

FS-0408 Termodinámica

Carta al estudiante

Requisitos: MA-1002 y FS-0327
Horas: martes de 3:00 a 3:50 p.m., viernes de 3:00 a 4:50 p.m., aula FM-213
Créditos: 3
Modalidad: propio
Ciclo: I-2016
Profesor: Alejandro Jenkins, alejandro.jenkins@gmail.com
Asistentes: Alejandro Godínez, alegod02@hotmail.com
Andrés Hernández, andresdha@gmail.com
Sitio web: <https://sites.google.com/site/escalanatural/>

Objetivo general

“Nada en todo el ámbito de la Filosofía Natural es más extraordinario que el establecimiento de leyes generales por un proceso de razonamiento semejante.”

— William Thomson, barón Kelvin, “Una explicación de la teoría de Carnot del poder motriz del calor” (1849)

“Una teoría es más impresionante entre mayor sea la simplicidad de sus premisas, entre más tipos distintos de cosas relacione entre sí y entre más extenso sea su dominio de aplicación. De ahí la profunda impresión que dejó en mí la termodinámica clásica. Es la única teoría física de contenido universal de la que estoy convencido que, en el marco de pertinencia de sus conceptos básicos, no será derribada nunca.”

— Albert Einstein, “Notas autobiográficas” (1949)

“¡En esta casa obedecemos las leyes de la termodinámica!”

— Homero Simpson

La termodinámica estudia los procesos que transforman el calor en trabajo mecánico y viceversa. A partir de ciertos postulados generales fundados en la experiencia, deduce restricciones aplicables a cualquiera de estos procesos, restricciones que denominamos “leyes de la termodinámica”. La termodinámica es, por lo tanto, de una herramienta conceptual de enorme importancia no solo para la física y para la meteorología, sino también para la química y para muchas ramas de la ingeniería.

Este curso cubre principalmente la *termodinámica fenomenológica* (o “termodinámica clásica”) desarrollada en el siglo XIX por Carnot, Clausius, Kelvin, Maxwell y Gibbs, entre otros. Cubrirá las leyes generales de la termodinámica, así como sus aplicaciones a sistemas de particular interés conceptual o práctico. Hacia el final del curso se discutirán brevemente los conceptos elementales de la *mecánica estadística*, inaugurada por Maxwell, Boltzmann y Gibbs, que explica las leyes de la termodinámica en términos de las propiedades estadísticas de las colectividades de posibles estados de un sistema integrado por un gran número de partículas. Este enfoque apunta a la necesidad de una física *cuántica* que describa la materia y la radiación a nivel microscópico, dándole a la termodinámica un lugar fundamental en el desarrollo de la física moderna.

Contenidos

1. Sistemas termodinámicos y sus transformaciones
 - a. Propiedades intensivas y extensivas
 - b. Trabajo, calor, equilibrio y temperatura

