



# Planificaciones

6752 - Termodinámica B

Docente responsable: SOSA ROBERTO

## OBJETIVOS

Con los conceptos termodinámicos fundamentales y la aplicación de la primera y segunda leyes de la termodinámica tanto para sistemas cerrados como de flujo, los estudiantes podrán calcular los requerimientos de energía en varias aplicaciones de interés para la ingeniería (flujo de fluidos, generación de potencia, refrigeración, aire acondicionado) y hacer un uso eficiente de la misma, evaluando la eficiencia energética de dichas aplicaciones y sus impactos sobre el medioambiente y la sociedad

Al finalizar cuatrimestre el estudiante estará en capacidad de:

Calcular propiedades termodinámicas de los gases tanto ideales como reales y de las sustancias puras, mediante distintos métodos.

Calcular requerimientos energéticos de equipos y procesos utilizando la primera ley de la Termodinámica.

Estimar tanto la eficiencia como viabilidad energética de equipos y procesos empleando el balance de entropía y segunda ley de la Termodinámica.

Plantear y resolver balances de exergía en sistemas cerrados, volúmenes de control y ciclos para evaluar su irreversibilidad.

## CONTENIDOS MÍNIMOS

-

## PROGRAMA SINTÉTICO

Propiedades de un sistema. Estado y equilibrio. Procesos y ciclos. Temperatura y ley cero de la termodinámica.

Formas de energía. Transferencia de energía por calor. Transferencia de energía por trabajo. La primera ley de la termodinámica. Balance de energía. Eficiencia en la conversión de energía

Sustancia pura. Fases. Procesos de cambio de fase. Líquido comprimido y líquido saturado. Vapor saturado y vapor sobrecalentado. Temperatura de saturación y presión de saturación. Diagramas de propiedades para procesos de cambio de fase. Tablas de propiedades. Estados de líquido saturado y de vapor saturado. Mezcla saturada de líquido-vapor. Vapor sobrecalentado. Ecuación de estado del gas ideal. Factor de compresibilidad, una medida de la desviación del comportamiento de gas ideal. Otras ecuaciones de estado.

Balance de energía para sistemas cerrados. Calores específicos. Energía interna, entalpía y calores específicos de gases ideales, de sólidos y de líquidos.

Principio de conservación de la masa. Análisis de energía de sistemas de flujo estacionario. Algunos dispositivos ingenieriles de flujo estacionario. Toberas y difusores. Turbinas y compresores. Válvulas de estrangulamiento. Cámaras de mezclado. Intercambiadores de calor. Flujo en tuberías y ductos. Análisis de procesos de flujos no estacionarios

La segunda ley de la termodinámica: enunciado de Kelvin-Planck. La segunda ley de la termodinámica: enunciado de Clausius. Procesos reversibles e irreversibles. Irreversibilidades. El ciclo de Carnot. Principios de Carnot. Escala termodinámica de temperatura.

El principio del incremento de entropía. Cambio de entropía de sustancias puras. Procesos isentrópicos. Las relaciones  $T ds$ . Cambio de entropía de líquidos y sólidos. Cambio de entropía de gases ideales. Procesos isentrópicos de gases ideales. Eficiencias isentrópicas de dispositivos de flujo estacionario (turbinas, compresores y bombas, toberas). Balance de entropía.

Exergía. Eficiencia según la segunda ley  $\eta_{II}$ . Cambio de exergía de un sistema. Transferencia de exergía por calor, trabajo y masa. Principio de disminución de exergía y destrucción de exergía. Balance de exergía: sistemas cerrados. Balance de exergía: volúmenes de control. Balance de exergía para sistemas de flujo estacionario.

Ciclo Rankine: el ciclo ideal para los ciclos de potencia de vapor. El ciclo Rankine ideal con recalentamiento. El ciclo Rankine ideal regenerativo. Análisis de ciclos de potencia de vapor con base en la segunda ley.

Cogeneración. Ciclos de potencia combinados de gas y vapor

El ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor. Análisis de la segunda ley del ciclo de refrigeración por compresión de vapor. Sistemas innovadores de refrigeración por compresión de vapor. Ciclos de refrigeración de gas. Sistemas de refrigeración por absorción

Comportamiento P-v-T y propiedades de mezclas de gases: gases ideales y reales. Aire seco y aire atmosférico. Humedad específica y relativa del aire. Temperatura de punto de rocío. Temperaturas de saturación adiabática y de bulbo húmedo. La carta psicrométrica. Procesos de acondicionamiento de aire (calentamiento y enfriamiento simples, calentamiento con humidificación, enfriamiento con deshumidificación, enfriamiento evaporativo, mezclado adiabático de flujos de aire, torres de enfriamiento húmedo).

