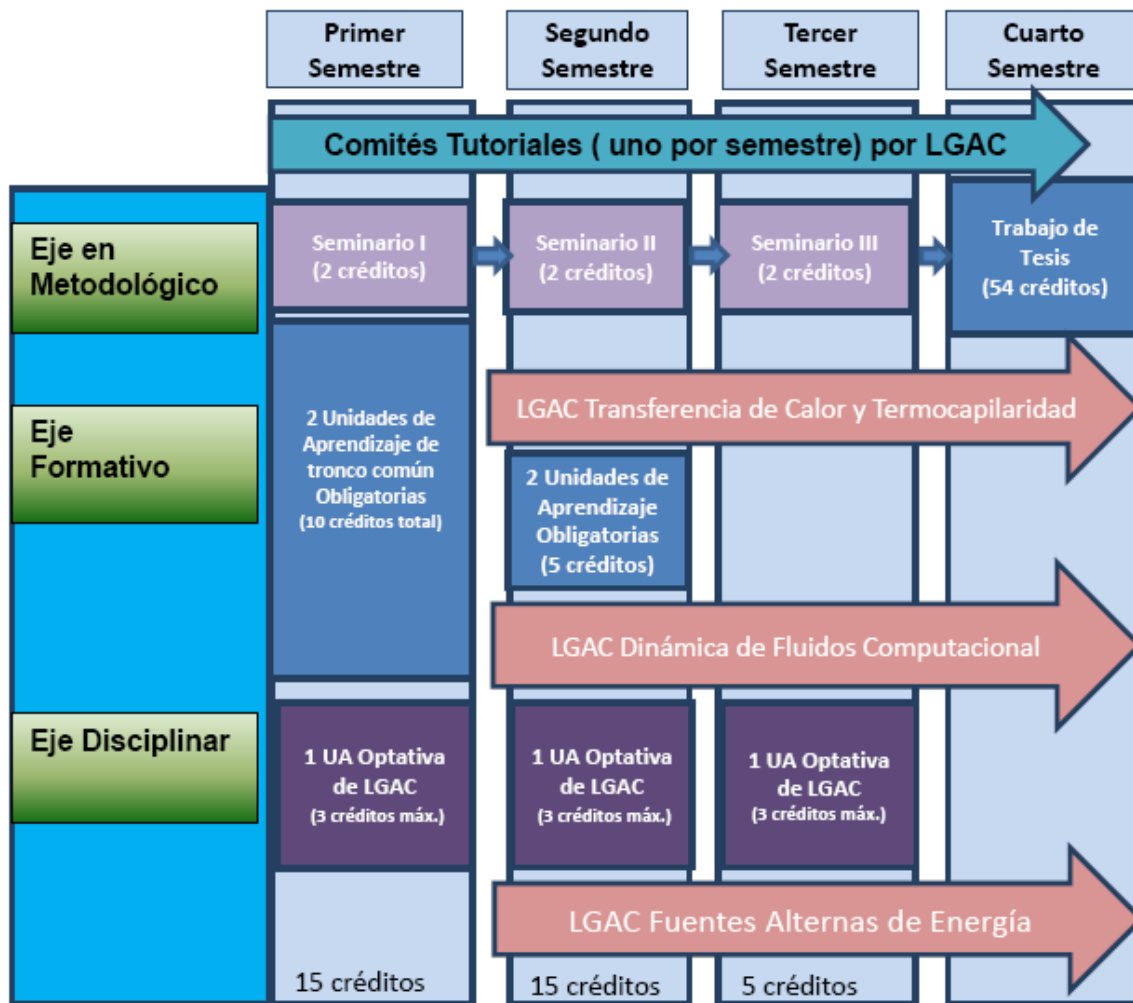


Figura 5: Trayectoria curricular del programa de la Maestría en Ciencias en Termofluidos.

**1.5.2 Distribución de las Unidades de Aprendizaje**

A continuación se presentan las características de cada una de las unidades de aprendizaje que lo conforman, número de horas por semana/semestre, número de créditos y si la materia es teórica (T), práctica (P) o seminario (S).