- c. Ley cero y elementos de termometría
 - d. Transformaciones reversibles e irreversibles
 - e. Transformaciones cuasi-estáticas, adiabáticas e isotérmicas
 - f. Ley de los gases ideales y otras posibles ecuaciones de estado
 - g. Calores específicos
 - h. Cambios de fase de primer y segundo orden
 - i. Diagramas de fase
2. Primera ley: Conservación de energía
 - a. Equivalencia entre trabajo y calor
 - b. Diagramas de presión vs. volumen
 - c. Calores específicos para gases ideales
 - d. Transformaciones adiabáticas de un gas
 - e. Velocidad del sonido en el aire
 3. Segunda ley: Entropía e irreversibilidad
 - a. Imposibilidad del movimiento perpetuo
 - b. Enunciados de Clausius y Kelvin de la segunda ley
 - c. Ciclo de Carnot, límite de eficiencia y escala absoluta de temperatura
 - d. Entropía: procesos reversibles e irreversibles
 - e. Análisis de exergía
 4. Ciclos termodinámicos: Motores y refrigeradores
 - a. Diagramas de entropía vs. temperatura
 - b. Ciclo termodinámico de un huracán
 - c. Criterio de Rayleigh-Eddington
 - d. Dinámica auto-oscilatoria del pistón
 - e. Combustión externa: ciclo de Stirling
 - f. Combustión interna: ciclos de cuatro tiempos (Otto y Diesel)
 - g. Oscilaciones termo-acústicas
 5. Potenciales termodinámicos
 - a. Teorema de Euler para funciones homogéneas
 - b. Transformación de Legendre
 - c. Entalpía y energía libre
 - d. Relaciones de Maxwell
 - e. Regla de fases de Gibbs
 - f. Potencial químico
 - g. Relación de Gibbs-Duhem
 - h. Celdas galvánicas (baterías)
 6. Transformaciones en gases y soluciones diluidas
 - a. Relación de Clausius-Clapeyron
 - b. Ecuación de estado de Van der Waals
 - c. Caja de reacción de Van't Hoff y ley de masas
 - d. Principio de Le Châtelier
 - e. Presión osmótica
 - f. Equilibrio químico entre soluciones
 - g. Presión de vapor, punto de ebullición y punto de fusión para soluciones
 7. Tercera ley: Constante de entropía
 - a. Teorema de Nernst
 - b. Aplicación del teorema de Nernst a sólidos
 - c. Constante de entropía para gases y ecuación de Sackur-Tetrode
 - d. Efecto termiónico
 8. Elementos de mecánica estadística
 - a. Macro-estados y micro-estados
 - b. Interpretación estadística de la entropía (Boltzmann)
 - c. Colectividades estadísticas
 - d. Necesidad de la mecánica cuántica
 - e. Teorema H y flecha del tiempo

Libros de texto y referencia

El libro de texto asignado para este curso es:

E. Fermi, *Termodinámica*, 5ª ed. en español (Eudeba, 1985).

Este libro ofrece una excelente organización lógica y una exposición muy clara, pero puede resultar demasiado sucinto en su tratamiento de algunos temas, y no cubre todos los contenidos indicados arriba. Por lo tanto se le sugiere al estudiante que consulte, además de los apuntes de clase y las fotocopias que el profesor distribuya, otros textos disponibles de física térmica a nivel de pregrado, tales como

H. B. Callen, *Termodinámica: Introducción a las teorías físicas de la termostática del equilibrio y de la termodinámica irreversible* (Editorial AC, 1985)

M. W. Zemansky y R. H. Dittman, *Calor y termodinámica*, 6ª ed. (McGraw-Hill, 1985),

traducidos al español, y

G. Carrington, *Basic Thermodynamics* (Oxford, 1994)

D. V. Schroeder, *An Introduction to Thermal Physics* (Addison-Wesley, 2000)

disponibles solo en inglés. Otra fuente cuya consulta puede resultar útil como complemento a los otros textos es

R. P. Feynman, R. B. Leighton y M. Sands, *The Feynman Lectures on Physics. Vol. I: Mecánica, radiación y calor*, ed. bilingüe (Fondo Educativo Interamericano, 1972), caps. 44 a 46.

Sobre el análisis de exergía (punto 3e) se recomienda consultar

M. J. Moran y H. N. Shapiro, *Termodinámica técnica*, 2ª ed. (Reverté, 2004).

Metodología

El profesor impartirá un total de tres horas de clase por semana, en una sesión de una hora el martes y otra sesión de dos horas el viernes. Los apuntes correspondientes serán colocados posteriormente en la página del curso. Las clases combinarán exposiciones magistrales con la resolución de ejercicios y la demostración de diferentes conceptos, ya sea con materiales de laboratorio o mediante presentaciones audiovisuales. El viernes se asignará una tarea, a ser entregada el viernes siguiente. Fuera de la clase, se espera que el estudiante dedique por lo menos diez horas por semana al curso.