## PROGRAMA ANALÍTICO

### Unidad 1. Introducción y conceptos básicos

Termodinámica y energía. Importancia de las dimensiones y unidades. Sistemas y volúmenes de control. Propiedades de un sistema. Densidad y densidad relativa. Estado y equilibrio. Procesos y ciclos. Temperatura y ley cero de la termodinámica. Presión. Dispositivos para la medición de la presión

### Unidad 2. Energía, transferencia de energía y análisis general de energía

Introducción. Formas de energía. Algunas consideraciones físicas de la energía interna. Transferencia de energía por calor. Transferencia de energía por trabajo. Formas mecánicas del trabajo. Formas no mecánicas del trabajo. La primera ley de la termodinámica. Balance de energía. Incremento de la energía de un sistema,  $\Delta E_{\text{sistema}}$ . Mecanismos de transferencia de energía, Entrada y Salida. Eficiencia en la conversión de energía

### Unidad 3. Propiedades de las sustancias puras

Sustancia pura. Fases de una sustancia pura. Procesos de cambio de fase en sustancias puras. Líquido comprimido y líquido saturado. Vapor saturado y vapor sobrecalentado. Temperatura de saturación y presión de saturación. Algunas consecuencias de la dependencia de  $T_{\text{sat}}$  y  $P_{\text{sat}}$ . Diagramas de propiedades para procesos de cambio de fase. Tablas de propiedades. Entalpía: una propiedad de combinación. Estados de líquido saturado y de vapor saturado. Mezcla saturada de líquido-vapor. Vapor sobrecalentado. Líquido comprimido. Estado de referencia y valores de referencia. Ecuación de estado del gas ideal. Factor de compresibilidad, una medida de la desviación del comportamiento de gas ideal. Otras ecuaciones de estado.

### Unidad 4. Análisis de energía de sistemas cerrados

Trabajo de frontera móvil. Procesos politrópicos. Balance de energía para sistemas cerrados. Calores específicos. Energía interna, entalpía y calores específicos de gases ideales. Energía interna, entalpía y calores específicos de sólidos y líquidos. Cambios de energía interna. Cambios de entalpía

### Unidad 5. Análisis de masa y energía de volúmenes de control

Conservación de la masa. Flujos másico y volumétrico. Principio de conservación de la masa. Balance de masa para procesos de flujo estacionario. Caso especial: flujo incompresible. Trabajo de flujo y energía de un fluido en movimiento. Energía total de un fluido en movimiento. Energía transportada por la masa. Análisis de energía de sistemas de flujo estacionario. Algunos dispositivos ingenieriles de flujo estacionario. Toberas y difusores. Turbinas y compresores. Válvulas de estrangulamiento. Cámaras de mezclados. Intercambiadores de calor. Flujo en tuberías y ductos. Análisis de procesos de flujos no estacionarios

### Unidad 6. La segunda ley de la termodinámica

Introducción a la segunda ley. Depósitos de energía térmica. Máquinas térmicas. Eficiencia térmica. La segunda ley de la termodinámica: enunciado de Kelvin-Planck. Refrigeradores y bombas de calor. Coeficiente de desempeño. Desempeño de refrigeradores, acondicionadores de aire y bombas de calor. La segunda ley de la termodinámica: enunciado de Clausius. Equivalencia de los dos enunciados. Máquinas de movimiento perpetuo. Procesos reversibles e irreversibles. Irreversibilidades. Procesos interna y externamente reversibles. El ciclo de Carnot. Ciclo de Carnot inverso. Principios de Carnot. Escala termodinámica de temperatura. La máquina térmica de Carnot  
Calidad de la energía. El refrigerador de Carnot y la bomba de calor

### Unidad 7. Entropía

Caso especial: procesos isotérmicos de transferencia de calor internamente reversibles. El principio del incremento de entropía. Algunos comentarios sobre la entropía. Cambio de entropía de sustancias puras. Procesos isentrópicos. Diagramas de propiedades que involucran a la entropía. ¿Qué es la entropía?. Las relaciones  $T ds$ . Cambio de entropía de líquidos y sólidos. Cambio de entropía de gases ideales. Procesos isentrópicos de gases ideales. Presión relativa y volumen específico relativo. Trabajo reversible de flujo estacionario. Minimización del trabajo del compresor. Compresión en etapas múltiples con interenfriamiento. Eficiencias isentrópicas de dispositivos de flujo estacionario (turbinas, compresores y bombas, toberas). Balance de entropía. Cambio de entropía de un sistema,  $\Delta S_{\text{sistema}}$ . Mecanismos de transferencia de entropía, Entrada y Salida. Generación de entropía,  $S_{\text{gen}}$ . Generación de entropía asociada con un proceso de transferencia de calor