**Primer Semestre**

Clave	Unidad de aprendizaje	H/semana	Créditos
08B5474	Métodos Matemáticos	4	5
08B5475	Mecánica de Fluidos Avanzada	4	5
08B5476	Seminario I	2	2
	Optativa I	-	-

**Segundo Semestre**

Clave	Unidad de aprendizaje	H/semana	Créditos
08B5477	Métodos Experimentales	4	5
08B5478	Seminario II	2	2
08B5483	Dinámica de Fluidos Computacional	4	5
	Optativa II	-	-

**Tercer Semestre**

Clave	Unidad de aprendizaje	H/semana	Créditos
08B5479	Seminario III	2	2
	Optativa III	-	-

**Cuarto Semestre**

Clave	Unidad de aprendizaje	H/semana	Créditos
08B4670	Trabajo de Tesis	2	2



Las Figuras 6, 7 y 8 presentan mapas curriculares sugeridos de acuerdo a las tres líneas de investigación que contiene este programa de posgrado, donde se distribuyen las unidades de aprendizaje por semestre.





***TRANSFERENCIA DE CALOR Y TERMOCAPILARIDAD EN  
ESCALAS MACRO Y MICROMÉTRICAS***

***PRIMER SEMESTRE***

- Métodos matemáticos
- Mecánica de fluidos avanzada
  - Conducción de calor
  - Seminario I

***SEGUNDO SEMESTRE***

- Métodos experimentales
- Dinámica de Fluidos Computacional
  - Seminario II

***TERCER SEMESTRE***

- Convección de calor
- Seminario III

***CUARTO SEMESTRE***

- Elaboración de tesis

Figura 6: Mapa curricular propuesto para la línea de investigación 1:  
Transferencia de Calor y Termocapilaridad.



## ***DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL***

### ***PRIMER SEMESTRE***

- Métodos matemáticos
- Mecánica de fluidos avanzada
- Transferencia de calor
- Seminario I

### ***SEGUNDO SEMESTRE***

- Métodos experimentales
- Dinámica de fluidos computacional
- Microflujos y nanoflujos
- Seminario II

### ***TERCER SEMESTRE***

- Termodinámica avanzada
- Seminario III

### ***CUARTO SEMESTRE***

- Elaboración de tesis

Figura 7: Mapa curricular propuesto para la línea de investigación 2:  
Dinámica de Fluidos Computacional



## ***FUENTES ALTERNAS DE ENERGÍA***

### ***PRIMER SEMESTRE***

- Métodos matemáticos
- Mecánica de fluidos avanzada
- Fuentes alternas de energía
- Seminario I

### ***SEGUNDO SEMESTRE***

- Métodos experimentales
- Dinámica de fluidos computacional
- Optimización termodinámica
- Seminario II

### ***TERCER SEMESTRE***

- Temas selectos de mejoramiento ambiental
- Seminario III

### ***CUARTO SEMESTRE***

- Elaboración de tesis

Figura 8: Mapa curricular propuesto para la línea de investigación 3:  
Fuentes Alternas de Energía.



Las unidades de aprendizaje obligatorias tienen como objetivo proporcionar a todos los alumnos una base sólida de los conocimientos necesarios para incursionar al campo de ingeniería con orientación en termofluidos en cualquiera de las tres LGAC y son las siguientes (*ver el medio de verificación 8.2 Unidades de aprendizaje*):

**1. Métodos Matemáticos.**

**Objetivo.** Que el alumno domine las herramientas de las matemáticas avanzadas. Que sepa resolver problemas de ciencias e ingeniería mediante el conocimiento del cálculo de varias variables, series de Fourier, transformadas integrales y ecuaciones en derivadas parciales.

**1. Mecánica de Fluidos Avanzada.**

**Objetivo.** Que el alumno domine los conceptos fundamentales de la mecánica de fluidos, en particular, que conozca la formulación y los diversos métodos de solución de las ecuaciones de Navier-Stokes bajo diferentes condiciones de flujo de fluidos.

