

FS-0408 Termodinámica

Carta al estudiante

Ciclo:	I-2018
Requisitos:	MA-1002 y FS-0327
Horario:	martes de 11:00 a.m. a 12:50 p.m y viernes de 11:00 a 11:50 a.m., aula FM-001
Créditos:	3
Modalidad:	propio
Profesor:	Alejandro Jenkins, alejandro.jenkins@gmail.com
Asistentes:	Matías Álvarez, malgo@costarricense.cr Alexánder Mora, cal1pso0708@gmail.com
Sitio web:	https://sites.google.com/site/escalanatural/

Motivación

“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 postulados generales fundados en la experiencia, postulados que llamamos “leyes de la termodinámica”, deduce restricciones aplicables a cualquiera de estos procesos. La termodinámica es, por lo tanto, una herramienta conceptual de enorme importancia no solo para la física y para la meteorología, sino también para la química y la ingeniería.

Este curso cubre principalmente la *termodinámica fenomenológica* (o “termodinámica clásica”) desarrollada en el siglo XIX por Carnot, Mayer, Joule, 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 introducirán 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 mecánico 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.

Objetivo general

Se espera que para el final del curso el estudiante haya desarrollado una comprensión sólida del significado y alcance de las leyes de la termodinámica, de manera que pueda aplicarlas para describir y predecir el comportamiento de diversos sistemas de importancia conceptual y práctica, entre ellos: los motores de combustión externa e interna, los refrigeradores, las transiciones de fase de la materia, el flujo de material en solución y las reacciones químicas en gases y soluciones diluidas.

Contenidos

1. Sistemas termodinámicos y sus transformaciones
 - a. Relación con la mecánica; variables de estado
 - b. Trabajo, calor, equilibrio y temperatura
 - c. Ley cero y termometría
 - d. Transformaciones reversibles e irreversibles
 - e. Capacidades calóricas
 - f. Ecuaciones de estado; ley de los gases ideales
 - g. Elementos de la teoría cinética de los gases
 - h. Cambios y diagramas de fase; clasificación de Ehrenfest
2. Primera ley: Conservación de energía
 - a. Teorema mecánico de trabajo-energía
 - b. Equivalencia entre trabajo y calor
 - c. Diagramas de presión vs. volumen
 - d. Calores específicos del gas ideal
 - e. Transformaciones adiabáticas de un gas
 - f. Velocidad del sonido en el aire
3. Segunda ley: Entropía e irreversibilidad
 - a. Imposibilidad del movimiento perpetuo
 - b. Enunciados de Kelvin y Clausius
 - c. Motores y refrigeradores; ciclo de Carnot y límite de eficiencia
 - d. Temperatura termodinámica absoluta
 - e. Teorema de Clausius; entropía como variable de estado
 - f. Diagramas de entropía vs. temperatura
 - g. Relación de Clausius-Clapeyron
 - h. Análisis de exergía y teorema del trabajo máximo
4. Ciclos termodinámicos
 - a. Criterio de Rayleigh-Eddington
 - b. Dinámica auto-oscilatoria del pistón
 - c. Oscilaciones termo-acústicas
 - d. Combustión externa: ciclo de Stirling
 - e. Combustión interna: ciclos de cuatro tiempos (Otto y Diesel)
 - f. Ciclo termodinámico de un huracán
 - g. Termodinámica en tiempo finito: Cota de eficiencia de Curzon-Ahlborn
5. Potenciales termodinámicos
 - a. Teorema de Euler para funciones homogéneas
 - b. Ecuación fundamental; potenciales químicos
 - c. Transformaciones de Legendre
 - d. Energías libres de Helmholtz y Gibbs; entalpía
 - e. Relaciones de Maxwell y de Gibbs-Duhem
 - f. Aplicaciones del potencial químico; regla de fases
 - g. Celdas electroquímicas (baterías)
6. Transformaciones en gases y soluciones diluidas
 - a. Ley de acción de masas
 - b. Principio de Le Châtelier
 - c. Presión osmótica
 - d. Equilibrio químico entre soluciones
 - e. Presión de vapor, punto de ebullición y punto de fusión en soluciones diluidas
 - f. Aplicación de la ecuación de van der Waals a transiciones líquido-vapor
7. Tercera ley: Constante de entropía
 - a. Interpretación estadística de la entropía
 - b. Teorema de Nernst
 - c. Aplicación del teorema de Nernst a sólidos

- d. Constante de entropía para gases; ecuación de Sackur-Tetrode
 - e. Ionización térmica en gases; efecto termoiónico
8. Elementos de mecánica estadística
- a. Colectividades estadísticas
 - b. Necesidad de la mecánica cuántica
 - c. 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 ciertos temas y no cubre todos los contenidos indicados. Por lo tanto se le sugiere al estudiante que consulte, además de los apuntes de clase, otros textos disponibles de física térmica a nivel de pregrado, como

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

H. B. Callen, *Termodinámica: Introducción a las teorías físicas de la termostática del equilibrio y de la termodinámica irreversible* (Editorial AC, 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. Sobre el análisis de exergía (punto 3h) se recomienda consultar

M. J. Moran y H. N. Shapiro, *Fundamentos de termodinámica técnica*, 2ª ed. (Reverté, 2004), cap. 7

Otra fuente cuya consulta puede ser resultar valiosa 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.

Metodología

El profesor impartirá un total de tres horas de clase por semana, en dos sesiones según el horario indicado. 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 el 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 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 correspondiente.** De ser posible, se concertará una hora con los estudiantes para que los asistentes expliquen 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 individuales y 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. La única ayuda permitida será una calculadora no programable.

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 serán anunciados con antelación en clase y en la página del curso.

El examen final será el martes 10 de julio, de 8:00 a.m. a 12:00 mediodía. Habrá una sesión de repaso para el examen final el lunes 9 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 6,0 o 6,5) el jueves 19 de julio, en un lugar y a una hora por definirse.

No se aceptarán tareas atrasadas, pero las dos notas más bajas en una tarea serán obviadas. 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 7:00 p.m. También puede ser por cita previa en otro horario.

Cronograma

Este cronograma queda sujeto a posibles ajustes en la distribución precisa de los contenidos:

Fecha	Contenido
K 13-03-18	1 a,b,c
V 16-03-18	1 d,e
K 20-03-18	1 f,g
V 23-03-18	1 h, 2 a
K 27-03-18	Feriado (Semana santa)
V 30-03-18	Feriado (Semana santa)
K 03-04-18	2 b,c,d
V 06-04-18	2 e,f
K 10-04-18	3 a,b
V 13-04-18	3 c
K 17-04-18	3 d,e
V 20-04-18	3 f,g
K 24-04-18	3 g,h (Semana universitaria)
V 27-04-18	Feriado (Día del funcionario)
K 01-05-18	Feriado (Día del trabajo)
V 04-05-18	4 a,b
K 08-05-18	4 c,d
V 11-05-18	4 e,f
S 12-05-18	Primer examen parcial
K 15-05-18	4 f,g
V 18-05-18	5 a,b
K 22-05-18	5 c,d
V 25-05-18	5 d,e
K 29-05-18	5 e,f
V 01-06-18	5 f,g
K 05-06-18	6 a,b
V 08-06-18	6 b,c
K 12-06-18	6 c,d
V 15-06-18	6 e,f
S 16-06-18	Segundo examen parcial
K 19-06-18	7 a,b
V 22-06-18	7 b,c
K 26-06-18	7 c,d
V 29-06-18	7 d,e
K 03-07-18	8 a,b
V 06-07-18	8 c
K 10-07-18	Examen final
J 19-07-18	Examen de ampliación