### Unidad 8. Exergía: una medida del potencial de trabajo

Exergía: potencial de trabajo de la energía. Exergía (potencial de trabajo) asociada con la energía cinética y potencial. Trabajo reversible e irreversibilidad. Eficiencia según la segunda ley  $\eta_{II}$ . Cambio de exergía

de un sistema. Transferencia de exergía por calor, trabajo y masa. Principio de disminución de exergía y destrucción de exergía. Balance de exergía: sistemas cerrados. Balance de exergía: volúmenes de control. Balance de exergía para sistemas de flujo estacionario. Trabajo reversible, Wrev. Eficiencia según la segunda ley para dispositivos de flujo estacionario,  $\eta_{II}$

#### Unidad 9. Ciclos de potencia de vapor y combinados

Consideraciones básicas para el análisis de los ciclos de potencia. El ciclo de vapor de Carnot. Ciclo Rankine: el ciclo ideal para los ciclos de potencia de vapor. Desviación de los ciclos de potencia de vapor reales respecto de los idealizados. ¿Cómo incrementar la eficiencia del ciclo Rankine?. El ciclo Rankine ideal con recalentamiento. El ciclo Rankine ideal regenerativo. Análisis de ciclos de potencia de vapor con base en la segunda ley. Cogeneración. Ciclos de potencia combinados de gas y vapor

#### Unidad 10. Ciclos de refrigeración

Refrigeradores y bombas de calor. El ciclo invertido de Carnot. El ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor. Ciclo real de refrigeración por compresión de vapor. Análisis de la segunda ley del ciclo de refrigeración por compresión de vapor. Selección del refrigerante adecuado. Sistemas de bombas de calor. Sistemas innovadores de refrigeración por compresión de vapor. Ciclos de refrigeración de gas. Sistemas de refrigeración por absorción

#### Unidad 11. Mezcla de gases

Composición de una mezcla de gases: fracciones molares y de masa. Comportamiento P-v-T de mezclas de gases: gases ideales y reales. Mezclas de gases ideales. Mezclas de gases reales. Propiedades de mezclas de gases: gases ideales y reales

#### Unidad 12. Mezclas de gas-vapor y acondicionamiento de aire

Aire seco y aire atmosférico. Humedad específica y relativa del aire. Temperatura de punto de rocío. Temperaturas de saturación adiabática y de bulbo húmedo. La carta psicrométrica. Comodidad humana y acondicionamiento de aire. Procesos de acondicionamiento de aire. Calentamiento y enfriamiento simples ( $q = \text{constante}$ ). Calentamiento con humidificación. Enfriamiento con deshumidificación. Enfriamiento evaporativo. Mezclado adiabático de flujos de aire. Torres de enfriamiento húmedo

## BIBLIOGRAFÍA

C1\_ Yunus A. Çengel, Michael A. Boles, Termodinámica, 8va. ed., McGraw-Hill (2015)  
 Kenneth Wark, Donald E. Richards, Termodinámica, 5ta Ed., McGraw-Hill (2001)  
 Michael J. Moran, Howard N. Shapiro, Daisie D. Boettner, Margaret B. Bailey, Fundamentals of Engineering Thermodynamics, 8th Ed., Wiley (2014)  
 Claus Borgnakke, Richard E. Sonntag, Fundamentals of Thermodynamics, 8th Ed., Wiley (2012)  
 Yunus A. Çengel, Michael A. Boles, Termodinámica, 8va. ed., McGraw-Hill (2015)

## RÉGIMEN DE CURSADA

### Metodología de enseñanza

La materia consta de clases teóricas y clases prácticas, ambas de asistencia obligatoria.

Las clases, tanto las teóricas como las prácticas, tienen una duración de dos horas semanales cada una. En las clases teóricas se presentan y desarrollan los distintos conceptos del programa de la materia, intercalándose en el dictado de las mismas ejercicios prácticos que refuercen los aspectos teóricos. En las clases prácticas se exponen problemas asociados a los distintos temas tratados en las teóricas. Los ejercicios pueden ser tanto de las guías de la cátedra como ejercicios especialmente seleccionados para reforzar algún tema y o para trabajar con ejercicios integradores. En las clases prácticas a su vez se atienden todas las consultas relativas a la realización de las guías de ejercicios de la cátedra.