**2. Métodos Experimentales.**

**Objetivo.** Se introducirá al alumno en los métodos experimentales, sensores, manipulación y adquisición de datos de equipo electrónico con énfasis en aplicaciones de la mecánica de fluidos y transferencia de calor. Conocerá los métodos estadísticos para el análisis de datos de experimentos y la calibración de equipos de medición.

**4. Dinámica de Fluidos Computacional.**

**Objetivo.** El alumno deberá adquirir los principios fundamentales de la dinámica de fluidos computacional, mediante el estudio de distintos esquemas de soluciones discretas, que le permitan comprender, desarrollar e implementar modelos numéricos en la solución de problemas de ingeniería relacionados con fenómenos de transporte. El alumno adquirirá los conocimientos necesarios para resolver sistemas de ecuaciones diferenciales ordinarias, en derivadas parciales, ligadas a los distintos fenómenos de transporte (fluidos, calor y masa), que de manera ordinaria no tienen solución analítica, mediante estudios de los distintos métodos numéricos existentes en la Dinámica de Fluidos Computacional. Aplicará sus conocimientos fundamentales de CFD para realizar análisis y diseño de sistemas térmicos y de fluidos, mediante la aplicación y uso de software especializado (FLUENT, CHEMKIN, etc).

#### **1.5.4 Unidades de aprendizaje de Seminarios**

Los seminarios están enfocados a que el estudiante defina el tema de tesis en el cual trabajará, y son el medio en el cual el tutor o director de tesis le haga seguimiento al trabajo de investigación propuesto del alumno, consta de los siguientes:

**1. Seminario I**

**Objetivo.** Elaborar una propuesta del proyecto de investigación y registrarla oficialmente. El procedimiento de evaluación es el registrar el tema de tesis, justificación, capitulado y cronograma.

**2. Seminario II**

**Objetivo.** Reportar avances de tesis en un 50-60 %.

**3. Seminario III**



**Objetivo.** Reportar avances de tesis en un 60-80 %.

### 1.5.5 Unidades de Aprendizaje Optativas

Son las unidades de aprendizaje que les permite a los alumnos seleccionar las temáticas de su interés, ya que les ofrece a los estudiantes los conocimientos específicos y necesarios para desarrollar su proyecto de investigación, según la línea de investigación elegida. Las unidades de aprendizaje optativas son las siguientes (*ver el medio de verificación 8.2 sobre las unidades de aprendizaje*):

#### 1. Combustión

**Objetivo.** Que el alumno comprenda los principales mecanismos de la combustión y la cinética química y sus aplicaciones en la descripción de distintos tipos de problemas de detonación y de flamas.

#### 2. Conducción de calor

**Objetivo.** El alumno será capaz de conocer y comprender las leyes fundamentales del fenómeno de conducción de calor en materiales isotrópicos y anisotrópicos. Comprender los métodos de solución a problemas de calor en estado estacionario y transitorio en sistemas unidimensionales, bidimensionales y tridimensionales, con fuentes internas de generación de calor, flujos de calor periódicos, problemas que involucran cambio de fase, técnicas analíticas, aproximadas y métodos numéricos. Aplicar los fundamentos y métodos de solución aprendidos a lo largo del curso, con la finalidad de llevar a cabo análisis y diseño de sistemas térmicos en los que esté involucrada la conducción de calor.

#### 3. Convección de calor

**Objetivo.** Proporcionar al estudiante las herramientas necesarias con el fin de que adquiera los conocimientos de los fundamentos de la transferencia de calor por convección, desde el punto de vista físico y matemático. El estudiante desarrollará la habilidad para resolver problemas de convección de calor adecuadamente, mediante la aplicación de los conceptos fundamentales de la materia, tales como flujo en capa límite, flujo laminar en ductos, convección natural externa e interna, así como los relacionados con problemas de cambio de fase. El alumno desarrollará la habilidad para resolver problemas de convección en sistemas simples y complejos, mediante técnicas analíticas y numéricas. Proporcionar a los estudiantes los antecedentes necesarios para que comprenda la literatura referente con el tema. El estudiante adquirirá la habilidad de síntesis y análisis de problemas relacionados con la convección térmica, así como su relación con los diferentes modos de transferencia de calor.