Es importante tener en cuenta que **el grado de dificultad del curso aumentará sustancialmente después del primer examen parcial**, especialmente al cubrir los puntos 5, 6 y 7 en la lista de contenidos. Por lo tanto es fundamental que el estudiante lleve la materia al día y mantenga su nivel de esfuerzo durante todo el semestre.

Al preparar las tareas, el estudiante puede consultar sus notas, libro de texto, compañeros, etc., pero *no* es permitido copiar soluciones al mismo problema que encuentre en Internet o en algún otro medio. El profesor se reserva el derecho de pedirle al estudiante que explique su solución a alguna parte de su tarea. **Si el alumno no entiende su propia solución, se le anulará el puntaje co-**

rrespondiente. De ser posible, se concertará una hora con los estudiantes para que uno de los asistentes explique las soluciones a los problemas de la tarea ya calificada.

La evaluación principal del curso consistirá de dos exámenes parciales y un examen final acumulativo. Los exámenes serán a libro cerrado. Cualquier fórmula o dato necesario para resolver un problema y que no sea razonable esperar que el alumno haya memorizado será consignado en el enunciado del examen. En caso de que el examen vaya a requerir el uso de una calculadora, se realizará un anuncio previo al respecto en clase y en la página del curso.

Evaluación

15%	tareas
25%	primer examen parcial
25%	segundo examen parcial
35%	examen final

Los exámenes parciales se realizarán en día sábado y durarán tres horas cada uno. Las fechas se indican en el cronograma que acompaña a esta carta. La hora y el lugar de cada examen será anunciado con antelación en clase.

El examen final será el martes 5 de julio, de 2:00 a 5:50 p.m. Habrá una sesión de repaso para el examen final el sábado 2 de julio, en un lugar y a una hora por definirse. De ser necesario, las notas finales podrán ser ajustadas mediante una curva, a criterio del profesor. Habrá un examen de ampliación (para quienes hayan obtenido notas finales de 6 o 6,5) el viernes 15 de julio, en un lugar y a una hora por definirse.

No se aceptarán tareas atrasadas, pero la nota más baja en una tarea será obviada. Una evaluación únicamente se podrá reponer con autorización previa del profesor por una razón debidamente justificada, o con una excusa médica oficial presentada según el reglamento universitario.

Horas de consulta

Oficina FM-109, jueves de 5:00 a 6:30 p.m. También puede ser por cita previa en otro horario.

Cronograma

Fecha	Tema
K 08-03-16	1 a,b
V 11-03-16	1 b,c
K 15-03-16	1 d,e
V 18-03-16	1 e,f
K 22-03-16	Feriado
V 25-03-16	Feriado
K 29-03-16	1 g,h
V 01-04-16	1 h,i
K 05-04-16	2 a,b
V 08-04-16	2 b,c
K 12-04-16	2 d,e
V 15-04-16	2 e, 3 a
K 19-04-16	3 b,c
V 22-04-16	3 c,d
K 26-04-16	3 d,e
V 29-04-16	4 a,b
K 03-05-16	4 c,d
V 06-05-16	4 e,f
S 07-05-16	Primer examen parcial
K 10-05-16	5 a,b
V 13-05-16	5 b,c
K 17-05-16	5 d,e
V 20-05-16	5 f,g
K 24-05-16	5 g,h
V 27-05-16	6 a,b
K 31-05-16	6 c
V 03-06-16	6 d,e
K 07-06-16	6 e,f
V 10-06-16	6 f,g
S 11-06-16	Segundo examen parcial
K 14-06-16	7 a,b
V 17-06-16	7 c,d
K 21-06-16	8 a,b
V 24-06-16	8 b,c
K 28-06-16	8 c,d
V 01-07-16	8 d,e
S 02-07-16	Sesión de repaso
K 05-07-16	Examen final
V 15-07-16	Examen de ampliación

Nota: La distribución por fechas de los temas puede requerir de algún ajuste durante el transcurso del semestre.