### Modalidad de Evaluación Parcial

La instancia de evaluación parcial consta de un examen escrito con una parte teórica y una parte práctica. La parte teórica la componen una serie de preguntas conceptuales y las respuestas a dichas preguntas deberán estar debidamente justificadas para ser consideradas como válidas. Por otro lado, la parte práctica consta de dos o tres ejercicios. Los mismos serán similares a los de mayor dificultad encontrados en las guías de ejercicios de la cátedra pero con el adicional de ser ejercicios integradores (a diferencia de las guías de ejercicios que están divididas temáticamente).

La evaluación parcial dura tres horas, la parte teórica se realiza primero y una vez entregada la misma se realiza la parte práctica, si bien el tiempo lo administran libremente los estudiantes, se sugiere emplear una hora para la parte teórica y dos horas para la práctica. Los estudiantes podrán disponer para la parte práctica del

compendio de fórmulas provisto por la cátedra así como también de las tablas de propiedades de las sustancias puras necesarias para resolver los problemas. En la parte teórica no podrán disponer de ningún material.

Las dos primeras oportunidades para rendir la evaluación parcial serán durante la cursada, mientras que la tercera oportunidad coincidirá con la primer fecha de coloquio del

La evaluación integradora (coloquio) tiene el mismo formato que la evaluación parcial, sólo difieren una de otra en la duración y en el contenido. El coloquio dura cuatro horas, en cuanto a los contenidos a ser evaluados en cada instancia, estos serán

Evaluación parcial

Teoría: Unidades 1 a 8

Práctica: Unidades 1 a 8

Evaluación integradora

Teoría: Unidades 1 a 12

Práctica: Unidades 9 a 12

## CALENDARIO DE CLASES

Semana	Temas de teoría	Resolución de problemas	Laboratorio	Otro tipo	Fecha entrega Informe TP	Bibliografía básica
<1> 09/03 al 14/03	Energía, transferencia de energía y análisis general de la energía	Introducción y conceptos básicos	no	no		C1_capítulo 1 / C1_capítulo 2
<2> 16/03 al 21/03	Propiedades de las sustancias puras Gases Ideales – Gases reales	Energía, transferencia de energía y análisis general de la energía	no	no		C1_capítulo 3
<3> 23/03 al 28/03	Análisis de energía de sistemas cerrados	Propiedades de las sustancias puras Gases Ideales – Gases reales	no	no		C1_capítulo 4
<4> 30/03 al 04/04	Análisis de masa y energía de volúmenes de control	Análisis de energía de sistemas cerrados	no	no		C1_capítulo 5
<5> 06/04 al 11/04	La segunda ley de termodinámica	Análisis de masa y energía de volúmenes de control	no	no		C1_capítulo 6
<6> 13/04 al 18/04	Entropía I	La segunda ley de termodinámica	no	no		C1_capítulo 7
<7> 20/04 al 25/04	Entropía II	Entropía I	no	no		C1_capítulo 7
<8> 27/04 al 02/05	Exergía	Entropía II	no	no		C1_capítulo 8
<9> 04/05 al 09/05	Repaso temas para el Primer Parcial	Exergía	--	--		
<10> 11/05 al 16/05	Primer Parcial		no	no		
<11> 18/05 al 23/05	Ciclos de potencia de vapor y combinados	Resolución del Primer Parcial	no	no		C1_capítulo 10
<12> 25/05 al 30/05	Ciclos de refrigeración	Ciclos de potencia de vapor y combinados	no	no		C1_capítulo 11
<13> 01/06 al 06/06	Mezcla de gases - Mezclas de gas-vapor	Ciclos de refrigeración	no	no		C1_capítulo 13 / C1_capítulo 14
<14> 08/06 al 13/06	Primer recuperatorio del Primer Parcial	Mezcla de gases - Mezclas de gas-vapor	no	no		
<15> 15/06 al 20/06	Acondicionamiento de aire	Acondicionamiento de aire	no	no		C1_capítulo 13 / C1_capítulo 14
<16> 22/06 al 27/06	Repaso general de temas del coloquio	Repaso general de temas del coloquio	no	no		

## CALENDARIO DE EVALUACIONES

### Evaluación Parcial

Oportunidad	Semana	Fecha	Hora	Aula
1º	10	22/10	16:00	E-32
2º	14	19/11	16:00	E-32
3º		01/07	8:00	E-32
4º				
Observaciones sobre el Temario de la Evaluación Parcial				
Unidades 1 a 8 inclusive				
Otras observaciones				
La tercera oportunidad se rinde durante la primera fecha de coloquio				