#### 4. Flujo granular

**Objetivo.** El alumno dominará los principios fundamentales del flujo granular diluido y denso y sus principales aplicaciones.



**5. Flujo multifásico en medios porosos**

**Objetivo.** El alumno dominará los principios fundamentales del flujo granular diluido y denso y sus principales aplicaciones.

**6. Reología**

**Objetivo.** Que el alumno estudie los conceptos y las bases matemáticas de la reología, que sea capaz de caracterizar un fluido no newtoniano e interpretar datos reológicos, comprenda la importancia de la reología en el procesamiento de materiales.

**7. Método del elemento frontera**

**Objetivo.** El alumno deberá adquirir los principios fundamentales del método del elemento frontera (BEM), mediante el estudio de distintos esquemas de soluciones discretas, que le permitan comprender, desarrollar e implementar modelos numéricos en la solución de problemas de ingeniería relacionados con la dinámica de fluidos. Aplicar conocimientos fundamentales del BEM para realizar análisis de fenómenos termocapilares con superficie libre mediante la aplicación y uso de software especializado (fortran, fluent, etc.)

**8. Flujo compresible**

**Objetivo.** Que el estudiante sea capaz de analizar y comprender el significado de las leyes de conservación y de las ecuaciones de flujo compresible, proveyendo de una metodología sistemática y estructurada de la solución de problemas, que envuelvan flujos compresibles internos y externos.

**9. Fuentes alternas de energía**

**Objetivo.** El alumno deberá adquirir una perspectiva de las nuevas tendencias energéticas mundiales, del uso de fuentes alternas de energía, que le permita seleccionar y estudiar una estructura sistema transformador de energía.

**10. Mecánica del medio continuo**

**Objetivo.** El alumno obtendrá las bases físicas y matemáticas para el estudio de materiales deformables, idealizados como medios continuos y será capaz de usar los fundamentos necesarios para mecánica y dinámica de fluidos, teoría de la elasticidad, plasticidad y ecuaciones constitutivas generales.

**11. Medios porosos**

**Objetivo.** Que el alumno comprenda y aplique los conceptos y métodos modernos del flujo en medios porosos homogéneos y no homogéneos, incluyendo flujo multifásico, no isotérmico y no saturado.

**12. Métodos asintóticos y de perturbación**

**Objetivo.** El estudiante adquirirá el conocimiento básico para tener un claro entendimiento y sistemático de los métodos de perturbación. Conocerá y aplicará los diferentes métodos de perturbación: perturbación regular, perturbación singular (escalas múltiples, capa límite) a la solución de ecuaciones diferenciales, para la solución analítica "aproximada" de ecuaciones diferenciales lineales y no lineales. El estudiante aplicará los métodos de perturbación a la solución de problemas de la física matemática, poniendo especial énfasis en el modelado y solución de ecuaciones diferenciales ordinarias y parciales, lineales y no lineales. Resolverá problemas en los



que se vean involucradas ecuaciones integrales e integro-diferenciales, y su aplicación a problemas de ingeniería.

**13. Microflujos y nanoflujos**

**Objetivo.** Analizará y comprenderá las principales características del flujo de gases y líquidos en micro y nano canales, mediante técnicas analíticas, numéricas y experimentales. Comprenderá y analizará las características de la transferencia de calor en mini y micro canales. Aplicará los conceptos de la mecánica de fluidos y transferencia de calor al análisis y diseño de sistemas de enfriamiento de sistemas microelectrónicos, así como su aplicación a sistemas microelectromecánicos (MEMS) Aplicará los conceptos fundamentales de esta área a sistemas industriales, biológicos y químicos.

**14. Optimización termodinámica**

**Objetivo.** Al finalizar el curso el alumno conocerá el campo de la minimización de la generación de entropía para la optimización termodinámica de dispositivos reales, mediante la aplicación de los conceptos fundamentales de la mecánica de fluidos, la transferencia de calor y la termodinámica de manera conjunta. El principio de la minimización de generación de entropía aplica dichos conceptos al modelado y optimización de sistemas reales y procesos que se caracterizan por restricciones tamaños y tiempos finitos en que ocurren los procesos, y que se encuentran limitados por las irreversibilidades de la transferencia de calor, transferencia de masa y el flujo de fluidos. En el curso se incluyen la optimización de intercambiadores de calor, plantas de potencia, refrigeradores y optimización de sistemas de energía solar. Lo anterior se logrará aplicando técnicas de optimización como son el cálculo variacional, técnicas de programación lineal y no lineal.

**15. Radiación térmica**

**Objetivo.** El estudiante será capaz de formular y analizar problemas de radiación térmica y modos combinados de transferencia de calor. Determinar propiedades de radiación térmica de superficies. Resolver problemas de medios emisores y absorbentes, así como de gases y otros medios semi-transparentes. Se incluyen también medios isotrópicos dispersos. Aplicar los conocimientos adquiridos a lo largo del curso en la solución de problemas de ingeniería en que se encuentra presente la radiación térmica.

**16. Temas selectos de mejoramiento ambiental**

**Objetivo.** El alumno deberá adquirir una perspectiva de la física de interacción atmósfera-océano, mediante la aplicación de las leyes fundamentales de la mecánica de fluidos, que le permita comprender el efecto del medio ambiente en obras ingenieriles.

**17. Termocapilaridad**

**Objetivo.** Que el estudiante comprenda y domine los mecanismos que determinan los flujos de fluidos a través de capilares, microcapilares y medios porosos, así como en interfaces, incluyendo efectos térmicos.

**18. Termodinámica avanzada**

**Objetivo.** En la primera parte del curso el estudiante conocerá desde un punto de vista fundamental los principios y leyes básicos de la termodinámica clásica, lo que permitirá que en una segunda parte comprenda los conceptos de termodinámica irreversible. Con lo anterior, el alumno



estará en la posibilidad de aplicar los fundamentos de la termodinámica al análisis y diseño de sistemas termodinámicos.

**19. Transferencia de calor: Conducción, convección y radiación**

**Objetivo.** El alumno comprenderá los fundamentos de la transferencia de calor (conducción, convección y radiación), y la importancia que tiene esta materia en su aplicación en una gran variedad de fenómenos de transporte de energía. Esto lo logrará con la exposición de temas relacionados y solución de ejercicios. A lo largo del curso se abordarán temas de actualidad y sus aplicaciones en el análisis de sistemas fluido-térmicos los estudiantes realizarán prácticas experimentales con equipo de medición de vanguardia: micro piv, cámara térmica y cámara rápida, con el fin de fortalecer los conocimientos teóricos adquiridos. Al finalizar el curso, el alumno será capaz de diseñar y análisis sistemas térmicos en los que estén presentes los fenómenos de transporte de energía.

**20. Turbulencia**

**Objetivo.** Que el estudiante sea capaz de manipular los principios fundamentales de las metodologías experimentales y numéricas, aplicadas al estudio de la turbulencia mediante clases teóricas y prácticas de laboratorio, que le capacite para una cabal comprensión del fenómeno de la turbulencia.

**21. Teoría de ondas en flujos a superficie libre**

**Objetivo.** El alumno deberá adquirir una perspectiva de la física de la oscilación de ondas en flujos a superficie libre, mediante la aplicación de las leyes fundamentales de la mecánica de fluidos y su interacción con estructuras ingenieriles.

**22. Dinámica no lineal y caos**

**Objetivo.** Introducir al alumno al estudio del fenómeno del caos dinámico desde la perspectiva de la teoría de los sistemas dinámicos. Se desarrollan los conceptos de estabilidad, de bifurcación, de hiperbolicidad, de ruta hacia el caos, de dinámica simbólica y los relacionados con las propiedades estadísticas o de medida y se aplican a la comprensión y al análisis del caos dinámico.

A continuación se presentan las características de cada una de las unidades de aprendizaje optativas, número de horas por semana/semestre, número de créditos y si la materia es teórica (T), práctica (P) o seminario (S).





**Asignaturas Optativas**

<b>Clave</b>	<b>Unidad de aprendizaje</b>	<b>H/semana</b>	<b>Créditos</b>
08B5480	Combustión	3	3
08B5481	Conducción de Calor	3	3
08B5482	Convección de Calor	3	3
12B5665	Flujo Granular	3	3
13A6632	Flujo Multifásico en Medios Porosos	3	3
13A6631	Reología	3	3
12B6564	Método del Elemento Frontera	3	3
08B5484	Flujo Compresible	3	3
08B5485	Fuentes Alternas de Energía	3	3
08B5486	Mecánica del Medio Continuo	3	3
08B5487	Medios Porosos	3	3
08B5488	Métodos Asintóticos y de Perturbación	3	3
08B5489	Microflujos y Nanoflujos	3	3
08B5490	Optimización Termodinámica	3	3
08B5491	Radiación Térmica	3	3
08B5492	Temas Selectos de Mejoramiento Ambiental	3	3
08B5493	Termocapilaridad	3	3
08B5494	Termodinámica Avanzada	3	3
08B5495	Transferencia de Calor: Conducción, Convección y Radiación	3	3
08B5496	Turbulencia	3	3
11A6305	Teoría de Ondas en Flujos a Superficie Libre	3	3
11A6306	Dinámica no Lineal y Caos	3	3

Actualmente la Maestría en Ciencias en Termodinámica propone tres líneas de investigación: 1) Transferencia de calor y masa, 2) Dinámica de Fluidos Computacional y 3) Fuentes Alternas de Energía, **ver medios de verificación 15.1 Justificación de las LGAC**. Por tanto, la Figura 9 se muestra un listado de las materias optativas sugeridas de cada una de las líneas de investigación.



### MATERIAS OPTATIVAS

#### Línea de Investigación 1: TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA (ESCALAS MACRO, MICRO Y NANOMÉTRICAS)

- Conducción de calor
- Convección de calor
- Radiación térmica
- Termocapilaridad
- Medios porosos
- Transferencia de calor
- Flujo Multifásico en medios porosos
- Transferencia de calor: conducción, convección y radiación

#### Línea de Investigación 2: DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL

- Dinámica de fluidos computacional
- Microflujos y nanoflujos
- Flujo compresible
- Turbulencia
- Combustión
- Flujo granular
- Reología

#### Línea de Investigación 3: FUENTES ALTERNAS DE ENERGÍA

- Fuentes alternas de energía
- Temas selectos de mejoramiento ambiental
- Optimización termodinámica
- Método del elemento frontera
- Teoría de ondas en flujos a superficie libre

#### Temas selectos (o algún otro de acuerdo al criterio del asesor y del alumno):

- Métodos asintóticos y de perturbación
- Mecánica del medio continuo
- Dinámica no lineal y caos
- Termodinámica avanzada

El alumno a criterio del consejero de estudios o director de tesis podrá combinar de manera flexible las asignaturas optativas de las líneas de investigación de acuerdo a las necesidades de su proyecto de investigación.

Figura 9: Materias optativas del plan de estudios sugeridas de acuerdo a las líneas de investigación.



### **1.5.6 Organización de Contenidos en Dimensión de Verticalidad**

El plan de estudios de la Maestría en Ciencias en Termofluidos está diseñado de tal forma que durante su primer semestre, el alumno cursará 2 unidades de aprendizaje obligatorias, una optativa y un seminario de investigación. Los investigadores responsables de las diferentes líneas de investigación, profesores invitados e investigadores de otras universidades darán a conocer a los alumnos los temas relacionados con sus trabajos de investigación, de manera que el alumno escoja un consejero académico e inicie su protocolo de investigación, A lo largo del semestre referido, el alumno presentará los avances de su proyecto de tesis, debiendo registrarlo oficialmente antes de finalizar el semestre en curso.

En segundo semestre el estudiante el estudiante cursará dos unidades de aprendizaje obligatorias, una asignatura optativa y un seminario de investigación. Es importante señalar que las unidades de aprendizaje que el estudiante curse serán seleccionadas por éste junto con su consejero académico. Las actividades que el alumno desarrollará en el Seminario de Investigación estarán íntimamente ligadas con el tema que haya elegido para su trabajo de tesis. En este Seminario dará seguimiento a su investigación y a lo largo del semestre referido, realizarán una presentación de los avances de su proyecto de tesis. Durante el tercer semestre el alumno solo toma unidades de aprendizaje optativas en base a las necesidades del desarrollo del tema de tesis y el último Seminario de Investigación donde se presentarán los avances correspondientes al tema de investigación que desarrolla; se pretende que en este periodo el alumno tenga al menos un avance del trabajo de tesis del 60-80 %.

En el cuarto semestre el alumno, solo se enfoca en la culminación de su tema de tesis y solicita a su comisión revisora conformada por los mismos profesores designados para su comité tutorial, dado que ya conocen el tema. La comisión determina si han alcanzado los objetivos que se plantearon en el protocolo y si el alumno está listo para realizar su examen de grado.

### **1.5.7 Organización de Contenidos en Dirección de Horizontalidad**

La horizontalidad del Plan de Estudios se ve reflejada en la interacción entre los diferentes seminarios y los comités tutoriales de los estudiantes. Los resultados de la evaluación de los comités tutoriales de los estudiantes, sirve como retroalimentación para el desarrollo de su tesis. Los comentarios e información obtenida del comité tutorial, le permite al director de tesis reorientar las estrategias de asesorías y darle un mejor seguimiento al desarrollo del tema de tesis.

### **1.5.8 Número de Unidades de Aprendizaje por Periodo Lectivo**

El estudiante debe cursar diez unidades de aprendizaje que se distribuyen de la siguiente manera:

**Primer semestre:** Cuatro unidades de aprendizaje de las cuales, dos son obligatorias, un seminario y una optativa.



**Segundo semestre:** Cuatro unidades de aprendizaje de las cuales, dos unidades de aprendizaje obligatorias, un seminario y una optativa.

**Tercer semestre:** Dos unidades de aprendizaje de las cuales, un seminario y una optativa.

**Cuarto semestre:** Trabajo de tesis.

En general el estudiante cursa 10 unidades de aprendizaje de la cual 4 son obligatorias con un valor de 5 créditos, tres seminarios de 2 créditos cada uno, 3 optativas de 3 créditos y trabajo de tesis con 54 créditos, lo que hacen un total de 89 créditos.

### **1.5.9 Flexibilidad e Interacción entre las LGAC**

La flexibilidad curricular del programa de la Maestría en Ciencias en Termofluidos es una característica del plan de estudio que permite al alumno definir su trayectoria escolar dentro del marco de la normatividad aplicable. Como ya se describió, el plan de estudios está conformado por 30 unidades de aprendizaje (100 %), de las cuales cuatro son obligatorias (13.33 %), tres son de seminarios de investigación (10 %), veintidos son optativas (77.33 %) y una es de trabajo de tesis (3.33%).

Las unidades de aprendizaje obligatorias tienen como objetivo proporcionar a todos los alumnos una base sólida de los conocimientos necesarios para incursionar en cualquiera de las tres líneas de generación y/o aplicación del conocimiento (LGAC). Los seminarios de investigación, están enfocados a que el estudiante defina y de seguimiento al tema de tesis en el cual trabajara, este seminario es llevado por el consejero o director de tesis del alumno. Las unidades de aprendizaje optativas, que son el 73.33 % del mapa curricular, que les permite a los estudiantes seleccionar una amplia diversidad de temáticas de su interés, ofreciendo los conocimientos necesarios para poder desarrollar su investigación y culminar con éxito su trabajo de tesis, en cualquiera de las líneas de investigación elegidas. Como se señaló en la Figura 9, “el alumno a criterio del consejero de estudios o director de tesis podrá combinar de manera flexible las asignaturas optativas de las líneas de investigación de acuerdo a las necesidades de su proyecto de investigación”.